

ISO 13784 실대모형 화재시험에 의한 샌드위치패널 화재특성에 관한 실험적 연구

임홍순 | 건축구조부 책임연구원

박수영 | 연구원

진영화 | 기술지원부 선임연구원

1. 서론
2. ISO 13784-part1 시험방법
3. ISO 13784-part1 시험
4. ISO 13784-part1 시험결과 분석
5. 결론
6. 맺음말

1. 서론

샌드위치패널은 단열재 양면에 강판을 부착하여 단열성, 시공성 및 경제성을 향상시킨 제품으로, 1980년대 중반의 건설현장의 인력난, 자재난으로 건식공법에 대한 수요증가와 간편한 시공성으로 사용량이 급격히 증가되어 왔다.

이러한 샌드위치패널은 표면이 불연강판으로 구성되어, 화재시 초기착화를 지연시킬 수 있으나 열이 내부 단열재로 쉽게 전달될 수 있다. 또한, 스티로폼, 폴리우레탄 등 가연성 단열재를 가진 샌드위치패널인 경우에는 화재시 일정시간이 지나면 내부 단열재를 관통하여 급속히 연소가 진행되어 쉽게 소화되지 않는 것으로 알려져 있다.

국내에서는 샌드위치패널의 평가를 위하여 KS F2271(내장재료의 난연성 시험방법)을 사용하고 있다. 그러나 KS F2271 시험방법은 일반적으로 건축물의 내장재료인 50t 이하의 소형시험체를 시험하기 위한 것으로, 샌드위치패널과 같은 두꺼운 시험체는 설치하기에 부적합하다. 또한 시험체의 표면이 강판이므로 표면을 가열하는 방식은 샌드위치패널의 화재특성을 반영하기에는 한계가 있다.

선진국에서는 샌드위치패널에 대한 기존 화재성능평가방법에 문제점을 지적하여 왔으며, 특히 스웨덴 국립연구소인 SP에서는 샌드위치패널에 대하여 화재안전성을 평가하기 위한 방법을 지속적으로 연구하였다. 이러한 선진국들의 연구에 따라, 기존의 모형실 화재시험방법인 ISO 9705(Room corner test)를 개선하여 ISO 13784-part1(소형시험), part2(대형시험)의 샌드위치패널 화재시험방법이 2003년 규격화 되었다.

이러한 상황에서 국내의 건축용 샌드위치패널이 ISO 13784-part1(소형시험), part2(대형시험)시험에 적용가능한지를 확인하는 절차가 필요하며, 실제 샌드위치패널 건축물이 화재에 노출되었을 때, 안전

성을 확보하고 있는지를 검증할 수 있는 평가방법에 대한 검토가 필요하다.

2. ISO 13784-part1 시험방법

2.1. 개요

ISO 13784-part1 화재시험방법은 1개실 샌드위치패널 구조물 시험체를 (그림 1)과 같이 외부 차단막이 있는 배기 후드 아래에 설치한다. 그리고 시험 동안 샌드위치 패널 시스템의 결합부분과 구조물의 개구부에서 발생하는 모든 연기와 뜨거운 가스를 95% 이상 포집할 수 있도록 하고, 차단막 하부는 신선한 공기의 유입이 가능하도록 모든 면에서 개방되도록 설치한다. 또한 시험체의 설치는 결합부를 통한 불꽃 분출 등의 화재 진행 과정을 외부에서 직접적으로 관찰할 수 있도록 설치한다.

2.2. 시험체 제작

ISO 13784-part1에서는 골조형과 자립형의 두 가지 형태의 시험체를 소개하고 있으나, 본 논문에서는 골조형에 국한하여 시험 및 결과를 나타내기 위하여 한다.

골조형 시험체는 철골 건물 등의 H형강으로 만들어진 보와 기둥 같은 구조부재의 내부 또는 외부에 스크류 볼트를 사용하여 기계적으로 고정되는 형태의

샌드위치패널 건축물의 대변하기 위한 시험체이다.

