

# 난연처리된 유기 단열재 심재의 샌드위치패널에 대한 난연성능 평가

여 한 승 / 업무지원팀 연구원

1. 서론
2. 샌드위치패널의 국내외 화재시험방법
3. 샌드위치패널에 대한 국내의 난연성능 기준
4. 시험방법
5. 시험결과
6. 결론

## 1. 서론

국내에서 샌드위치패널은 인건비 상승에 의한 건설현장의 인력난, 자재난 및 건식 공법의 적용에 따른 건설 환경의 변화와 공기 단축 및 시공의 편리성, 경제성 등의 장점에 의하여 널리 사용되고 있다.

그러나 최근 유기단열재(발포폴리스티렌, 우레탄 등)를 심재로 사용하는 경우 화재에 의한 심재의 용융이나 강판의 변형, 유독가스 발생 등에 따른 문제점이 부각되고, 화재 진압 시 강판 사이로 화염이 급속히 전파되는 현상을 보임으로써 주수 소화의 어려움이 인지되고 있다. 특히 샌드위치 패널 화재가 전체 화재에서 차지하는 비율이 2003년 6.59%에서 2004년 상반기 7.64%를 차지한 데 반해서 재산피해는 2003년 25.41%에서 2004년 상반기 32.76%로 그 비율이 높았고, 화재가 발생한 장소는 전체 화재에서 공장이 43%, 근린생활시설(판매시설 포함)이 14.5%의 비율로 발생빈도가 높게 나타났다.

이러한 문제점들 때문에 기존의 유기단열재에 난연제를 첨가한 난연 샌드위치패널이 개발되어 시장에 유통되고 있다. 현재 심재로 가장 많이 사용되는 단열재는 발포폴리스티렌과 우레탄계열이며 난연제로는 수산화알루미늄, 페놀 등이 적용되고 있다. 따라서 현재 사용되고 있는 유기단열재 샌드위치패널은 모두 난연처리된 샌드위치패널로 보는 것이 타당하며 이에 대한 난연성능 평가가 필요하다.

이에 본고에서는 샌드위치패널의 국내외 화재시험방법 및 국내의 난연성능 기준을 개괄하여 시험

방법에 대한 비교를 한 후, 난연처리된 유기단열재 심재의 샌드위치패널에 대하여 심재의 밀도에 따른 열방출률 시험 및 가스유해성 시험을 실시하고 난연성능을 평가하였다.

13784-1 및 ISO 13784-2 은 화염에 직접 노출되었을 때의 화재성능 및 반응을 평가할 수 있는 시험방법이지만, 현재 국가규격으로 채택한 국가는 없다.

## 2. 샌드위치패널의 국내외 화재시험방법

국내와 일본에서는 ISO 5660의 Cone Calorimeter법에 의하여 시험을 하고 있으며 캐나다와 뉴질랜드는 ISO 834, 그리고 중국, 프랑스, 영국은 SBI(Single Burning Items), 미국은 ASTM E 84 에 따라 시행하고 있다. 마지막으로 샌드위치패널 조립체에 대한 실제규모의 화재시험인 ISO

## 3. 샌드위치패널에 대한 국내의 난연성능 기준

2006년 11월 8일, 건축물 내부마감재료의 난연성능기준이 건설교통부 고시 제2006-476호로 제정되어 현재까지 시행되고 있고 샌드위치패널은 내부마감재료로 분류되어 동 기준에 의한 시험을 실시하도록 되어 있다. <표 1>에 내부마감재료의

