

# 복사열을 이용한 샌드위치 패널 심재의 연소특성 분석

## A Combustion Characteristic Analysis of Sandwich Panel Core Using Radiation Heat Flux

박 형 주

Hyung-Ju Park

호원대학교 소방행정학부  
(2007. 10. 2. 접수/2007. 12. 14. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 샌드위치 패널 심재에 대한 연소열과 일정한 외부 복사열에 의한 연소특성을 분석하였다. 일정한 외부 복사열원에 노출된 샌드위치 패널 심재의 착화시간, 임계열유속, 착화온도, 시료 표면 온도의 변화를 측정하기 위해 3가지 Type의 시료를 사용하였으며, 연소열을 측정하기 위해 Oxygen bomb calorimeter를, 연소특성을 측정하기 위해 Mass loss calorimeter를 사용하였다. 연소특성을 측정하기 위해 100 mm×100 mm×50 mm 크기의 시료를 사용하였다. 연구결과, 연소열과 착화온도에 있어서 가장 좋은 특성을 갖는 것은 Type B인 반면 임계열유속과 시료 표면온도 변화에 있어서는 Type C에서 가장 좋은 특성을 나타내었다. 모든 연구 데이터를 종합한 결과 Type C가 가장 좋은 화재안정성을 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 향후, 샌드위치 패널 심재에 대한 열방출률 특성과 질량감소속도에 대한 실험 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### ABSTRACT

The combustion characteristics and combustion heat of sandwich panel cores were analysed using variable external irradiation level. The characteristics such as ignition time, critical heat flux, ignition temperature and surface temperature profile were measured. Fuel samples were exposed to incident heat fluxes from 15 to 50 kW/m<sup>2</sup>. For the measurement of various combustion characteristics, the size of specimen was 100 mm × 100 mm × 50 mm and the samples were 3 different kinds. As results, Type B showed the best characteristics in measurement of combustion heat and ignition temperature and Type C showed the best characteristics in critical heat flux and surface temperature profile than that of the other two. In conclusion, we knew that Type C had the best performance in fire safety from all data of this study.

**Keywords :** Radiation heat flux, Sandwich panel core, Combustion heat, Critical heat flux, Combustion characteristic

## 1. 서 론

샌드위치 패널은 단열재(심재)의 양면에 일반적으로 0.5 mm 아연도금강판을 부착한 단열성과 시공성이 우수한 제품으로 1980년대 중반 이후부터 건설현장에서 건물의 내벽, 외벽, 지붕자재 등으로 그 사용량이 급격히 증가되어 왔다. 단열재의 종류로는 스티로폼, 우레탄폼, 유리면 및 암면, 그리고 페놀폼 등이 있다.<sup>1)</sup>

이러한 샌드위치 패널은 단열재의 양면에 강판이 부착되어 있어 화재시 초기착화를 지연시킬 수 있으나, 열이 단열재로 쉽게 전달될 수 있으며 특히 단열재가 가연성 물질일 경우 화재시 일정시간이 경과하게 되면 내부 단열재가 급속히 연소되고 화재진압에 있어 많은 어려움이 있어 건축물의 전소와 붕괴의 위험성이 높은 것으로 알려져 있다. 또한 연소시 발생하는 연기로 인해 피난시 가시거리의 확보가 어려워지며, 일산화탄소(CO), 염소가스(HCl), 시안화수소(HCN) 등과 같은 유해가스는 피난자의 감각기관과 호흡기관을 자극하여

<sup>†</sup> E-mail: sandelf@howon.ac.kr

피난시 피난자의 행동장에 뿐만 아니라 고농도에 노출될 경우 사망에 이르게 한다.

국내에서 발생한 샌드위치 패널 화재 중 씨랜드 청소년 수련원화재(1999년), 청도 버섯농장화재(2003년), 경기도 안양에 위치한 대규모 물류창고화재(2004년)의 경우에서 알 수 있듯이 샌드위치 패널로 지어진 건축물의 화재는 대형 인명 피해 및 재산피해를 발생시킨다는 것을 알 수 있다.<sup>2)</sup>

샌드위치 패널의 화재 위험성을 평가하기 위해 국내에서 규정하고 있는 화재성능평가방법으로는 건설교통부고시 제2006-476호의 난연재료의 경우 KS F ISO 5660-1(Cone Calorimeter Method)과 KS F 2271(건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법)을 따르도록 하고 있다.