화재시험시 결합부나 시공마감 등에 의한 영향을 확인하기 위하여, 시험체는 구조 재료와 연결부, 고정부 등의 모든 부분들이 실제 현장에서 시공되는 것과 동일하게 설치되었다. 불연성 콘크리트 바닥 표면 위에 장방형 실의 벽과 천장이 있는 견고한 구조로 실제 건축시와 동일하게 제작하였다. 화재실 시험체 크기는 <표 1>의 내부치수를 기준으로 하였다. 시험체는 정면 벽에 <표 2>와 같은 출입구를 설치하고, 이외에 벽, 바닥 또는 천장에는 관통부가 없다.

<표 1> 시험체 내부치수

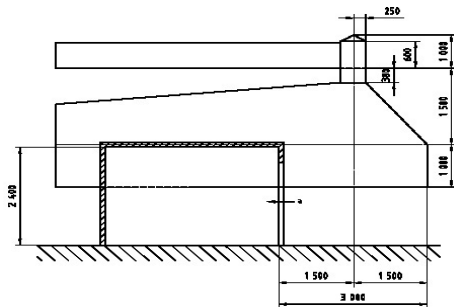
종류	치수
길이	(3.6×0.05)m
폭	(2.4×0.05)m
높이	(2.4×0.05)m

<표 2> 시험체 출입구의 크기

종류	치수
폭	(0.8×0.01)m
높이	(2.0×0.01)m

2.3. 시험방법

착화원은 (그림 3)과 같이 모래 등 불연성 재료의 다공성 충전물을 사용한 사각형 프로판 가스버너로서 연료가스가 내화 충전물 사이를 통과하여 상부면

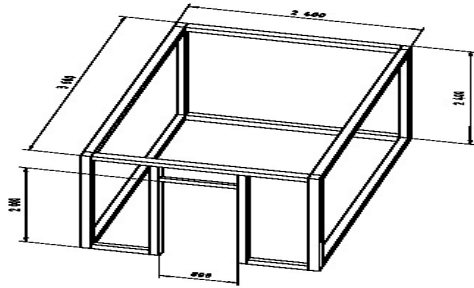


(a) 단면도



(b) 장치사진

[그림 1] 샌드위치패널 화재시험장치(소형시험)

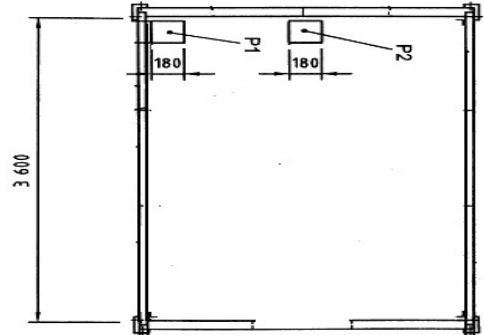


[그림 2] 시험체 골조

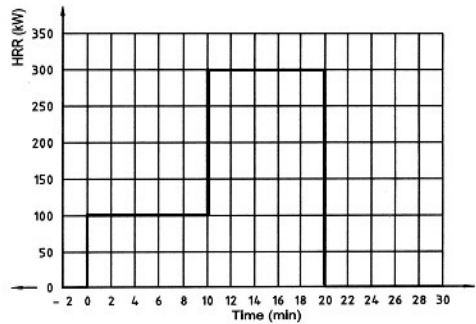
개방부로 전면적에 걸쳐 고르게 흐를 수 있는 구조이다.

버너위치는 [그림 4]와 같이 개구부가 있는 벽 반대편 모서리에 있어야 하고, 시험체와 접해 있어야 한다. 시험체 골조의 기둥 부재가 모서리에 있을 경우는 버너가 시험체와 접하지 못하므로, 후벽 코너에서 가장 가까운 결합부(P2지점)에 설치하여야 한다.

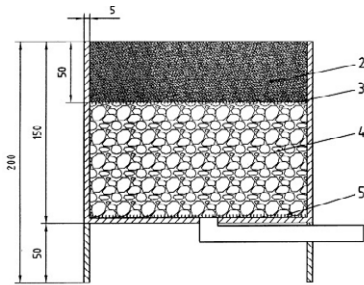
프로판의 순 열량값에 의한 버너 열량은 시험의 처음 10분 동안 100kW로, 다음 10분 동안에는 300kW로 가열하며, 나머지 10분간은 가열 없이 관찰한다. 가열개요는 [그림 5]와 같다.