<표 1> 건축물 내부마감재료의 난연시험방법 및 성능기준

성능기준 등급	시험방법		판정기준
	불연성 및 열방출률시험	가스유해성시험 (KS F 2271)	
불연재료	불연성시험 (KS F ISO 1182)	20분 가열	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가열로 내의 최고온도가 최종평형온도를 20K 초과 상승하지 않을 것</li> <li>· 질량감소율이 30% 이하일 것</li> <li>· 실험용 흰 쥐의 평균행동정지시간이 9분 이상일 것</li> <li>· 총방출열량이 8 MJ/m<sup>2</sup> 이하일 것</li> <li>· 최대열방출률이 10초 이상 연속으로 200 kW/m<sup>2</sup>를 초과하지 않을 것</li> <li>· 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함) 등이 없을 것</li> <li>· 실험용 흰 쥐의 평균행동정지시간이 9분 이상일 것</li> </ul>
준불연재료	열방출률시험 (KS F ISO 5660-1)	10분 가열	
난연재료	열방출률시험 (KS F ISO 5660-1)	5분 가열	

<표 2> 건축법 시행령 상의 규정

건축법 시행령 제2조 1항 9호~11호	
난연재료	불에 잘 타지 아니하는 성능을 가진 재료로서 건설교통부령이 정하는 기준에 적합한 재료를 말한다.
불연재료	불에 타지 아니하는 성질을 가진 재료로서 건설교통부령이 정하는 기준에 적합한 재료를 말한다.
준불연재료	불연재료에 준하는 성질을 가진 재료로서 건설교통부령이 정하는 기준에 적합한 재료를 말한다.

〈표 3〉 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙에서의 규정

건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙	
난연재료	「산업표준화법」에 의한 한국산업규격이 정하는 바에 의하여 시험한 결과 가스 유해성, 열방출량 등이 건설교통부장관이 정하여 고시하는 난연재료의 성능기준을 충족하는 것을 말한다.
불연재료	1. 콘크리트·석재·벽돌·기와·철강·알루미늄·유리·시멘트모르타르 및 회. 이 경우 시멘트모르타르 또는 회 등 미장재료를 사용하는 경우에는 「건설기술관리법」 제34조제1항제2호의 규정에 의하여 제정된 건축공사표준시방서에서 정한 두께 이상인 것에 한 한다. 2. 「산업표준화법」에 의한 한국산업규격이 정하는 바에 의하여 시험한 결과 질량감소율 등이 건설교통부장관이 정하여 고시하는 불연재료의 성능기준을 충족하는 것 3. 그 밖에 제1호와 유사한 불연성의 재료로서 건설교통부장관이 인정하는 재료. 다만, 제1호의 재료와 불연성재료가 아닌 재료가 복합으로 구성된 경우를 제외한다.
준불연재료	「산업표준화법」에 의한 한국산업규격이 정하는 바에 의하여 시험한 결과 가스 유해성, 열방출량 등이 건설교통부장관이 정하여 고시하는 준불연재료의 성능기준을 충족하는 것을 말한다.

〈표 4〉 시험체 사양

분류		발포폴리스티렌계		우레탄계	
시험의 종류		열방출률	가스유해성	열방출률	가스유해성
시험체크기(mm)	가로×세로	100×100	220×220	100×100	220×220
	두께	50	50	50	50
시험체개수		111	74	36	24
난연제종류		수산화알루미늄, 페놀, SiO <sub>2</sub> 등		인계 등	

난연성능 시험방법과 성능기준을 나타내었다.

등 고시는 상위법인 건축법 시행령과 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙에서 난연재료, 준불연재료 및 불연재료에 대한 정의와 시험결과에 대한 성능기준을 규정하고 있다. 〈표 2〉 및 〈표 3〉에 이들 상위법에서 정하고 있는 내용들을 정리하였다.

## 4. 시험방법

### 4.1 시험체 제작

발포폴리스티렌에 페놀, 수산화알루미늄, SiO<sub>2</sub> 등의 난연제로 처리한 각각의 심재의 양면에 0.4

mm ~ 0.5 mm 두께의 철판을 부착하여 37종의 시험체를 제작하고, 우레탄에 인계 난연제 등으로 처리한 심재의 양면에 0.4 mm ~ 0.5 mm 두께의 철판을 부착한 12종의 시험체를 제작하였다. 〈표 4〉에 시험체 대한 사양을 나타냈다.

