

# 샌드위치 패널의 화재 확대 방지시스템 개발을 위한 실험적 연구

## An Experiment Study for Flame Spread Prevention System of Sandwich Panels

신현준(Hyun-Joon Shin), 인기호(Ki-Ho In), 유용호(Yong-Ho Yoo)<sup>†</sup>

한국건설기술연구원 화재안전연구소

Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 411-712, Korea

(Received March 18, 2015; revision received April 21, 2015; Accepted: March 27, 2015)

**Abstract** The sandwich panel is commonly used domestically because it's less costly and easier to handle. But fires have frequently occurred in buildings employing sandwich panels, such as the fires in Eecheon cold storage and in Gwangju Pyungdong industrial zone. Sandwich panels with steel plates on their surface prevent fire water from penetrating to the fire source, which makes it difficult to extinguish a fire in a timely manner. Toxic gas generated from some insulation material leads to serious loss of life and property. This study is intended to develop an extinguishing system for sandwich panels, thereby reducing the fire risk. Fire water and volume were determined in the wake of the study on the structure of a sandwich panel extinguishing system, and improvement and testing of the fire characteristics of the sandwich panel. Based on such study and test, a fire model test was conducted. Consequently, the sandwich panel with extinguishing system was proven to have a reduced fire risk, compared to traditional or fire retardant panels.

**Key words** Sandwich panel(복합패널), Fire(화재), Expandable polystyrene(EPS/발포성 폴리스티렌), Real-scale fire test(실규모 화재실험)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: yhyoo@kict.re.kr

### 1. 서 론

일반적으로 샌드위치 패널은 철판과 철판사이에 스티로폼, 난연 스티로폼, 우레탄 폼, 무기질울 보온재 등을 접착하여 건축물 내·외벽 시공에 사용되는 건축자재로 널리 사용되고 있다.

그러나 Yoo et al.<sup>(1)</sup>의 연구에 따르면 국내 샌드위치 화재가 2008년 이후, 화재 건별 피 해액과 대규모 공장 건축물의 화재 사례가 점차 증가되고 있다고 한다 (Table 1).

대표적인 사례는 2008년 1월 이천 냉동 창고화재(40명 사망)와 2013년 5월 광주 평동공단 화재(70억 원, 재산 피해) 또 같은 시기에 발생한 안성 냉동 창고 화재(9억 원, 재산피해)등이며, 대형 화재 참사의 원인은 샌드위치 패널(Sandwich Panel)로 시공된 구조물이라는 것이다.<sup>(2)</sup>

샌드위치 패널은 화재 하중이 크고 특정 보온재의 경우 용융 또는 연소 시 매우 유독한 가스를 다량으로 방출하여 인명 손실 및 소화활동의 저해요인으로 확인되고 있다. 샌드위치 패널의 단열재로 사용되는 재료가

가연성인 경우 건축물 화재 시 소화설비 및 주수를 통한 소화방법이 외부의 철판에 막혀 화원에 도달하지 않아 건축물전소 시 까지 진화를 하지 못하는 화재에 큰 취약성을 보인다.

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 샌드위치 패널 내부에 직접 소화 할 수 있는 소화 시스템을 개발하였다.

### 2. 샌드위치 패널 소화설비 시스템

본 소화 시스템은 내부에 연소되고 있는 EPS 및 난연 EPS 보온재의 화원에 직접 주수하는 방법을 적용하여 패널 내부의 화염을 직접 소화하는 방법을 개발하고자 하였으며, 철판으로 막혀있는 패널 내부가 고온으로 연소되고 있는 과정에 Fig. 1와 같은 구조로 소화용수가 직접 투입 또는 수증기 입자가 연소 면에 부착되어 연소의 지연 및 소화를 목적으로 소화 시스템 기술을 개발하였다.