KS F ISO 5660-1 시험방법은 가열강도  $50 \text{ kW/m}^2$ 에서 시험체가 실내에 접하는 면에 대하여 3회 실시하여 가열시험 개시 후 5분간 총 방출열량이  $8 \text{ MJ/m}^2$  이하이며, 5분간 최대 열방출률이 10초 이상 연속으로  $200 \text{ kW/m}^2$ 을 초과하지 않으며, 5분간 가열 후 시험체를 관통하는 방화상 유해한 균열, 구멍 및 용융 등이 없어야 한다고 규정하고 있으며, KS F 2271 시험방법은 시험체가 실내에 접하는 면에 대하여 2회 실시하여 가스유해성 시험결과, 실험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다고 규정하고 있다.<sup>3)</sup>

그러나 상기의 시험방법은 단열재(심재)의 양면에 강판이 붙어 있는 상태에서 이루어지므로 샌드위치 패널 심재 자체의 화재 위험성과는 서로 다른 연소특성이 있을 것으로 판단되므로 이에 대한 화재 위험성 평가가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 샌드위치 패널 심재에 대한 단위중량당 연소열(cal/g)을 Bomb oxygen calorimeter를 이용하여 측정하고 화재시 발생되는 복사열에 대한 영향을 평가하기 위해 Mass loss calorimeter를 이용하여 일정한 외부 복사열원이 존재하는 상태에서 각 시료에 대한 착화시간(Time to ignition), 임계열유속(Critical heat flux), 착화온도(Ignition temperature)등의 연소특성을 측정하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 Oxygen Bomb Calorimeter

샌드위치 패널 심재의 단위 중량당 연소열(cal/g)을 측정하기 위해 Figure 1과 같이 Oxygen Bomb Calorimeter (Parr 1261)를 사용하였다.

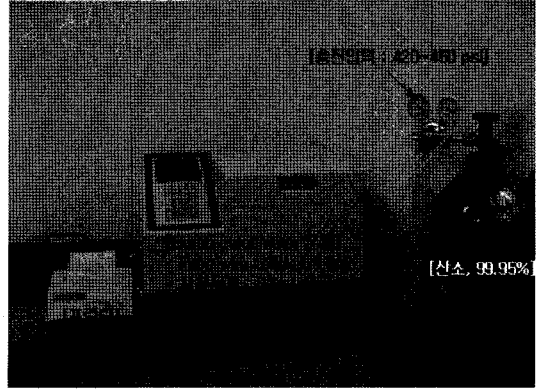


Figure 1. Photograph of oxygen bomb calorimeter for measure a combustion heat.

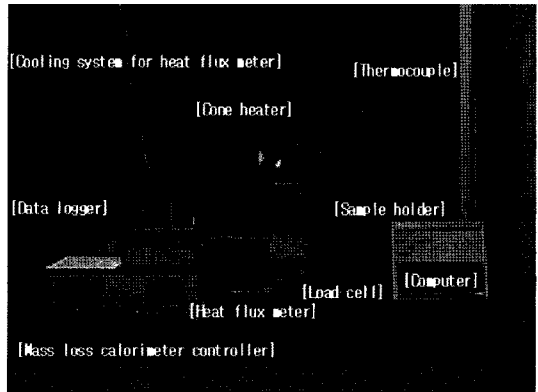


Figure 2. Photograph of mass loss calorimeter for measure a combustion characteristics.

#### 2.1.2 Mass Loss Calorimeter

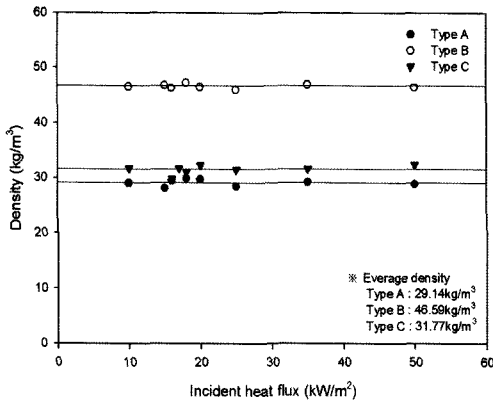
일정한 Heat Flux( $15\sim 50 \text{ kW/m}^2$ )에서 각 샌드위치 패널 심재의 착화시간(Ignition time), 착화온도(Ignition temperature), 임계열유속(Critical heat flux) 등의 연소특성을 측정하기 위해 Figure 2와 같이 ISO 5660(Fire tests - Reaction to Fire, part 1)을 만족하는 Mass Loss Calorimeter(FTT 사)를 사용하였다.<sup>4)</sup>