### 4.2 시험기기 및 측정방법

#### 4.2.1 열방출률

열방출률은 KS F ISO 5660-1:2003의 콘칼로리미터에 의해 측정되며 재료가 연소할 때 산소 1 kg이 소모되면 13.1 MJ의 열이 방출된다는 실험원리에 근거한다. [그림 1]에 시험기의 개요도를 나

타냈으며, 열방출률  $q(t)$ 는 식 (1)에 따라 산출한다.

$$q(t) = 13.1 \times 10^3 \times 1.10 \times C \times \sqrt{\frac{\Delta p}{T_e}} \times \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}} \dots\dots\dots(1)$$

여기서,

$$C = \frac{q}{12.54 \times 10^3 \times 1.10} \times \sqrt{\frac{T_e}{\Delta p}} \times \frac{1.105 - 1.5X_{O_2}}{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}$$

- $q$  : 메탄가스의 열방출률(kW)
- $\Delta P$  : 오리피스미터의 압력차(Pa)
- $T_e$  : 오리피스미터 내에서 가스의 절대온도(K)
- $X_{O_2}^0$  : 산소 분석기 눈금의 초기값
- $X_{O_2}$  : 산소 분석기 눈금값

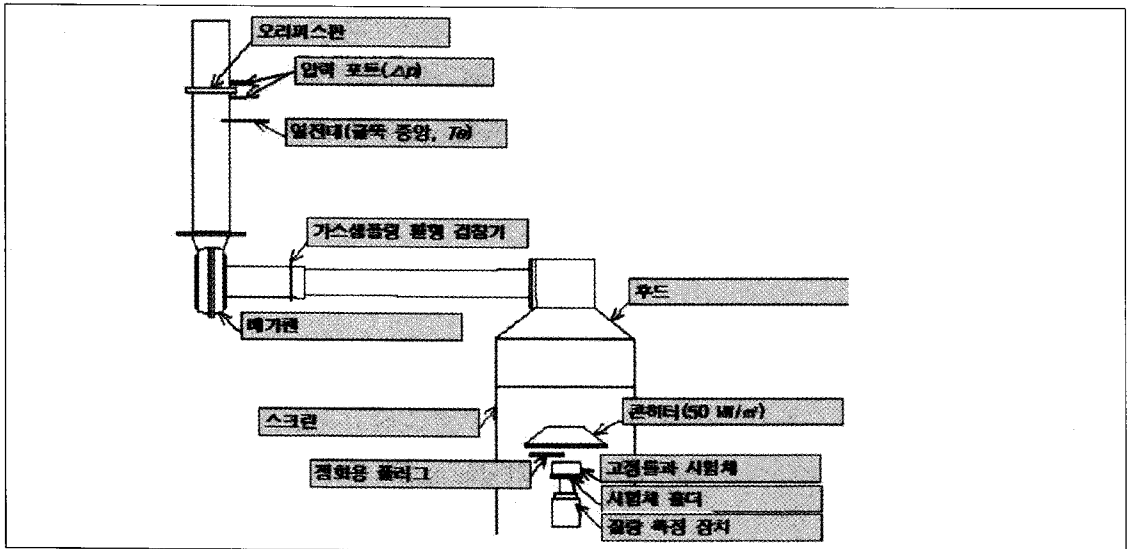
시험 전 배기팬을 작동하여 배출유량을 (0.024 ± 0.002) m³/s로 설정하고 유지시킨다. 가스분석기의 산소농도를 교정하고 메탄가스를 열원으로 한 교정상수를 구한다. 콘히터의 복사열을 (50 ± 1) kW/m² 로 조절한 후 유지시킨다. 시험체와 시험체 홀더를 질량측정 장치 위에 놓고 복사열 차단 장치

