

# 온도 상승에 따른 내부 조직 특성에 관한 실험적 연구

- 석고보드를 중심으로 -

## An Experimental Research on the Features of Interior Materials under High Temperature

- Focusing on Gypsum Boards -

김 광 기<sup>1</sup> 박 선 길<sup>2</sup> 김 우 재<sup>3</sup> 임 남 기<sup>4</sup> 송 병 창<sup>5</sup> 정 상 진<sup>6</sup>  
Kim, Kwang-Ki Park, Sun-Gil Kim, Woo-Jae Lim, Nam-Gi Song, Byung-Chang Jung, Sang-Jin

### ABSTRACT

Recently, gypsum boards are widely used as interior finishing boards for constructions because of their features of absorbing heats and little temperature rising at the early stage of fire.

Therefore, in this research, basic data were suggested to secure fireproof stability by investigating interior processing features, which change together with the backside temperature of test materials from Flash Over (within 30 minutes after firing), at which temperature reaches its highest point, to survey the features of materials due to rising temperature in the chase of gypsum boards (general and fireproof gypsum boards)

키워드 : 세공율, 석고보드, 플래쉬오버

Keywords : Porosity, Gypsum Boards, Flash Over

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

화재가 건축물에 퍼지는 속도 및 범위는 내장재료의 성질, 분포상태, 화재 온도와 시간과의 관계 등 지극히 복합적인 관계성을 가지고 있으며, 온도상승의 속도에 가장 큰 영향을 주는 요소는 마감재료가 인화성이 큰 내장재료 인가, 적은 내장재료인가 가 보다 화재를 더욱더 확대시키는 원인이 되고 있다.

- 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정
- 정회원, 인천대학교 겸임교수
- 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수
- 정회원, 아키벤 대표이사, 공학박사
- 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

특히, 화재온도 상승은 화재온도 인자에 지배되므로 화재 조건에 따라 다소의 차이가 있으나 대부분 화재 초기 20~30분내에 최고 온도에 해당하는 800℃ 정도에 도달하고, 그 이후는 매 분당 1~2℃의 상승밖에는 없다는 사실이 기존 연구에 의해 입증되어 있다.

이러한, 화재의 첫 단계에 속하는 온도의 급격한 상승은 인화성 물질의 연소에 의하여 Flash Over 현상이 나타나게 되며, 이 현상이 일어나면 당연히 인간은 실내에서 생존이 불가능하기 때문에 Flash Over현상이 발생되기까지의 시간을 지연시키는 건축자재의 특성에 대한 연구 및 개발이 계속되고 있다.

그 일환으로서 최근 구조물의 내부 마감재료 중 고온에서도 흡열반응이 일어나 결정수를 방출함으로써 화재시 초기 온도 상승이 낮은 특성을 가진 석고를 활용하여 내부 마감재로서 사용하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 건축물의 실체가 재료라는 관점에서 불 때 석고보드의 온도 상승 특성에 대한 성질을 검토함으로써 향후 내화 안정성 확보를 위한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 석고보드(일반석고보드, 방화석고보드)의 온도 상승에 따른 재료적 특성을 검토하기 위하여 온도 상승률이 최고에 달하는 즉, Flash Over를 기점(점화 후 30분 이내)으로 가열에 따른 시험체 이면온도의 변화와 함께 변화되는 내부 조직 특성을 조사하고자 하였다.

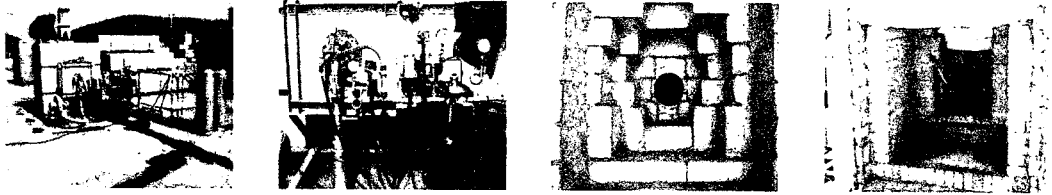
석고보드는 일반보드와 방화보드 2종류로 하여 특성을 비교·조사할 수 있도록 하였으며, 시험체의 크기는 1,200×1,200mm로 하였으며, 석고보드의 물성은 표 1과 같다.