### 2.2 실험시료

시료는 발포 폴리스티렌(EPS, Expandable Polystyrene)과 열 안정성이 우수한 플라스틱 수지와 무기물을 화학적 반응을 통하여 합성한 내화 피복재로 구성된 스킨 코어 형태의 특수한 구조적 특징을 갖는 발포입자성형물<sup>5)</sup>로 밀도 차이에 따라 Table 1과 같이 3가지 Type으로 구분하여 연소열과 연소특성 등을 실험하였다. Table 1에 나타난 밀도와 크기는 본 실험에 사용된 전체 시료에 대한 평균값을 측정하여 표기한 것이

**Table 1.** Test Specimens

Sample	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Size (mm)		
		Length	Width	Height
Type A	29.14	99.85	99.83	50.62
Type B	46.59	99.96	99.78	50.57
Type C	31.77	99.83	99.75	50.40



**Figure 3.** Density of test specimens used at each incident heat flux.

며, Figure 3은 본 연구에 사용된 시료의 평균 밀도와 각 외부 복사열의 단계에서 사용된 시료의 밀도를 나타내었다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 연소열 측정

샌드위치 패널 심재의 단위 중량당 연소열은 Figure 1에 나타난 Oxygen Bomb Calorimeter를 이용 측정하였다. 시료는 Table 1에 나타낸 각 시료로부터 약 0.1 g 정도를 절단하여 사용하였으며, 시료에 대한 점화는 길이 10 cm 정도의 Nickel 선을 사용하였다. 또한 고압 Bomb 내에 충전되는 산소의 순도는 99.5%이며, 압력은 30 kg/cm<sup>2</sup>로 설정한 후 실험을 진행하였다.

#### 2.3.2 연소특성 측정

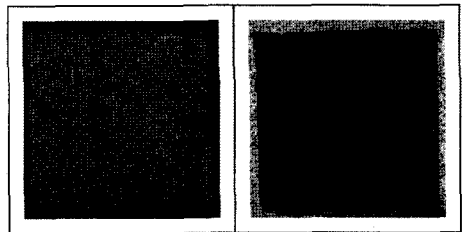
일정한 Heat flux(15~50 kW/m<sup>2</sup>)에서의 연소특성은 Figure 2에 나타난 Mass Loss Calorimeter를 이용하여 측정하였다. 시료는 100 mm×100 mm×50 mm의 크기로 준비하여 온도 23±2 °C, 상대습도 50±5% 상태에서 전처리시킨 후 시험전에 버니어캘리퍼스와 전자저울을 이용하여 크기와 무게를 측정하였다. 전 처리된 시료는 0.03~0.05 mm의 알루미늄 호일로 반쪽거리면이 시편을 향하도록 비 노출면을 감싼다.

Heat flux은 Mass loss calorimeter controller를 이용하여 설정온도까지 상승시킨 후 설정온도에서 방출되는 복사열량을 Medtherm 사의 Heat flux meter를 이용하여 측정한다. 방출되는 복사열량(15~50 kW/m<sup>2</sup>)이 일정해 지면 준비된 시료를 Cone heater의 바닥면과 시료의 상부 표면 사이 거리를 25.0 mm(약 1 inch)로 조정한다.

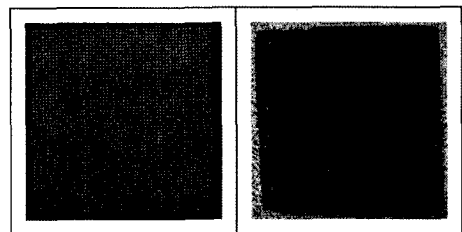
준비된 시료와 시료 홀더를 load cell 장치위에 놓고 실험을 개시한 후 초시계를 이용하여 착화시간, 유염 연소시간, 소염 후 연소시간 등을 측정한다. 시료에 대한 착화는 Cone heater 하부와 시료 상부의 중간 위치에서 점화 스파크를 이용하여 실시하였다. 또한 착화 온도와 온도변화는 시료표면에 위치한 K-type(φ1.0 mm)의 열전대를 이용하여 매 1초 간격으로 측정하였으며, 실험시간 동안 시료의 중량변화는 매 1초 간격으로 Load cell을 이용하여 측정하였다. 이때 각종 Data는 Data logger를 이용하여 Computer에 자동으로 저장된다.