를 제거한다. 이때 시험체의 가연성 가스를 완전 연소시키기 위해 점화플러그를 동시에 삽입한다. 준불연재료의 경우 10분 간, 난연재료의 경우 5분 간 가열한다. 덕트에서 연소가스를 샘플링 하여 데이터 수집장치의 연산프로그램을 통하여 실시간으로 열방출률을 계산한다. 여기서 식(1)의 계산식이 사용되며 열방출률과 가열시간을 적분하여 총방출 열량을 산출한다. 가열 종료 후 질량측정 장치에서 시험체 홀더를 제거하고 시험체를 관찰하여 방화상 유해한 변형 유무를 판정한다.

상기 절차를 발포폴리스티렌계 샌드위치패널 시험체 37종과 우레탄계 샌드위치패널 시험체 12종에 대하여 각 종 당 3개의 시험체에 대하여 실시했다.

#### 4.2.2 가스유해성

가스유해성 시험은 KS F 2271:2006의 가스유해성 시험기에 의해 측정되며 재료의 연소가스를 실험용 흰 쥐가 흡입하도록 하여 행동정지에 이르



[그림 1] 콘칼로리미터 시험기의 개요도

는 시간을 측정하는 동물시험이다. [그림 2]에 시험기의 개요도를 나타냈으며, 식 (2)에 의해 실험용 흰 쥐의 평균 행동 정지 시간( $\bar{x}$ )을 계산한다.

$$x = \bar{X} - \sigma \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $\bar{X}$ : 8마리 실험용 흰 쥐의 행동 정지 시간(실험용 흰 쥐가 행동을 정지하지 않은 경우에는 15분으로 한다.)의 평균값(단위:분)

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_7 + x_8}{8}$$

$\sigma$ : 8마리 실험용 흰 쥐의 행동 정지 시간 (실험용 흰 쥐가 행동을 정지하지 않은 경우에는 15분으로 한다.)의 표준 편차(단위:분)

$$\sigma = \sqrt{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_7 - \bar{X})^2 + (x_8 - \bar{X})^2}$$

$x_1, x_2, \dots, x_7, x_8$ : 실험용 흰 쥐 각각에 대한 행동 정지 시간임

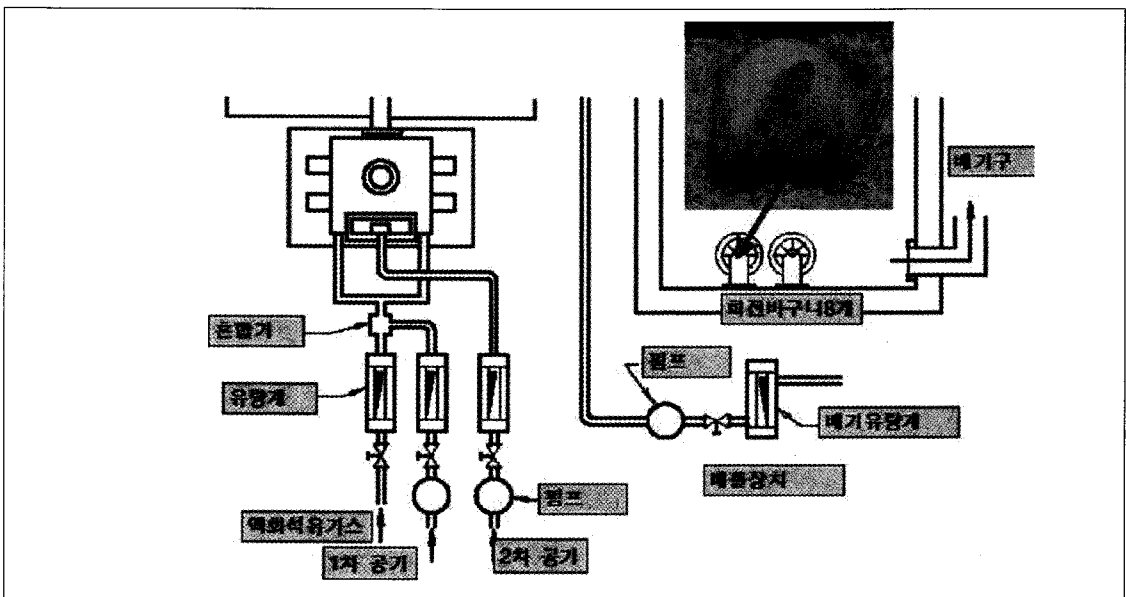
가열 개시 전 8개의 회전바구니 내에 마우스를 각각 넣고 30℃로 유지된 피검상자 내의 마그네틱 스위치가 부착된 틀에 회전바구니를 놓는다. 가열로 내에서 시험체를 6분 간 연소시킨 후 발생된 연소가스를 희석용 챔버를 거쳐서 8마리의 실험용 흰 쥐가 있는 시험용 챔버로 보낸다. 가열 개시 후 15분 간 실험용 흰 쥐의 행동상태를 회전바구니와 틀의 전기적 신호에 의해 수신하여 계산된다.