본 실험에 사용된 시험기기는 KS F 2257에 준하여 제작한 기기로서 사진 1과 같이 가열 화염 노즐은 시험체 표면에 도달하지 않도록 하고 있으며, 가열로 인한 팽창압은 상부에 설치한 연통을 통하여 배출되어 가압에 의한 결함이 발생하지 않도록 하였다. 노내온도의 조절은 가스 공급량의 조절을 통하여 조절할 수 있도록 하였으며, 표준온도곡선에 의거하고 KS 규정에 부합할 수 있도록 보정하였다.

또한, 각 석고보드의 내화실험 후 시험체를 대상으로 직접적으로 화염을 받은 측면과 그 이면의 변화된 세공을 분석하고자 수은압입법에 의하여 (Porosizer 9320) 측정하였다.

표 1 종류별 석고보드의 특성

시험체		일반보드	방화보드	관련규정
항목				
두께 (mm)		12.5	12.5	KS F 3504 JIS A 6901
굽힘과괴하중 N (kgf)	길이방향	51.0이상	66.3 이상	
	나비방향	18.4이상	22.4 이상	
난연성		난연 1급		
함수율(%)		3 이하		
열저항 $m^2 \cdot K/W$ ( $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/Kcal$ )		0.07이상	0.080 이상	
무게( $kg/m^2$ )		7.5~11.3	9.0~13.5	



(a) 시험장치 전경    (b) 시험장치 온도제어부    (c) 시험장치의 노내 전경    (d) 노내 온도 센서  
 사진 1 내화 시험기기

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 석고보드의 종류별 온도 특성

석고보드를 대상으로 내화시험 결과 전체적으로 급격히 12~15분 경과 후 화염측의 보호지가 연소되면서 시험체의 이면온도가 급격히 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

일반보드의 경우 가열 시간 7~9분 정도에서 노내온도가 최고에 도달한 후 약 19분 경과 후 측정 개소별(상, 중앙, 하부면) 이면온도가 225, 257, 221℃ 시점에서 사진 3과 같이 갈라짐 현상이 발생했으며, 가열시간 21분 경과 후 노내온도 871℃, 시험체 이면온도 230℃에서 뒷면의 지지대인 목재(인화온도 약 240~270℃, 발화온도 약 410~450℃)가 발화하는 것을 알 수 있었다.

방화석고보드는 시험 개시 후 약 18분 경과 후 이면온도가 급격히 상승하는 것을 알 수 있었으며, 일반보드와 비교하여 사진 4와 같이 가열시간 21분일 때 노내온도 842℃, 이면온도는 200℃ 이상을 기록하였으나, 일반보드와 같이 이면의 갈라짐 및 붕괴 현상은 확인할 수 없었으며, 또한, 이면온도를 30분 이상 측정하였으나 250℃ 전·후에서도 이면의 상태는 양호한 것으로 판단되었다.