### 3. 결과 및 고찰

샌드위치 패널 심재 3종에 대한 연소열과 연소특성 실험을 실시하여, 다음과 같은 결과를 얻었으며, Figure 4~Figure 6에 시편의 시험 전과 후 모습을 나타내었다. 난연처리 되지 않은 EPS의 경우 콘칼로리미터 시험의 연구결과에서 심재가 모두가 소실되는 경향<sup>1)</sup>을 나타낸 반면 본 연구에서 사용된 난연 처리된 EPS의 경우 모두 소실되지 않고 일정한 형태를 유지하였다.



**Figure 4.** Photograph of specimen Type A before (left) and after combustion.



**Figure 5.** Photograph of specimen Type B before (left) and after combustion.

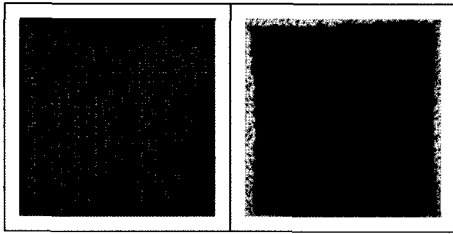


Figure 6. Photograph of specimen Type C before (left) and after combustion.

Table 2. Combustion Heat of Sandwich Panel Core

No.	Combustion heat (cal/g)		
	Type A	Type B	Type C
1	5178.98	4090.67	5076.92
2	5189.28	3970.41	5292.99
3	5101.09	4027.46	5243.66
Average	5156.45	4029.51	5204.52

3.1 연소열

Oxygen bomb calorimeter를 이용한 샌드위치 패널 심재의 단위 중량당 연소열을 측정한 결과는 Table 2에 나타내었다. 연소열 측정은 시료에 대해 동일한 방법으로 5회 실험 후 가장 높은 값과 낮은 값을 제외한 3가지의 평균값을 나타낸 것으로 Type C > Type A > Type B 순으로 연소열이 높게 측정되었다. 연소열이란 기화 반응에 의하여 단위 질량당 방출되는 화학적 에너지로 화재와 관련하여 가장 중요한 값이라고 할 수 있는 에너지 방출속도를 예측하는데 있어 중요한 Data로 사용된다.<sup>6)</sup>

3.2 연소특성 측정

Mass loss calorimeter를 이용한 Incident heat flux에서의 샌드위치 패널 심재에 대한 착화시간, 임계열유속, 착화온도, 시료 표면온도의 변화를 측정한 결과는 다음과 같다.

3.2.1 착화시간

외부 복사열의 변화에 따른 평균착화시간과  $1/\sqrt{t_{ig}}$ 은 Table 3에 나타내었다. 착화시간은 Cone heater로부터 방출되는 각 외부 복사열의 단계에서 점화스파크에 의해 시료 표면에서 착화가 발생할 때까지의 시간으로 3회의 측정 결과이며,  $1/\sqrt{t_{ig}}$ 은 측정된 각 착화시간으로부터 임계열유속을 예측하기 위해 착화시간에 대한 제곱근의 역수로 계산된 결과이다.

Table 3. Time to Ignition of Sandwich Panel Core

Heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	Time to ignition(s)			1/sqrt(t <sub>ig</sub> )		
	Type A	Type B	Type C	Type A	Type B	Type C
14	-	Non ignition	-	-	-	-
15	Non ignition	100.26	-	-	0.0999	-
		118.82			0.0917	
		104.85			0.0977	
16	55.01	65.38	Non ignition	0.1348	0.1237	-
	55.26	81.86		0.1345	0.1105	
	55.17	78.54		0.1346	0.1128	
17	-	-	56.70	-	-	0.1328
			69.60			0.1199
18	48.79	54.61	59.29	0.1432	0.1353	0.1299
	41.35	54.38	47.01	0.1555	0.1356	0.1458
	41.73	52.73	41.83	0.1548	0.1377	0.1546
20	29.86	37.67	29.41	0.1830	0.1629	0.1844
	29.64	37.48	27.51	0.1837	0.1633	0.1907
	29.55	38.45	29.17	0.1840	0.1613	0.1852
25	18.67	24.88	15.92	0.2314	0.2005	0.2506
	19.58	24.45	15.98	0.2260	0.2022	0.2502
	19.05	22.73	15.39	0.2291	0.2097	0.2549
35	8.02	11.10	6.89	0.3531	0.3002	0.3810
	7.54	11.36	6.95	0.3642	0.2967	0.3793
	7.55	11.86	6.10	0.3639	0.2904	0.4049
50	3.41	6.02	2.23	0.5415	0.4076	0.6696
	3.38	6.07	2.51	0.5439	0.4059	0.6312
	3.13	6.10	2.42	0.5652	0.4049	0.6428