국내외 샌드위치 패널(조립식 패널)의 시공공법은 페

Table 1 Fire statistics data of sandwich panel

Building construction	Reinforced concrete	Block	Brick	Wooden construction	Sandwich panel
Fire(case)	5,652	976	1827	986	398
Property loss(₩ mil)	18,011,031	9,414,320	790,267	6,693,385	3,976,047
Property loss/case	3,186.70	9,645.80	4,324.70	6,788.40	9,990.10
Ratio of Property loss(%)	35.45	18.53	15.55	13.17	7.83

Note) National Emergency Management Agency.<sup>(3)</sup>

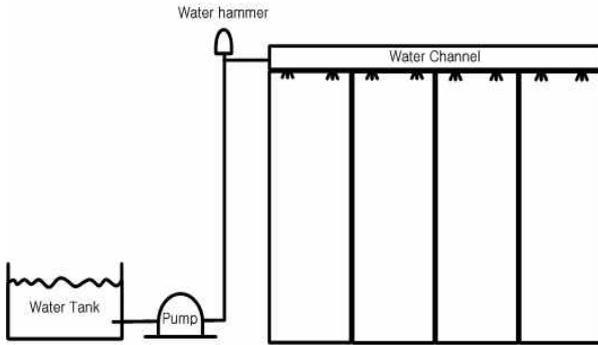


Fig. 1 Sandwich panel digestive system architecture.

널의 좌우에 암·수형으로 형성된 패널을 연속적으로 연결하여 골조에 부착하는 시스템으로 공사기간이 매우 짧고 편리한 공법으로 국내 건축현장에 많이 사용되고 있다. 그러나 구조적인 측면에서 볼 때 항상 패널 단면을 감싸고 있으면서 내부 단열재의 노출방지 및 시공성·내구성 향상을 위해 설치되는 마감 캡을 사용하는 공통점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 마감 캡을 이용한 소화 시스템을 개발하여 적용하고자 하였다.

초기 소화 시스템은 보온재를 일부 제거하고 그 틈에 소화용 배관은 설치하여 소화하는 시스템을 사용하여 주수의 방향을 화재 면으로 직접 분사하는 방식으로 개발하였다. 그러나 소화용수의 분포도가 균질하지 않고, 또한 각 분사 구에서 분사되는 수량이 일정하지 않아 구조개선이 필요하였다.

초기 소화 시스템의 소화용수의 분포도 문제를 보완하기 위해 분사구를 마감 캡 방향으로 개선하였으며, 지속적인 개선을 통하여 마감 캡 2중 구조의 소화시스템으로 마감과 동시에 소화용수 공급이 가능하고 초기 소화 시스템 보다 편리한 시공성 및 편리성을 확보한 시스템이 개발되었다.

그러나 2중 구조 마감 캡의 성능 확인 결과 소화용수 분포도가 샌드위치 패널의 중앙으로 집중되어 소화 성능이 균질성이 떨어짐이 확인되었다.

W 형태인 2중 마감 캡으로 개발하였으며, 그 결과 분포도가 향상된 것을 확인하였다.

### 3. 샌드위치 패널 소화 시스템의 소화용수량 산정 실험

소화용수량 산정을 위하여 본 연구에서는 샌드위치 패널을 대상으로 SBI(Single Burning Item)Test 장비를 활용한 발열량 측정 시험을 진행하였다.

SBI 시험 장비를 활용한 발열량 측정 시험은 최근 샌드위치 패널 생산 및 소비 현황을 확인 한 결과 화재 위험성의 확산으로 난연 성능이 강화된 패널의 사용이 크게 증가하여 종류가 다른 9 CASE의 난연성 강화 패널과 1 CASE의 일반 패널 총 10 CASE를 시험을 실시하였다. 시험은 모두 동일한 조건으로 시험은 KS F 2835 : 2009<sup>(4)</sup>에 따라 전처리(온도 23℃, 습도 50% 상태에서 2주 동안 건조)된 시험편을 절단하여 짧은 시험편(495±5)×(1500±5)mm와 긴 시험편(1000±5)×(1500±5)mm로 시험설비에 부착하였다. 이외의 시험 조건은 Table 2에 정리하였다.

총 10개 CASE(난연 EPS CASE 1~9, 일반 EPS CASE 10)의 SBI TEST 결과는 다음 Table 3에 정리되어 있다. 샌드위치 패널 소화 시스템의 소화용 수량의 산정을 위한 샌드위치 패널 발열량 측정 시험 결과는 최대 880 kW에서 320 kW까지 발열하는 것으로 확인 되었으며, CASE 1~10의 각 발열량은 Table 4와 같다.