[그림 4] 착화버너 설치위치



[그림 5] 경과시간별 착화버너 가열열량



1. 가스유입관 2. 모래 (2~3 mm)
3. 5Brass wire gauze(1.8mm)
4. 자갈(4~8mm)

[그림 3] 착화버너구조(180×180)

2.4 측정사항

ISO 13784 시험방법 중에서 열방출율의 측정은 일정량의 물질이 타는 동안 소비되는 산소량은 일정

하다는 가정 하에, 시험동안 산소소비량 및 이산화탄소 발생량을 측정하여 이론적으로 계산된다.

시험동안 측정사항은 열방출율(Heat Release Rate:HRR) 이외에, 연기 발생율(Smoke Production Rate:SPR), 시험체 내외부(정면, 옆면, 배면, 천장의 각각의 내외부)에서의 온도, 시험체 내부에서의 열류량 등이 있다. 그 외 배기유량이나, 산소소비량, 이산화탄소 발생량 등이 있으나, 이러한 항목들은 모두 열방출율을 계산하기 위한 부속적인 측정사항이고, 여기서는 열방출율과 연기발생율에 국한하여 설명하기로 한다.

2.4.1 열방출율

착화원에서의 열방출율 (kW)은 프로판 가스 소비량을 측정하여 다음 공식으로 계산한다.

$$\Phi_b = q_m \Delta h_{c,eff} \dots\dots\dots (1)$$

q_m 버너 프로판의 질량유속(g/s);
 $\Delta h_{c,eff}$ 프로판의 유효 연소량(kj/g);

100%의 연소 효율로 가정하였을 때, $\Delta h_{c,eff}$ 는 46.4 kj/g 을 사용할 수 있다.

시험체의 연소로 인한 열방출을 (kW)은 다음 공식으로 계산된다.

$$\Phi_s = q_{hs} q_{v298} X_{O_2}^0 \left[\frac{\gamma}{\gamma(a-1)+1} \right] - \frac{q_{hs}}{q_c H_s} \Phi_b > \dots (2)$$

q_{h, O_2} 산소의 체적당 열방출량(kJ/m³);
 q_{hs} 시험체의 연소량, 17.2×10³ kJ/m³(25℃);
 $q_c H_s$ 프로판의 연소량, 16.8×10³ kJ/m³ (25℃);
 q_{v298} 25℃, 대기압 상태에서 배기 덕트 내 가스의 배기유량(m³/s);
 a 산소가 소비된 공기의 화학적 반응으로 인한 팽창 계수; (연소시 $a=1,105$);
 γ 산소소모계수;

$$\gamma = \frac{x_{O_2 a}(1-x_{CO_2}) - x_{O_2}(1-x_{CO_2} a)}{x_{O_2 a}(1-x_{CO_2} - x_{O_2})}$$

$x_{O_2 a}$ 대기중의 수증기를 포함한 산소의 몰분율 (mole fraction);
 $x_{O_2 a}$ 산소 분석기의 초기 몰분율(mole fraction);
 x_{O_2} 시험시 산소 분석기의 몰분율(mole fraction);
 $x_{CO_2 a}$ 이산화탄소 분석기의 초기 몰분율(mole fraction);
 x_{CO_2} 시험시 이산화탄소 분석 몰분율(mole fraction);
 $x_{H_2O, a}$ 대기중 수증기의 몰분율(mole fraction);

시험시 발생된 일산화탄소의 양은 고려하지 않으며, 그로 인한 측정값의 오차는 무시할 수 있다.

q_{h, O_2} 에 대한 열방출량 17.2kW/m³ 은 많은 양의 연소 물에 대한 평균값이다.