상기 절차를 발포폴리스티렌계 샌드위치패널 시험체 37종과 우레탄계 샌드위치패널 시험체 12종에 대하여 각 종 당 2개의 시험체에 대하여 실시했다.

## 5. 시험결과

### 5.1 열방출률

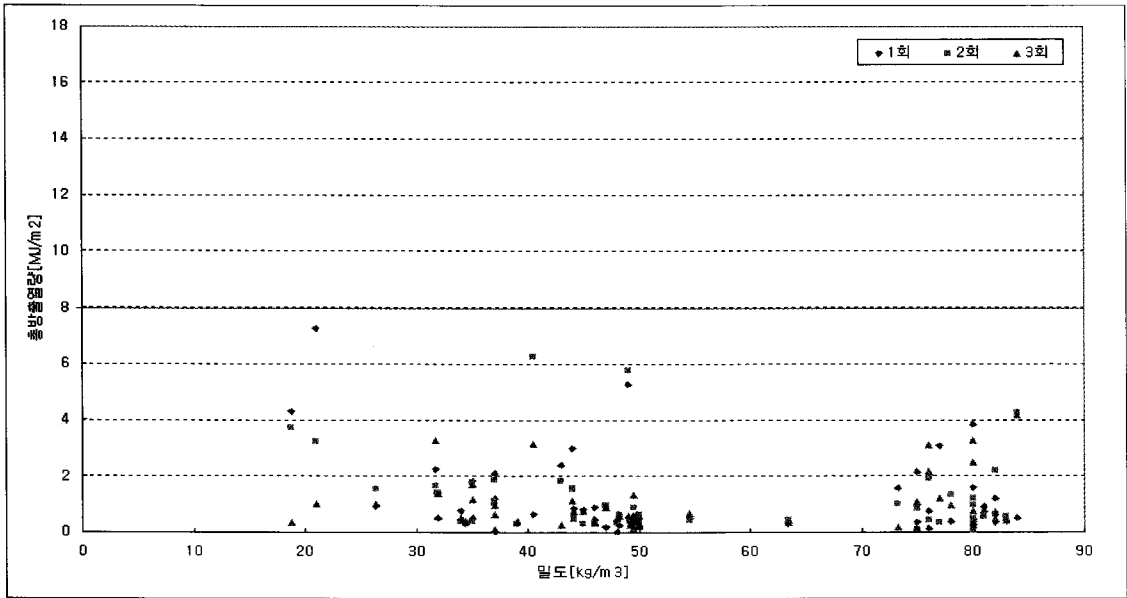
[그림 3]과 [그림 4]는 열방출률 시험결과 심재의