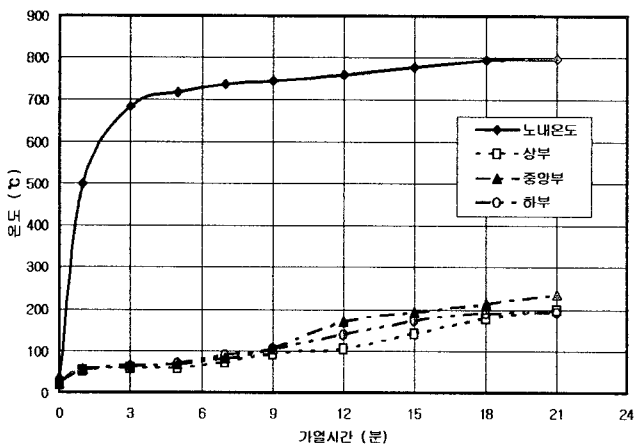


그림 1 일반석고보드의 이면온도 측정결과



사진 2 일반보드 실험 후 상태

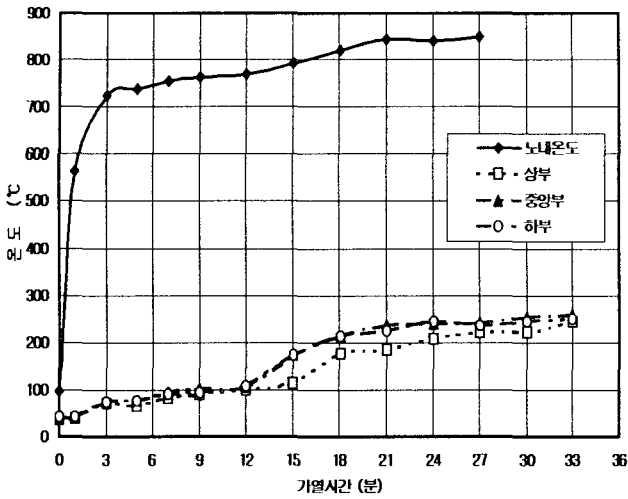


그림 2 방화석고보드의 이면온도 측정 결과

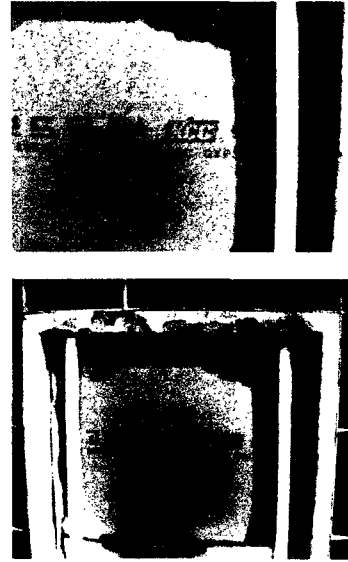


사진 3 방화보드 시험 후 상태

따라서, 방화 재료상 화재초기 (점화 후 10분 내외) 연소의 지연으로 안전확보에 주안점이 있는 만큼 종류에 따라 다소 시간적 차이는 있지만, 석고의 특성(고온에서도 흡열반응이 일어나 결정수를 방출하여 수분이 기화열을 흡수)으로 인하여 초기 온도상승을 저하시키는 것으로 판단되었다.

### 3.2 온도 상승에 따른 석고보드의 내부조직 특성

일반석고보드와 방화석고보드의 내화실험 후 각각 시험체의 세공율을 측정한 결과 표 2와 같이 석고(일반, 방화)보드는 화염에 의하여 온도 상승시 전체 세공율이 증가하는 경향을 알 수 있었다.

표 2 화염을 받은 석고보드의 세공 특성

항 목	시험체	Porosity (%)	Average Pore Diameter (4v/A)	Median Pore Diameter (Area)	Median Pore Diameter (Volume)
일반보드	시험전	64.28	0.5541	0.0229	1.9886
	화염측	71.47	0.2811	0.0149	1.8964
	이면측	70.11	2.6295	1.2775	1.7268
방화보드	시험전	60.53	0.3910	0.0302	1.1125
	화염측	66.54	0.2480	0.0205	1.0953
	이면측	66.50	0.2295	0.0168	1.0643

일반보드의 경우 시험전 시험체의 경우 세공율이 64.28%이었으나 약 800°C 이상의 고열을 받은 화염측은 세공율이 증가하여 71.47%의 세공율을 나타내고 있었다.