2.4.2 연소 가스

특정 가스의 몰분율을 측정함으로써, 0.1MPa, 25℃에서의 순간 가스 생성을 $q_{v, gas}$ (m³/s)과 총 가스 생성량 v_{gas} (m³)을 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$q_{v, gas} = q_{v, 298} x_i \dots\dots\dots (3)$$

$$v_{gas} = \int_0^t q_{v, gas} dt \dots\dots\dots (4)$$

$q_{v, gas}$ 0.1MPa, 25℃ 에서 배기 덕트 내의 배기유량 (m³/s);

x_i 분석기에서 표시되는 가스 몰분율(mole fraction);

t 착화로부터의 시간(s);

2.4.3 광농도(Light obscuration)

광농도는 광감쇠(extinction) 계수 ϵ (m⁻¹)로 나타낸다.

$$\epsilon = \frac{I}{l} \in \left(\frac{I_0}{I} \right) \dots\dots\dots (5)$$

I_0 연기가 없는 조건에서 평행광선에 대한 광농도.

I 연기가 있는 조건에서 일정한 길이를 통과하는 평행광선에 대한 광농도;

l 평행광선 길이(m)

광농도 연기 순간변화율 $E_{p, inst}$ (m²/s)과 총 연기발생율 $E_{p, tot}$ (m²/s)은 다음으로 계산한다.

$$E_{p, inst} = \epsilon q_{v, e} \dots\dots\dots (6)$$

$$E_{p, tot} = \int_0^t \epsilon q_{v, e} dt \dots\dots\dots (7)$$

$q_{v, e}$ 배기 덕트 내의 가스온도에서의 배기유량 (m²/s)

t 착화순간으로부터 시간(s)

3. ISO 13784-part1 시험

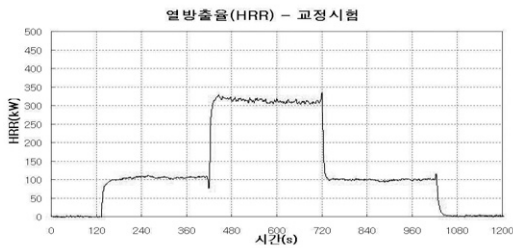
3.1 교정시험

교정은 후드 아래에 1.2m 위치한 프로판가스버너

로 <표 3>에 따른 유량을 투입한 후, 점화하여 발생한 연소가스를 후드에서 포집하여 측정다트에서 측정된 가스분석에 의해 산출된 열방출율과 비교하였다. 측정에 의한 산소소비량과 실제 가스투입량으로 계산된 열방출율의 차이가 5%를 초과하지 않아 규정에 적합하였다.

<표 3> 버너 열방출율 교정기준

경과시간(분)	교정 열방출율(kW)
0~2	0
3~8	100
8~13	300
13~18	100
18~20	0



[그림 6] 교정시험 열방출율

3.2 시험수행

본 연구에서는 국내 5종의 샌드위치패널을 ISO 13784-part1(소형시험) 시험방법에 의해 시험하고, 그 결과를 분석하였다.

<표 4> 시험체 종류

시험체명	두께(mm)	단열재종류	밀도(kg/m³)
A	75	Glass Wool	64
B	75	Mineral Wool	48
C	75	EPS	15
D	75	PIR	50
E	75	PUR	40

단열재별 시험체 종류는 스티로폼 1종(EPS), 우레탄폼 2종(PIR, PUR), Glass wool 1종, Mineral wool 1종의 총 5종이다.

3.3 시험결과

3.3.1. 열방출율(HRR) 및 연기발생율(SPR) 결과분석

샌드위치패널 소형시험체 5종에 대하여 열방출율(Heat Release Rate :HRR) 및 연기발생율(Smoke Production Rate :SPR)을 측정하였다.

각 시험체에 대한 시험결과는 표 5와 같다. 열방출율이 1000kW일 때, 플래시오버가 일어나는 순간으로 판단였다. 시험체 C(EPS)의 경우 9분 50초에, 시험체 E(PUR)의 경우 14분 10초에 플래시오버가 발생하였고 다른 종류의 시험체는 플래시오버가 발생하지 않았다.

플래시오버가 일어난 시험체의 연기발생율에 있어서 시험체 C(EPS)는 9분 50초 경과시 최고 22.84 m²/s, 시험체 E(PUR)에서 14분 30초 경과시 58.75 m²/s의 최대 연기발생율을 나타내었다.