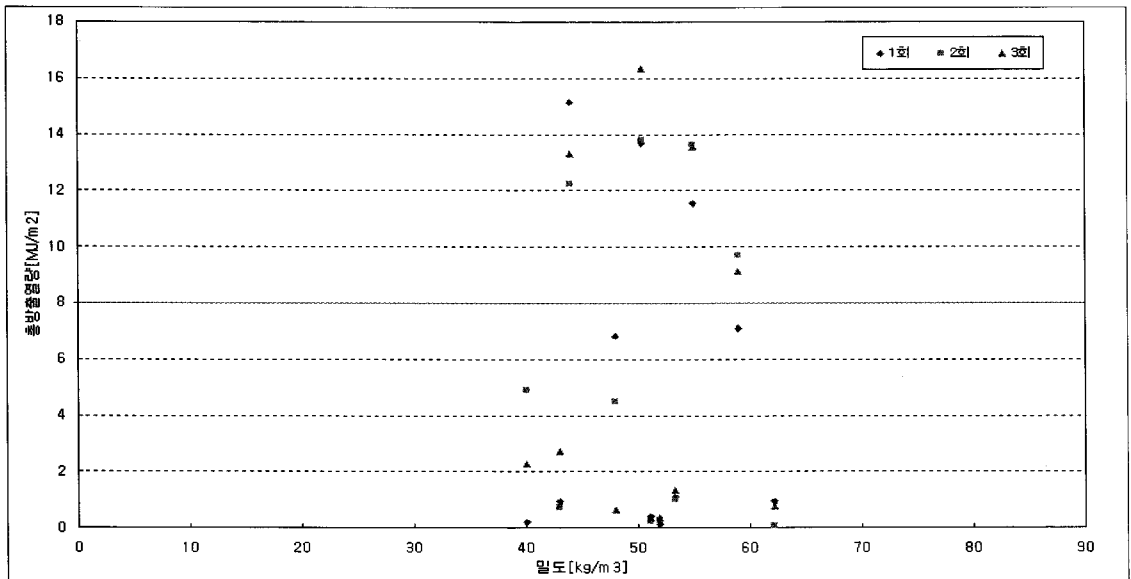
[그림 2] 가스유해성 시험기의 개요도

밀도에 따른 총방출열량의 분포도이며, [그림 3]에서 발포폴리스티렌에 난연제가 첨가된 샌드위치패널은 8 MJ/m<sup>2</sup> 이하의 총방출열량을 보였다. 측정회수가 많은 심재의 밀도인 50 kg/m<sup>3</sup> 전후와 80