Table 3에 나타낸 바와 같이 각 단계별 외부 복사열원에 5분간 노출시킨 동안 Type A의 경우 16 kW/m<sup>2</sup>, Type B의 경우 15 kW/m<sup>2</sup>, Type C의 경우 17 kW/m<sup>2</sup>의 미만의 외부 복사열에서의 착화가 발생하지 않았다. 따라서 초기화재의 안전성에 있어서는 Type C가 가장 높은 반면에 Type B의 경우에는 가장 낮은 값을 알 수 있었다.

Figure 7은 외부 복사열의 변화와 측정된 착화시간과의 관계를 나타낸 그래프로 착화시간은 외부 복사열이 임계열유속에 가까워질수록 무한대(∞)로 접근하고, 외부 복사열이 임계열유속보다 무한히 커질 경우 0으로 접근함을 알 수 있다. 즉, 식 (1)로부터  $\dot{q}_i'' \rightarrow \dot{q}_{cr}''$  일 때  $t_{ig} \rightarrow \infty$  이고,  $\dot{q}_i'' \gg \dot{q}_{cr}''$  일 때  $t_{ig} \rightarrow 0$  으로 수렴함을 알 수 있다.<sup>7-9)</sup>

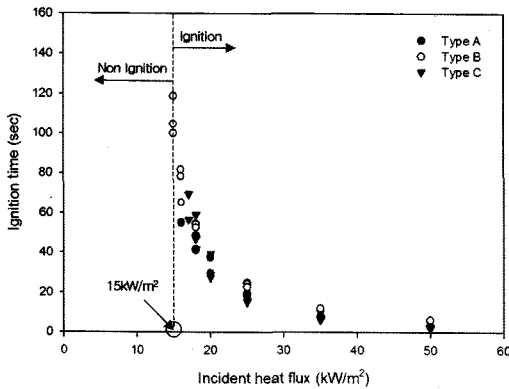


Figure 7. Ignition time vs incident heat flux for sandwich panel cores.

$$t_{ig} = \frac{4}{3} k\rho c \left[ \frac{1 - \beta_{ig}}{2 - \beta_{ig}} \right] \frac{(T_{ig} - T_0)^2}{[\dot{q}''(t_{ig})]^2} \quad (1)$$

3.2.2 임계열유속

외부 복사열에 노출된 시료가 착화하는데 필요한 최소의 복사열을 임계열유속이라 하며, 착화될 때의 가장 낮은 복사열과 착화되지 않는 가장 높은 복사열의 사이에서 실험적으로 열유속을 얻을 수 있다. 또한 각 외부 복사열에 따른 착화시간의 그래프에서 직선의 절편으로부터 예측할 수 있다. 결국, 본 연구에서는 임계열유속을 식 (1)로부터 유도된 다음 식 (4)와 착화시간으로부터 예측하였다.<sup>10)</sup>

$$\frac{1}{\sqrt{t_{ig}}} = (\dot{q}_i'' - \dot{q}_{cr}'') \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} k\rho c \left[ \frac{1 - \beta_{ig}}{2 - \beta_{ig}} \right] (T_{ig} - T_0)}} \quad (2)$$

$$\text{slope} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} k\rho c \left[ \frac{1 - \beta_{ig}}{2 - \beta_{ig}} \right] (T_{ig} - T_0)}} \quad (3)$$

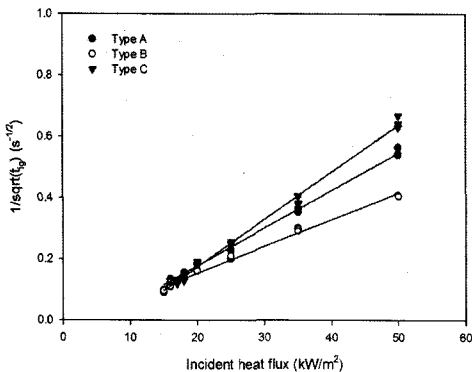


Figure 8. Linear regression analysis of ignition time according to incident heat flux.