이로 미루어 볼 때, 시험체 C의 경우는 버너 열출력이 100kW인 10분 내에 폭발적으로 반응하여 플래시오버 순간까지 급격하게 연소한다는 것을 알 수 있으며, 시험체 E의 경우에는 시험체 C에 비하여 다소 천천히 반응하다가 버너의 열출력이 300kW로 증가된 순간부터 급격히 연소되어 플래시오버가 일어난다는 것을 확인할 수 있다.

연기발생율에서 시험체 E와 C의 경우, 연기량 및 그늘음이 너무 많아 플래시오버가 일어난 순간 이후의 연기발생율은 측정할 수 없었다.

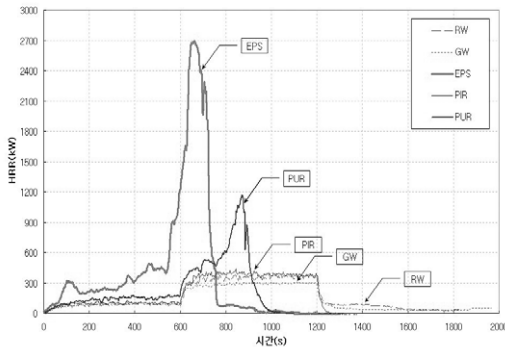
[그림 7]에는 각 시험체의 시간에 대한 열방출율을 그래프로 나타내었고, [그림 8]에는 연기발생율을 나타내었다.

〈표 5〉 열방출율(버너열량포함)(HRR) 및 연기발생율(SPR)-단위:KW(HRR), m³/s(SPR)

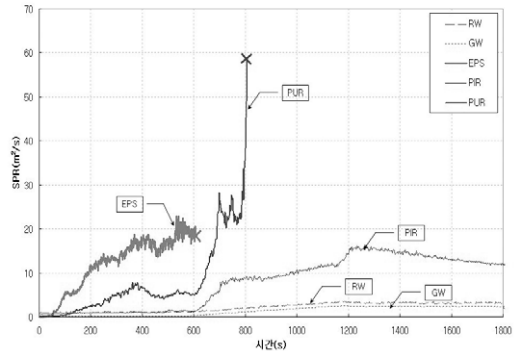
시험체명	A(GW)	B(RW)	C(EPS)	D(PIR)	E(PUR)
플래시오버 시간(min:s)	No FO	No FO	9:50	No FO	14:10
100kW 도달시간(min:s)	No FO	No FO	9:50	No FO	14:10
Max HRR(0-2min)	79	82	316	100	109
Max HRR(0-10min)	112	111	≥900**	132	193
Max HRR(0-12min)	286	356	≥900**	407	533
Max HRR(0-20min)	311	403	≥900**	438	≥700**
Max SPR(0-2min)	0.19	1.18	5.17	0.87	0.70
Max SPR(0-10min)	0.27	1.38	22.84**	1.59	7.82
Max SPR(0-12min)	0.97	1.74	*	8.15	28.26
Max SPR(0-20min)	2.64	3.53	*	14.50	58.75**
Average HRR(0-10min)	83	81	328**	91	130
Average HRR(0-12min)	111	115	*	129	178
Average HRR(0-20min)	183	212	*	232	*
Average SPR(0-10min)	0.17	1.10	11.98**	1.02	3.61
Average SPR(0-12min)	0.24	1.15	*	1.55	5.34
Average SPR(0-20min)	0.85	1.74	*	4.94	*

* 플래시 오버로 인해 측정 불가능.