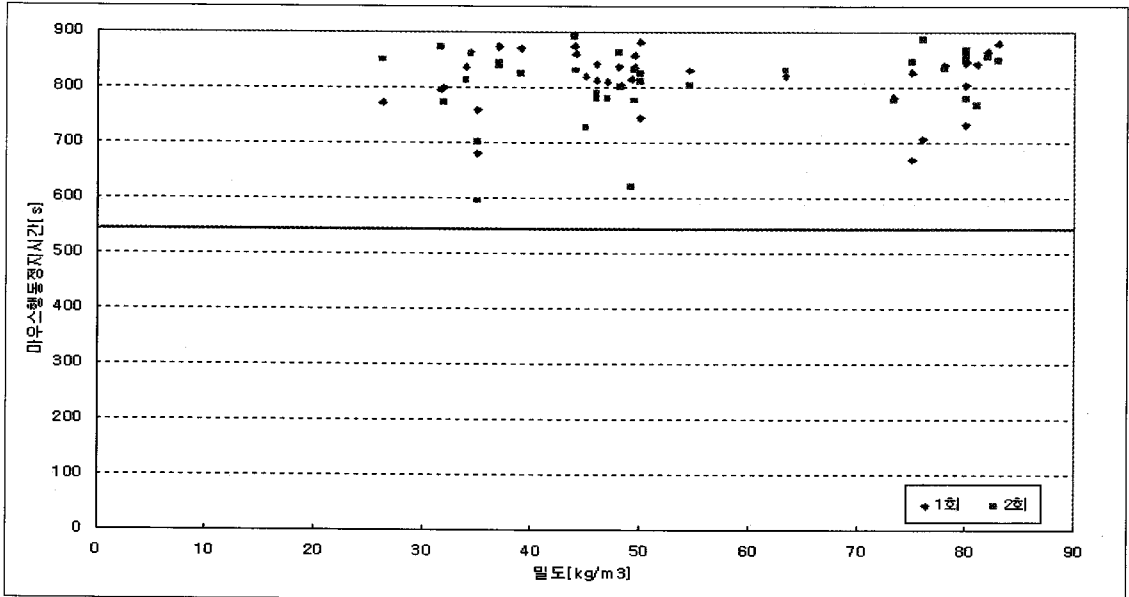
kg/m<sup>3</sup> 전후를 비교하면 상대적으로 고밀도인 80 kg/m<sup>3</sup> 보다 저밀도인 50 kg/m<sup>3</sup> 에서 편차가 작은 분포를 나타냈다. 이것은 심재의 밀도가 80 kg/m<sup>3</sup> 전후인 시험체의 경우 10분 간 가열한 결과이며,



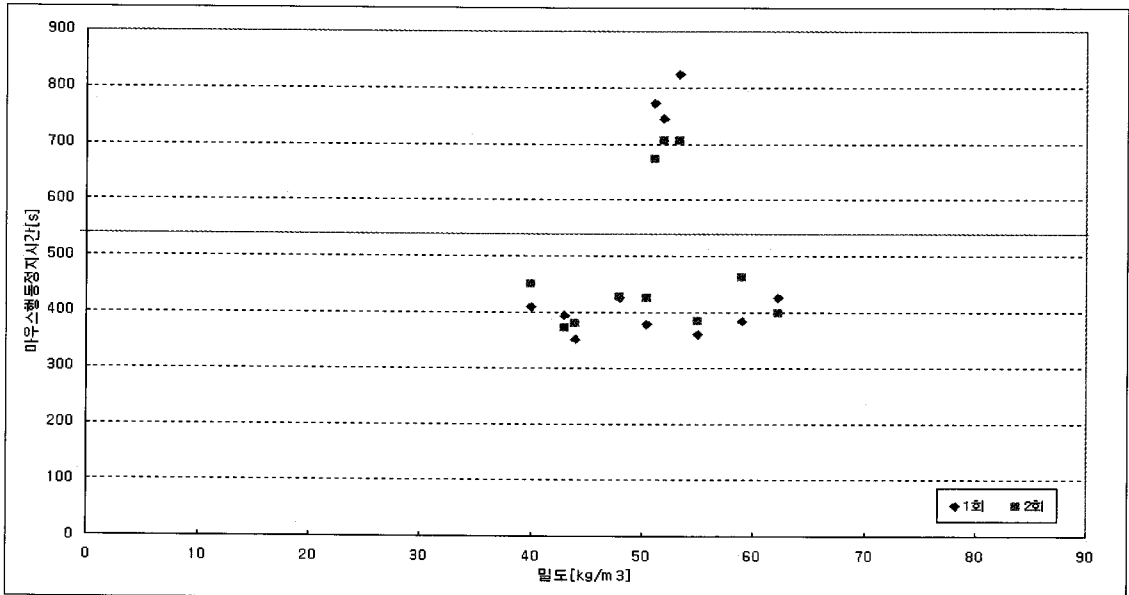
[그림 3] 난연처리된 발포폴리스티렌 샌드위치패널의 밀도에 따른 총방출열량 분포