Table 2 Test conditions

Item	Specifications
Test Room	Test room : 3 m×3 m×2.6 m Trolley : short wing(0.45 m×1.5 m) +long wing (1 m×1.5 m)
Heat Transfer	Main and Auxiliary burner : Propane gas+Mass flow controller(0~2.3 g/s) Heat strength : 30~100 kW
Exhaust Duct	Displacement : 0.50~0.65 m <sup>3</sup> /s at room temperature Device in duct : thermocouple, BDP, Light, gas sampling probe
Test Condition	Temperature : (20±10)℃ Relative humidity : (20~80±5)% R.H.
Analytical Device	Oxygen analyzer : (Range : 16~21%) CO/CO2 analyzer : (Range : 0~10%)

Note) KS F 2835 : 2009.<sup>(4)</sup>

Table 3 SBI test result

Type	Test result		
	3 minutes	4min~ discontinued	Reason for discontinuation
CASE #1		-	Discontinued due to wall collapsed in 3 min 10 sec
CASE #2			Discontinued due to wall collapsed in 6 minutes
CASE #3			Discontinued due to wall collapsed in 5min 20sec
CASE #4		-	Discontinued due to wall collapsed in 3min 20sec
CASE #5			Discontinued due to wall collapsed in 4min 40sec

CASE #6		-	Discontinued due to wall collapsed in 3min 20sec
CASE #7			Discontinued due to total combustion in 8 minutes
CASE #8			Discontinued due to wall collapsed in 4min 20sec
CASE #9			Discontinued due to wall collapsed in 7 minutes
CASE #10		-	Discontinued due to wall collapsed in 3min 40sec

소화용 수량의 산정을 위한 발열량 측정 시험 결과는 최대 880 kW까지 이르는 것을 확인되었다(Table 4).

Table 4 Heat release result by SBI test(CASE 1~ CASE 10)

CASE	Result				
	1	2	3	4	5
Max.-Heat release rate(kW)	600.0	850.0	440.0	880.0	780.0
CASE	6	7	8	9	10
Max.-Heat release rate(kW)	740.0	660.0	400.0	320.0	750.0

샌드위치 패널 내부 화재를 진화 또는 지연시키기 위한 소화용수의 양을 계산하기 위하여 발생 열량과 물의 비열을 통해 계산하였다. 최대분당 약 150리터가 소요 될 것으로 산출이 되었다. 그러나 이 산출 결과는 단순히 물의 비열을 통하여 샌드위치 패널 내부의 온도를 100℃ 이하로 떨어뜨리기 위한 유량이며, 실제 소화용수가 화염에 의해 가열되어 증발하고 증발한 수증기에 의한 화염 질식 효과를 고려하지 않은 수치로 그 산출 값을 소화 시스템에 바로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단되었다.

#### 4. 샌드위치 패널 소화 시스템의 실규모 화재 실험

샌드위치 패널의 내부는 내부 심재와 접착제, 실리 콘 등으로 밀폐상태로 시공이 되어 초기 화재발생시 외부로부터 산소 공급이 적으며 내부에서 발생한 화염 및 연소가스의 배출이 용이하지 않는 특성이 있다. 이는 고온 상태의 내부에서 증발한 소화용수가 수증기 형태로 외부로 빠져나가지 않고 화염으로부터 산소를 차단시키는 역할을 할 것으로 예측하였다. 따라서 실제 시공상태와 동일한 마감상태에서 소화용수를 공급하면서 최적의 소화용수량 결정을 위한 실험의 진행이 필요하였다. 또한 일반 샌드위치 패널의 화재 시 화염 확산과 연소특성에 대한 비교를 위하여 본 연구에서 개발한 소화설비를 장착한 일반패널과 소화설비를 장착 하지 않은 일반 패널 그리고 난연 패널을 대상으로 화재모형 실험을 진행하였다.

본 연구에서 개발한 샌드위치 패널의 소화시스템의 구조는 샌드위치 패널 내부로 소화용수를 공급하기 위한 Water Channel과 펌프, 배관, 비상시 소화용수의 원활한 공급을 위한 수조로 구성되어 있으며, 소화용수는 배관을 통해 샌드위치패널 상부의 Waster Channel을 채우고 내부 노즐을 통과 후 샌드위치 패널 내부로 침투하여 연소의 지연 또는 소화가 되도록 하였다.