시험체 이면의 경우 화염측 보다는 세공율이 다소 적게 조사되어 약 70.11%의 세공율을 나타냄으로서 온도 상승에 따라 시험체의 세공율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 방화보드를 내화시험 시험체에서도 같은 경향을 보임으로써 시험전 시험체가 60.53%, 화염측 66.54%, 66.50%의 세공율을 확인할 수 있었다.

일반보드의 경우 화염을 직접적으로 받은 시험면에 있어서는 약 45nm이하의 작은 세공들이 시험전과 비교하여 상대적으로 많은 증가율을 보이고 있으며, 909nm의 세공경을 갖는 세공들이 0.374ml/g으로서 시험전과 피크가 되는 세공경은 같으나 세공량에 있어 시험전과 비교하여 약 0.070ml/g의 세공이 증가한 것을 확인할 수 있었다.

특히, 가장 큰 변화를 보인 세공량의 범위는 1 $\mu$ m이상의 세공경에서 증가하여 약 81 $\mu$ m까지도 증가한 것으로 확인되었다.

화염을 받은 시험체 이면의 세공조직은 약 72nm이상의 세공경들의 량이 증가하여 피크가 되는 세공경의 범위는 약 905nm 정도로서 시험전과 비교하여 약 80ml/g이 증가하였다.

그러나 화염을 직접적으로 받은 측면의 시험체와는 상이하게 7700nm 이상의 범위에서부터 세공량이 감소하는 경향을 보이고 있었다.

방화보드의 경우 시험전과 내화 실험을 한 화염측과 이면측의 피크가 되는 세공경의 범위는 각각 899, 908, 901nm 정도이며 이들의 세공량은 373, 421, 441ml/g으로서 내화실험을 통해 화염을 받은 시험체의 세공량이 증가한 것을 알 수 있었다.

화염을 직접 받은 시험면의 경우 908nm를 중심으로 세공량이 증가하여 약 301nm 이하의 세공경을 갖는 세공들이 증가하였으며, 약 6nm의 미세한 세공까지도 증가한 것을 알 수 있었다.

그러나 약 3,500nm 이상의 세공경들은 시험전과 비교하여 감소하는 경향을 보이고 있었으며, 이는 약 29 $\mu$ m의 큰 세공경의 범위에서도 같은 경향을 확인할 수 있었다.