$$\text{intercept} = -\text{slope}(\dot{q}_{cr}) \quad (4)$$

Figure 8은 모든 외부 복사열을 통한 직선의 회귀선을 갖는 샌드위치 패널 심재에 대한 외부 복사열의 변화에 따른  $1/\sqrt{t_{ig}}$  을 나타낸 것으로 각 직선의 절편 즉, 직선과 x축이 만나는 점이 각 시료에 있어서의 임계열유속이 된다. 식 (4)와 Figure 8로부터 예측된 임계열유속을 Spearpoint에 의해 제안된 0.76에 의해 변경된 모든 외부 복사열 data를 이용하여 각 시료에 대한 착화에 필요한 최종 임계열유속은 Type A의 경우  $7.26 \text{ kW/m}^2$ , Type B의 경우  $3.13 \text{ kW/m}^2$ , Type C의 경우  $11.39 \text{ kW/m}^2$ 으로 예측되었다.

3.2.3 착화온도

착화온도는 주어진 외부 복사열원에서 시험 시료의 노출된 표면 위에 위치한 1.0 mm의 직경을 갖는 K-type의 열전대를 이용하여 착화가 되는 순간의 온도를 측정된 것으로 Table 4에 나타난 샌드위치 패널 심재의 착화온도는 각 외부 복사열의 단계에서 전기스파크에 의해 시료 표면에서 착화가 발생할 때 열전대에 의해 측정된 온도로 3회의 측정 결과에 대한 평균값을 사용하였다.

Figure 9는 외부 복사열과 점화온도와의 관계를 나

Table 4. Ignition Temperatures of Sandwich Panel Core

Heat flux (kW/m <sup>2</sup> )	Ignition temperature (°C)		
	Type A	Type B	Type C
20	312.9	360.9	318.9
25	303.3	356.4	310.0
35	278.4	335.8	289.5
50	236.8	291.5	251.3

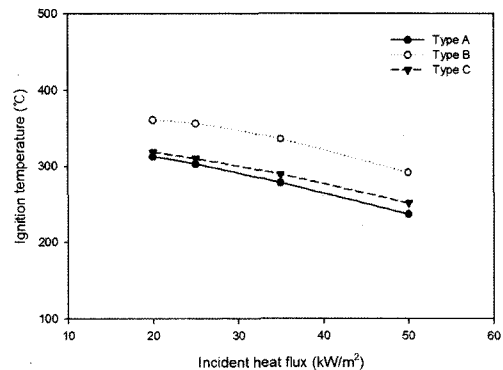


Figure 9. Ignition temperature vs incident heat flux for sandwich panel cores.

타낸 그래프로 모든 시료에서 외부 복사열원이 증가할수록 착화온도가 낮아짐을 알 수 있다. 이는 외부 복사열원이 증가함에 따라 시료의 표면에서 발생하는 열분해 가스의 발생량이 증가하고 빠른 시간내에 가연성 혼합기가 형성되어 전기스파크에 의해 착화가 발생되었기 때문이라고 판단된다. 각 Type 별 착화온도의 비교에 있어서 Type A와 C의 경우에는 큰 차이가 없으나 Type B의 경우 약 50°C 정도 높게 측정되었다. 이는 Type B의 착화시간이 상대적으로 길어짐에 따라 표면온도가 상승한 것으로 판단된다.

3.2.4 시료 표면온도의 변화

시료 표면온도의 변화는 각 단계별 외부 복사열원에 5분간 노출시킨 동안 시료의 노출된 표면 위에 위치한 1.0 mm의 직경을 갖는 K-type의 열전대를 이용하여 측정하였다.

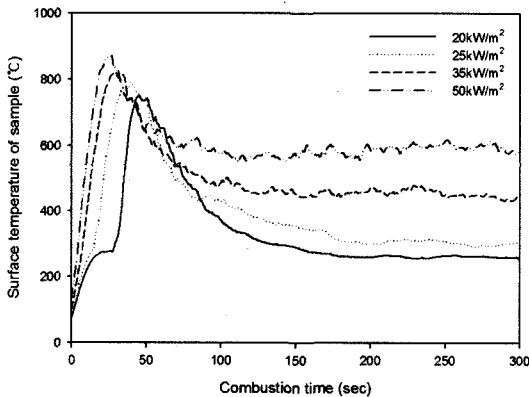


Figure 10. Surface temperature profile during the combustion at Type A.