** 플래시 오버는 이 시간에 일어났으며, 측정값은 플래시오버 이전까지의 값임.



[그림 7] 열방출율(HRR)



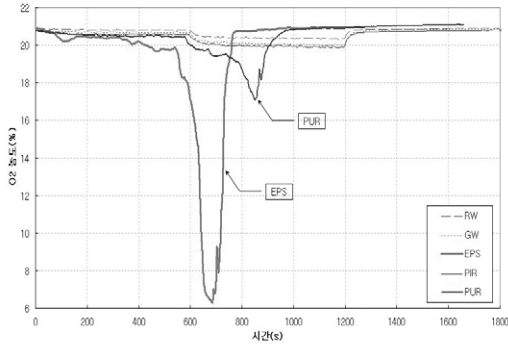
[그림 8] 연기발생율(SPR)

3.3.2. 연소가스농도 및 가스발생율

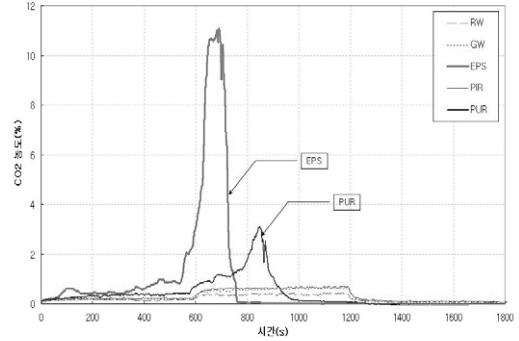
각각의 시험체에 대한 가스농도는 샘플링관을 통하여 들어온 O₂ 및 CO₂를 퍼센트(%)로서 나타내어 2초마다 나타내었다.

[그림 9]에는 O₂의 농도를 나타내었고, [그림 10]에는 CO₂의 농도를 나타내었다.

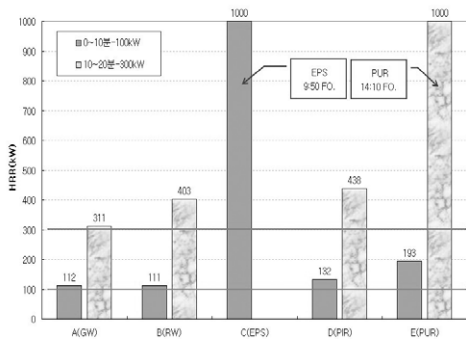
표 5에서는 시험체 C(EPS)의 경우 플래시오버가 9분 50초에 일어난 것을 감안할 때, O₂ 및 CO₂ 농도가 그 기간에 급격하게 변한다는 것을 확인할 수 있다. O₂는 21%에서 6% 정도까지 감소하였고, CO₂는 초기에 0.4% 정도였으나, 이 기간동안 11% 정도로 증가하였다.



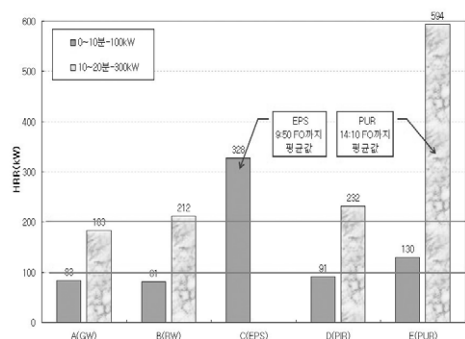
[그림 9] O₂ 농도



[그림 10] CO₂ 농도



[그림 11] 열방출율(HRR) 최대값



[그림 12] 열방출율(HRR)평균값

시험체 E(PUR)의 경우에도 플래시오버가 14분 10초에 일어났으며, O₂는 21%에서 17% 정도로 감소하였고, CO₂는 초기에 0.4% 정도였으나, 이 기간동안 3% 정도로 증가하였다.

4. ISO 13784-part1 시험결과 분석

[그림 11]에 시험체별로 열방출율의 최대값을 비교하였다. 버너의 열방출율이 100kW인 0~10분간과 300kW인 10~20분간의 열방출율을 동시에 나타내었다.

시험체 A(GW)의 경우는 시험결과인 열방출율이 버너의 열방출율과 거의 동일하여 거의 연소되지 않았음을 나타낸다. 반면, 시험체 C(EPS)의 경우는 버너 열방출율 100kW를 제외하고도 900kW이상의

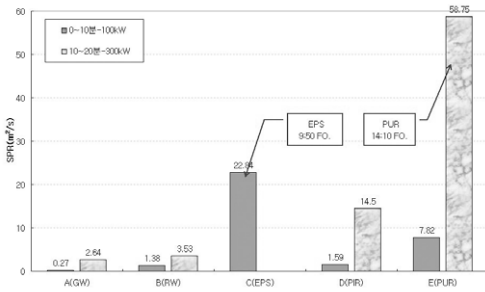
열방출율이 기록되어 연소과정이 활발하였음을 나타내고 있다.