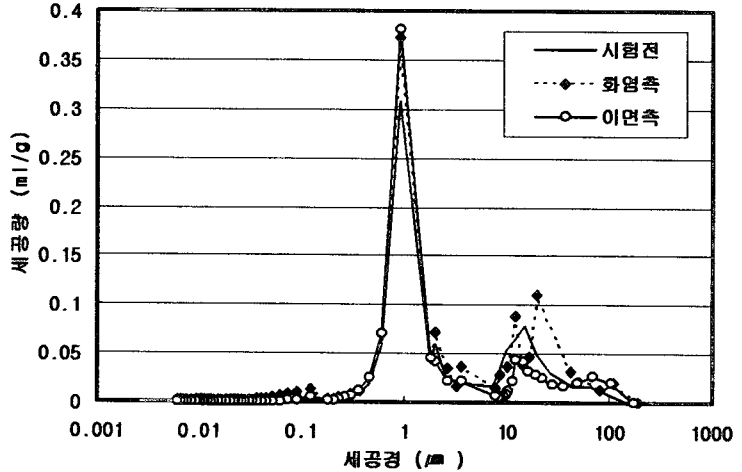


그림 3 일반보드의 온도 상승에 따른 세공 변화

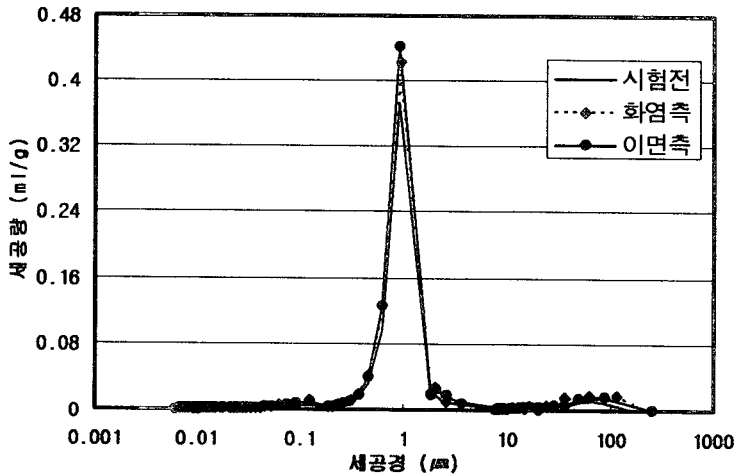


그림 4 방화보드의 온도 상승에 따른 세공 변화

이와함께 시험체 이면에 대한 세공경에 따른 세공량의 변화는 화염을 받은 시험면과 유사한 세공 특성을 갖는 것으로 판단되었다.

즉, 258nm 이하의 세공들이 증가하였으며, 특히 120~45nm의 범위에서 많은 증가를 보이고 있었으며, 또한, 8,800nm이상의 세공경들은 감소한 것을 알 수 있었다.

일반보드와 방화보드의 온도 상승에 따른 조직의 특성을 조사한 결과 상이한 점은 일반보드는 높은 온도 상승의 영향으로 전체적으로 많은 세공의 증가량을 보였으며, 특히 약 7,100nm 이상의 세공경이 상당히 증가된 것을 확인할 수 있었다.

그러나 방화보드의 경우 일반보드와는 반대의 경우로서 전체적으로 시험전 시험체와 유사한 세공조직을 갖는 것으로 조사되었으며, 화염측과 이면 모두 3,500nm 이상과 8,800nm 이상의 세공들이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

또한, 일반보드와 방화보드의 내화시험전 시험체의 조직 특성을 조사한 결과 두 종류의 보드 모두 899nm와 906nm의 범위에서 세공량이 피크가 되는 것을 알 수 있었다.

그러나, 일반보드의 경우 방화보드와 비교하여 특이한 점은 약 1 $\mu$ m에서 64 $\mu$ m의 큰 세공경이 상당히 많은 것을 알 수 있었으며, 이러한 세공경의 분포로 인하여 일반보드와 방화보드가 내화성능의 차이가 나타난 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

따라서, 지금까지 화염을 받은 석고보드의 종류에 따른 내화 성능을 검토하고 그에 따른 시험체의 세공 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 점화초기 석고의 특성으로 인하여 급격한 온도 상승은 없었으나, 일반보드의 경우 약 12분 경과 후 온도상승을 보였으며, 21분 경과 후 이면온도 230℃에서 보드가 손상되었다. 또한, 방화 보드는 21분 경과 후 200℃ 이상을 기록하였으나, 이면의 갈라짐 등의 현상은 확인할 수 없었으며, 250℃ 전·후에서도 이면의 상태는 양호한 것으로 판단되었다. 따라서, 방화보드의 경우 건축 마감재료로서 방화구획의 기능을 갖고 있는 것으로 판단되었다.

(2) 화염을 받은 석고보드의 내부조직은 전체적으로 다소 큰 세공들(약 1~64 $\mu$ m)이 석고보드의 종류에 따라 증가 또는 감소하는 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 현상이 석고보드에 내화 능력에 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

본 실험으로는 온도 상승에 따른 재료의 특성을 파악하기엔 미미하므로 향후 표면 및 내부 조직의 관찰, 열에 따른 성분의 변화 등 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 정상진 외, “노후화된 콘크리트 구조물에 적용되는 알칼리회복제의 회복성능에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 논문, 2003. 2.
2. 민병열 “국내 내화법규 및 제도”, 대한건축학회지, v.45, n.12, 2001. 12
3. 서치호, “방화재료의 성능”, 대한건축학회지, v.36, n.6, 1992. 11.
4. 김홍열 외, “고온 가열시 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 18권 11호 2002. 11.