Figure 10~Figure 12는 각 Type별에 대한 외부 복사열원의 변화에 따른 시료 표면온도의 변화를 Figure 13은 50 kW/m<sup>2</sup>의 외부 복사열에 노출된 각 Type 별 시료의 표면온도의 변화를 나타내었다. 이들 그래프로부터 표면온도의 변화는 외부 복사열원이 증가할수록 급격히 상승하고 최고 온도 또한 증가함을 알 수 있다. 50 kW/m<sup>2</sup>의 외부복사열원에서 최고 표면온도는 859°C~870°C의 범위를 나타내고 있으나 최고온도를 나타내는 시간에 있어서 Type A와 C의 경우 외부 복사열원에 노출 후 50초 이내에서 발생한 반면에 Type B의 경우에는 100초 전후에서 발생하였다. 또한 Type B의 경우 Type A와 C의 표면온도의 변화보다 그래프가 완만하게 나타난 것은 착화 후 연소 현상에 있어 Type A와 C는 급격하게 진행된 반면에 Type B는 완만하게 진행된 결과인 것으로 판단된다.

Figure 14는 외부 복사열원의 변화에 따른 착화 후

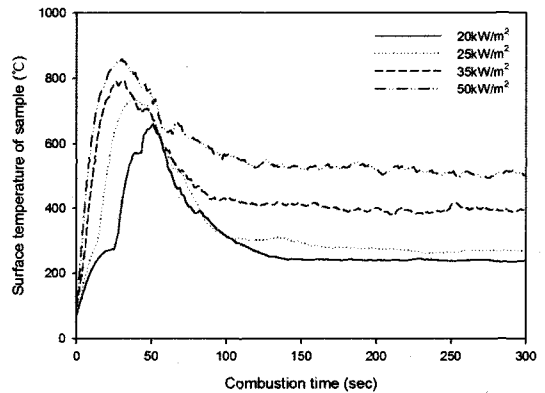


Figure 12. Surface temperature profile during the combustion at Type C.

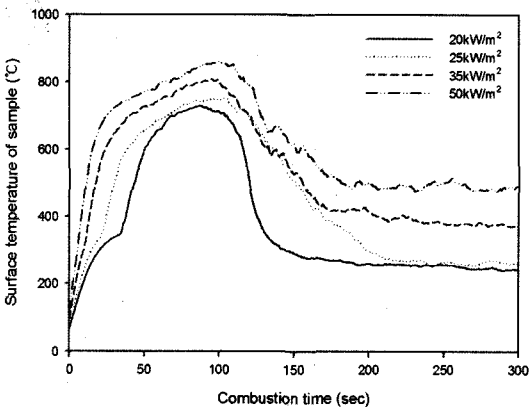


Figure 11. Surface temperature profile during the combustion at Type B.

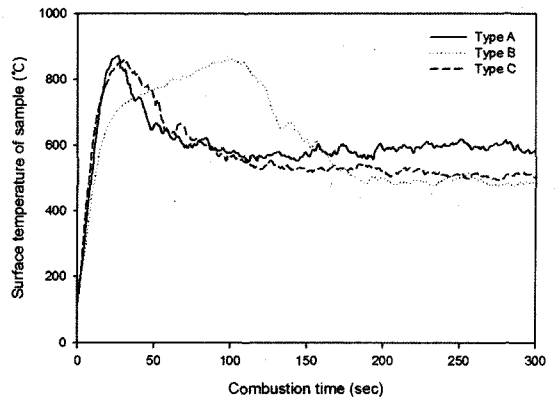


Figure 13. Surface temperature profile of each type during the combustion at 50 kW/m<sup>2</sup>.

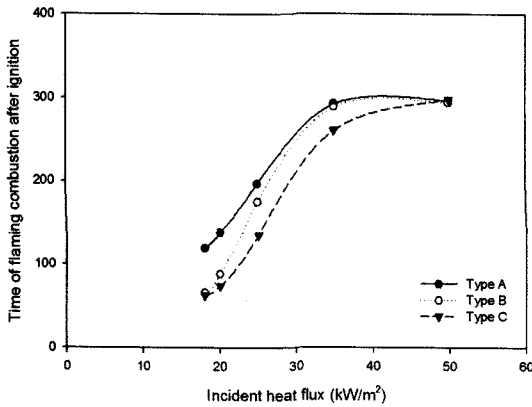


Figure 14. Time of flaming combustion after ignition vs incident heat flux for sandwich panel core.