[그림 12]에는 시험체별 열방출율의 평균값을 나타내었다. 0~10분 동안은 평균값이 100kW(버너의 열방출율)인데, 그림에서 시험체 A(GW), B(MW), D(PIR)의 경우에는 100kW보다 낮은 값을 가지고, 플래시오버가 일어난 C(EPS)와 E(PUR)는 100kW보다 높은 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 시험체 A, B, D가 100kW(버너의 열방출율)보다 낮은 값을 가지는 이유는, 초기에 100kW 까지 상승하는데 시간이 걸려서 평균 열량 감소가 생기는 것 때문인 것으로 판단된다.

300kW의 경우에는 시험체 A를 제외하고 모두 평균값을 넘어서는 것으로 나타났다.

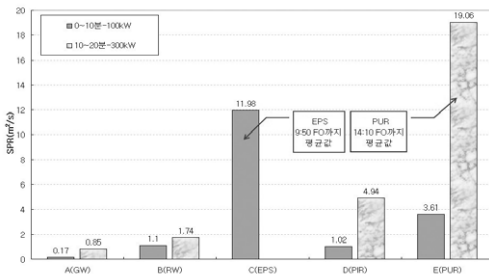
이와 같은 내용을 정리하면, 시험체 A(GW)와 시험체 B(MW)는 연소가 거의 일어나지 않으며, 시험체 D(PIR) 또한 거의 연소하지 않는 것으로 나타났다. 반면, 시험체 C(EPS)는 초기 버너의 점화와 거의 동시에 연소하기 시작하여 폭발적으로 연소되며, 시험체 E(PUR)의 경우는 시험체 C보다는 천천히 연소하지만 300kW로 버너의 열출력이 상승한 직후 연소가 급격히 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

[그림 13]에는 시험체의 연기발생율 최대값을 나타내었다. 버너의 열출력이 0~100kW의 경우에는 플래시오버가 일어난 시험체 C(EPS)가 22.84m²/s로서 가장 높은 값을 가진다. 그리고 이 기간에 플래시오버가 일어나지 않았으나 시험체 E(PUR)의 값도 7.82m²/s으로 높은 값을 나타낸다. 버너 열출력이 300kW 일 때에는 우레탄 계열 재료의 연기발생율이 두드러지게 증가하는 것을 확인할 수 있다.



[그림 13] 연기발생율(SPR) 최대값

[그림 14]에는 연기발생율의 평균값을 나타내었다.

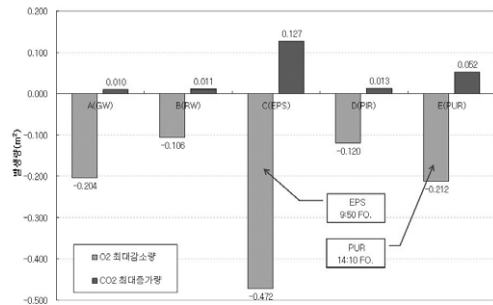


[그림 14] 연기발생율(SPR) 평균값

위의 [그림 13]과 [그림 14]에서 확인할 수 있는 것은 연기발생율은 재료와 플래시오버에 따라 달라진다는 점이다. Glass wool과 Mineral wool은 아주 낮은 값을 가지고, 우레탄 계열은 연기발생율이 많다는 것을 확인할 수 있다. 우레탄 중에서도 PUR이 더욱 많은 연기를 발생시키는 것을 확인할 수 있고, 플래시오버가 일어난 PUR의 경우는 가장 큰 연기발생율을 가진다. EPS의 경우는 버너 열출력이 100kW일 때 플래시오버가 일어나므로 재료적으로나 플래시오버의 관점에서나 가장 큰 연기발생율을 가진다.