소화 유량, 소화용수 압력, 소화용수 공급, 화재신호

Table 5 Sandwich panel digestive system standard

Category	Size	Note
Fire extinguishment flow	0.5~100 L/m	heat release ratio per unit area of sandwich panel was applied
Fire extinguishment water pressure	1 kg/cm <sup>2</sup> or more	Infiltration pressure occurred in sandwich panel
Fire extinguishment water supply	15~3,000 L	Fire extinguishment water supply for 30 minutes or longer per unit area
Fire signal	K-Type thermocouple	Fire extinguishment pump starts operating when detecting the temperature 100℃ or higher

는 Table 5와 같으며, 소화 시스템의 소화용수량의 설계 값은 앞서 설명한 샌드위치 패널 소화실험에서 얻어진 실험값의 이상으로 선정되었으며, 소화 성능을 확보하기 위한 소화용수는 샌드위치 패널 단위 면적(1 m<sup>2</sup>)당 0.5 L/min로 설정하였다.

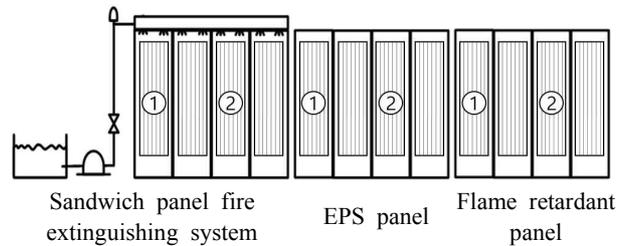


Fig. 2 Photo of real-scale fire test.

Fig. 2의 구조도와 같이 각 시험체에 열전대를 2Point를 설치하여 샌드위치 패널 내부의 온도 변화를 데이터 로거에 기록하였으며, 각 패널 전면부는 내부 심재의 연소 특성을 확인 할 수 있도록 시험체 면에 유리를 부착하여 실험 중 내부 변화를 관찰 할 수 있도록 제작 하였다. 또한 실험이 진행 되는 동안 Water Channel을 통해 공급되는 소화용수의 유량과 압력을 실시간으로 측정 기록하였다.

샌드위치 패널 소화 시스템 선행 실험 결과는 다음과 같다. 화재모형에 점화하여 화염발생 2분 후 가운데 위치한 일반 패널 내부에 화염이 발생하기 시작하였으며, 약 30초 후 난연 패널 내부에서도 연소가 시작되어 일반 패널에 비해 난연 패널의 연소 지연 효과는 약 30초 정도로 확인 되었다. 이후 3분 30초에는 두 비교대상 패널들의 화염이 축소되었으나 4분 이후 난연 패널의 화염이 급격히 성장하였다.

일반 패널의 경우 Fig. 2에서와 같이 6분 이후 자연 소화되었으며, 샌드위치 패널 소화설비를 장착한 패널의 내부 온도는 변화가 없었으나 일반 패널의 경우 약 90℃까지 온도가 상승하였다.

난연패널의 경우 최대 800℃까지 확인되었고 이후 연소가 확산되어 두 번째 열전대의 온도 역시 700℃까지 상승하였으며, 이 후 완전 연소가 진행되었다.

Table 6은 열화상 카메라에 기록된 실험 전경으로 각 시간의 변화에 따른 샌드위치 패널 내부의 화염 전과 형상과 내부 온도 증가 결과를 보여주고 있다.

Fig. 3은 샌드위치 패널 내부의 온도를 시간의 변화에 따라 나타낸 그래프이다. 점화를 시작하여 약 2분부터 일반 패널과 샌드위치 패널 소화 시스템의 온도가 상승한다. 그러나 난연 패널의 경우 약 260초 정도부터 온

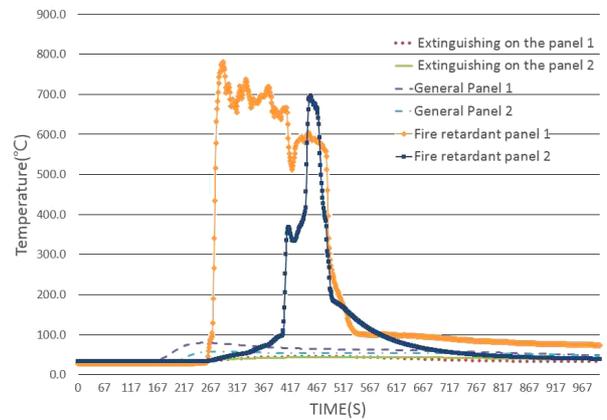


Fig 3 Temperature within sandwich panel.

도가 상승하며, 700℃ 이상의 온도까지 가파르게 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 이후 일반 패널의 경우 온도의 증가 없이 서서히 내려가며, 샌드위치 패널 소화 시스템의 경우 처음 약 2분에서의 약간의 증가 이후로 온도의 증가 없이 낮은 온도를 나타낸다.