유연연소 시간과의 관계를 나타낸 것으로 50 kW/m<sup>2</sup>의 외부 복사열원에서는 5분 이상 화염이 지속된 반면에 외부 복사열원이 낮아질수록 화염의 지속시간이 짧아지는 현상을 나타내었다. 각 Type 별 화염의 지속시간을 보면 50 kW/m<sup>2</sup> 미만의 외부복사열원에서 Type A가 가장 길게 나타난 반면 Type C가 가장 짧게 나타난다. 동일한 외부 복사열원의 조건에서 화염의 지속시간이 짧다는 것은 물질 자체의 소염성이 우수하다는 것을 의미한다.

연소열과 착화시간, 임계열유속, 착화온도, 시료 표면온도의 변화를 측정된 결과 Type B의 경우 연소열과 착화온도에 있어서 가장 좋은 특성을 가지는 반면 임계열유속과 시료 표면온도 변화에 있어서는 Type C에서 가장 좋은 특성을 나타내고 있다. 따라서 모든 결과를 종합해 보면 Type C에 가장 좋은 화재안정성을 나타낸다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Oxygen bomb calorimeter와 Mass loss calorimeter를 사용하여 난연처리된 EPS 샌드위치 패널 심재에 대한 연소열과 연소특성 등을 시험하여 비교하였다.

1. 연소열을 측정된 결과 Type B에서 4029.51 cal/g로 가장 낮게 측정되었으며, Type A의 경우 5156.45 cal/g, Type C의 경우 5204.51 cal/g을 나타내었다.
2. 샌드위치 패널 심재 시료에서 외부 복사열이 15 kW/m<sup>2</sup> 미만에서는 착화되지 않았다.
3. 외부 복사열과 착화시간의 제곱근의 역수 그래프

로부터 임계열유속은 Type A의 경우 7.26 kW/m<sup>2</sup>, Type B의 경우 3.13 kW/m<sup>2</sup>, Type C의 경우 11.39 kW/m<sup>2</sup>으로 예측되었다.

4. 연소열과 착화온도 분석 결과 화재안정성이 좋은 것은 Type B인 반면 임계열유속과 시료 표면온도 변화에 있어서는 Type C에서 안전한 특성을 나타내었다.

5. 모든 연구 결과를 종합한 결과 Type C가 가장 좋은 화재안정성을 나타낸다는 것을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2007년 호원대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행하였으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 박수영, 김대회, 임홍순, “콘칼로리미터를 사용한 샌드위치패널 연소특성에 대한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.20, No.4, pp.33-41(2006).
2. 박수영, 이우석, 여한승, 임홍순, “샌드위치패널 단열재의 연기농도 및 연소독성가스에 대한 실험적 연구(연소챔버법)” 한국화재소방학회 논문지, Vol.20, No.4, pp.26-32(2006).
3. 건설교통부고시 제2006-476호, “건축물 내부 마감재료의 난연성능기준”, pp.125-126, 관보 제 16374호(2006).
4. 박형주, 김응식, 김장환, 김동현, “복사열을 이용한 소나무와 굴참나무 낙엽의 연소특성 분석”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.21, No.3, pp.33-41(2007).
5. 박봉국, “기능성 스킨층을 갖는 발포 폴리스티렌 입자와 그 제조방법 및 이를 이용한 기능성 발포 폴리스티렌성형물과 그 제조방법”, pp.1-9, 대한민국특허청, 등록특허 10-0479218(2005).
6. 오규형 외, “화재공학원론”, pp.120-132, 도서출판 동화기술(2004).
7. J.S. Michael, “Predicting the Ignition and burning Rate of Wood in the Cone Calorimeter Using an Integral Model”, NIST GCR 99-775, pp.47-66(1999).
8. M.J. Spearpoint and J.G. Quintiere, “Predicting the burning of Wood Using an Integral Model”, Combustion and Flame, Vol.123, pp.308-324 (2000).
9. G.H. Silcock and T.J. Shields, “A Protocol for Analysis of Time-to-ignition Data from Bench Scale Tests”, Fire Safety Journal, Vol.24, pp.75-95(1995).
10. 박형주, 김홍, 하동명, “적분모델을 이용한 난연처리된 Douglas fir의 화재특성 예측”, 한국안전학회, Vol.20, No.3, pp.98-104(2005).