[그림 15]에는 가스발생량을 나타내었다. 가스발생량은 O₂ 농도와 CO₂ 농도에 배기유량을 곱하여 산정하였다. 산소의 경우는 감소량으로써, 이산화탄소의 경우는 증가량으로써 나타내었다.

가스발생량 최대값은 부피로써 나타내며, 시험동안 최대발생량에서 초기발생량을 감한 부피이다. 변화가 가장 큰 EPS 골조형에서 산소는 0.472m³ 감소하였으며, 이산화탄소는 0.127m³ 증가하였다.



[그림 15] 가스발생율 최대값

5. 결론

본 연구에서는 ISO 13784-part1을 사용하여 시험연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 국내의 건축용 샌드위치패널 구조물을 ISO 13784-part1(소형시험)시험에 적용한 결과, 시험체 종류별로 각각 다른 화재성능을 나타내었으며, 실제 샌드위치패널 건축물이 화재에 노출되었을 때 열방출을 및 연기발생에서 안전성을 확보하고 있는지를 검증할 수 있는 시험방법으로 판단된다.
2. 열방출율이 1000kW이상일 경우(버너열량 포함)를 플래시오버로 판단하여, 시험체 C(EPS)에서는 9분 50초, E(PUR)에서는 14분 10초에 플래시오버가 발생하였으며, 다른 종류의 시험체는 플래시오버가 발생하지 않았다. 플래시오버가 일어난 시험체의 연기발생에 있어서 시험체 C(EPS)는 9분 50초 경과시 최고 22.84m²/s, 시험체 E(PUR)에서 14분 30초 경과시 58.75m²/s의 최대 연기발생율을 가진다.
3. 시험체 A(GW), B(MW)는 거의 연소하지 않았고, 시험체 D(PIR)는 열방출율은 거의 없으나 연기발생율이 컸으며, 시험체 C(EPS)는 초기 버너의 점화와 동시에 연소하기 시작하여 폭발적으로 연소되며, 시험체 E(PUR)의 경우는 EPS보다는 천천히 연소하지만 300kW로 버너의 열출력이 상승한 직후 급격히 연소하는 특성을 나타내었다.

6. 맺음말

본 연구에서 수행한 ISO 13784-part1 시험방법을 통한 샌드위치패널의 화재특성 연구로, 그동안 문제점을 도출하고 있던 기존 샌드위치패널 시험방법을 보완할 수 있는 방향이 제시된 것으로 판단된다.

그러나, 국외에서 이미 ISO 13784-part1과 같은 실대시험방법을 통하여 시험체별 화재성능에 대한 등급을 판단하고 있는 것(EN 13501-1)과 달리,

국내에서는 화재성능 분류기준이 없으며, 실대시험에 대한 인식도 부족한 실정이다. 그러므로 이 같은 문제를 해결하기 위해서는 시험시설을 확충하고, 국내 샌드위치패널에 대한 광범위한 다수의 시험이 수행되어야 한다. 그럼으로써 ISO 13784 시험방법에 의한 국내 샌드위치패널의 화재성능 분류기준을 제정할 수 있을 것이다. 그와 더불어 분류기준에 따른 적합한 용도의 샌드위치패널 사용으로 국민의 화재위험을 감소시키고, 샌드위치패널 시장의 활성화를 가져올 수 있을 것으로 판단된다. **FILK**

【참고문헌】

1. 건물내부 마감재 성능규정의 적정성 및 PIR패널 난연성능에 관한 연구, 대한건축학회, 2002
2. KS F 2271(건축 내장재료 및 공법의 난연성시험 방법, 1999)
3. ISO 9705 Fire tests-Full-scale room test for surface products, 1993
4. ISO 13784-1 Reaction to fire tests for sandwich panel building systems- Part1:Test method for small rooms, 2002
5. prEN 13501-1 Fire classification of construction products and building elements- Part1:Classification using test data from reaction to fire tests, 2000
6. Fire Performance of Wall and Ceiling Lining Materials. V. P. Dowling and J. M. Blackmore CSIRO Building, Construction and Engineering. Fire Code Reform Research Program, Australian, 1998
7. European system of classification for construction products, Fire safety engineering, March 2001, 6p~9p