[그림 4] 난연처리된 우레탄 샌드위치패널의 밀도에 따른 총방출열량 분포



[그림 5] 난연처리된 발포폴리스티렌 샌드위치패널의 밀도에 따른 마우스행동정지시간 분포



[그림 6] 난연처리된 우레탄 샌드위치패널의 밀도에 따른 마우스행동정지시간 분포

심재의 밀도가 그 이하인 경우 5분 간 가열하였기 때문에 나타난 가열시간에 따른 차이이다. [그림 4]에서 우레탄에 난연제가 첨가된 샌드위치패널은 최대 16 MJ/m²를 초과하여 측정되는 것으로 나타

났고, 동일 밀도의 발포폴리스티렌 샌드위치패널에 비해 높은 총방출열량의 분포를 보였다.

## 5.2 가스유해성

[그림 5]와 [그림 6]은 가스유해성 시험결과 심재의 밀도에 따른 마우스행동정지시간의 분포도이며, [그림 5]에서 난연처리된 발포폴리스티렌 심재의 샌드위치패널은 540초(9분) 이상의 마우스행동정지시간을 보였고 대부분 700초 이상으로 측정되었다. [그림 6]에서 난연처리된 우레탄 심재의 샌드위치패널은 540초(9분) 이하의 마우스행동정지시간을 나타내는 경향이 더 많은 것으로 측정되었다.

## 6. 결론

난연처리된 발포폴리스티렌 및 우레탄 심재의 샌드위치패널에 대하여 건설교통부 고시 제 2006-476호에 의한 준불연, 난연재료의 난연성능 시험을 실시하였다. 유기화합물의 특성상 사용되는 난연제 종류와 배합비율 및 제조방법에 의한 물리적인 지표화가 복잡하고 곤란하므로, 심재의 밀도에 따른 단일 변수에 의한 분석을 하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 총방출열량에서 난연처리된 발포폴리스티렌 심재의 샌드위치패널은  $8 \text{ MJ/m}^2$  이하의 측정값을 보였고, 난연처리된 우레탄 심재의 샌드위치패널은 최대  $16 \text{ MJ/m}^2$ 를 초과하여 측정되는 경우도 있었으며, 동일 밀도의 발포폴리스티렌 샌드위치패널에 비해 높은 총방출열량의 분포를 보였다.

둘째, 가스유해성에서 난연처리된 발포폴리스티렌 심재의 샌드위치패널은 540초(9분) 이상의 마우스행동정지시간을 보였고 대부분 700초 이상으로 측정되었다. 난연처리된 우레탄 심재의 샌드위

치패널은 540초(9분) 이하의 마우스행동정지시간을 나타내는 경향이 더 많았다.

셋째, 난연처리된 발포폴리스티렌 심재는 난연성을 높이기 위해 각종 유·무기재료가 첨가된 결과로  $80 \text{ kg/m}^3$ 를 초과할 정도의 고밀도로 제작되는 경우가 적지 않게 나타났다.

마지막으로 동일한 난연제로 처리된 심재의 밀도와 오차 범위 내의 밀도를 갖는 심재의 샌드위치패널에서 방출되는 총열량의 편차가 큰 것으로 나타난 결과, 난연처리된 유기단열재 심재에 대한 높은 수준의 품질관리가 요구되는 것으로 판단된다.

FILK

## 〈참고문헌〉

1. 소방방재청, <http://nema.go.kr/data/statistic/list.jsp>, 샌드위치 패널 화재발생 분석(2003년 ~ 2004년 상반기 중 발생한 화재를 분석)
2. 조남욱 외 3인, 샌드위치패널의 난연성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집 제26권 제1호
3. KS F 2271 : 2006 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법
4. KS F ISO 5660-1 : 2003 연소성능시험 - 열방출, 연기발생, 질량감소율 - 제 1부 : 열방출률(콘칼로리미터법)
5. 건설교통부 고시 제2006-476호 건축물 내부 마감재료의 난연성능기준
6. 건축법 시행령
7. 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