점화 후 9분과 같이 샌드위치 패널 소화 시스템을 장착하여 분당 20리터의 소화용수를 공급한 좌측 일반 패널은 내부 온도 상승과 연소가 거의 일어나지 않았음을 확인할 수 있으며, 소화설비를 장착하지 않은 난연 패널의 경우 700℃ 이상 내부 온도가 상승하며 연소되어 9분 이후 완전 연소되는 결과를 보였다. 점화 후 4분에서는 일반 샌드위치 패널 내부 심재의 경우 연소되기 시작하면서 먼저 열에 의해 수직으로 화염이 확산되어 좌우 방향으로 화염이 전파되는 특징을 확인할 수 있었으며, 심재가 용융되어 하단으로 흘러내리며 패널 하부를 타고 화염이 증가되는 양상을 보였으나 이 후 연소가 계속적으로 일어나지 않고 자연 소화 되었다. 반면 난연 샌드위치 패널의 경우 고온에 노출된 심재에서 용융되어 흐르는 것은 목격되지 않았으나 오히려 패널 형상을 유지하며 전체적으로 연소가 진행 되어 좌우 측면과 상하로 화염이 확산되는 결과를 보여 주었다.

## 5. 결 론

본 연구를 통해 샌드위치 패널의 화재 위험성에 대한 소화 시스템을 개발하였다.

- (1) 샌드위치 패널의 구조적 특징인 외장재가 화재 발생 시 소화용수로부터 화원이 있는 내장재를 보호하기 때문에 샌드위치 패널 내부로 직접 소화용수를 넣기 위한 소화 시스템의 구조 모델을 개발하였으며, 실험과 구조의 개선을 통하여 내장재에 대한 효과적인 주수와 편리한 시공성 및 편리성을 확보한 소화 시스템을 개발하였다.

Table 6 Fire test results of thermal camera

2 minutes after ignition		
4 minutes after ignition		
9 minutes after ignition		

- (2) 내장재의 화재 발생 시 필요한 소화용수량의 선정을 위하여 일반 샌드위치 패널과 난연 샌드위치 패널 총 10 CASE를 대상으로 SBI 시험을 진행하였으며, 이 시험을 통해 발열량 측정과 소화용수량을 선정하였다.
- (3) 본 연구에서 개발한 소화 시스템의 샌드위치 패널과 일반 샌드위치 패널, 난연 샌드위치 패널을 대상으로 실규모 화재 실험을 진행하였다. 일반 샌드위치 패널과 난연 샌드위치 패널은 육안으로도 화재가 눈에 띄게 보였으며, 열화상 카메라를 통한 결과 온도 차이가 큰 것을 확인하였다.
- (4) 일반 샌드위치 패널의 같은 경우 빠른 시간 내에 화재가 진행되어 자연 소화되는 반면, 난연 샌드위치 패널의 경우 화염이 샌드위치 패널 내에 지속적으로 화염이 확산되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 잠재적인 위험요소가 될 수 있으며, 이를 위한 제도적 개선이 시급한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 샌드위치 패널 건축물에 적용된 주요 심재의 화재 대응방식을 위해 화재 시 특성을 고려한 직접분사 방식과 화재 하중에 대응 가능한 최적의 소화용수를 선정하였다.

또한 설비의 개선을 통한 경량화와 제작비 최소화 연구를 진행하였으며, 화재모형 실험을 통하여 일반 샌드위치 패널과 난연 샌드위치 패널에 비하여 화재 위험성이 낮다는 것을 확인하였다.

추후 이와 같은 결과를 통하여 소화설비 시스템의 초

기모델의 시제품을 개발하여 최적의 소화용수를 확인하여 이를 실규모의 대형 화재시험에 적용하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 소방 방재청의 “샌드위치 패널(조립식패널) 건축물 화재안전 확보를 위한 소화시스템 기반구축기술 개발”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

1. You, Y. H., Kim, Y. R., Kim, J. H., and Jang, S. B., 2014, Study of Fire Statistics Analysis of Ignitability Hybrid Panel, KIFSE Spring Conference and Korea-Japan-China International Symposium, Vol. 2014, No. 4, pp. 233-234.
2. Shin, H. J., In, K. H., and Joo, S. H., 2013, Analysis of Sandwich Panel Building Fire and Investigation on Future Safety Measures, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 2013, No. 11, pp. 272-274.
3. National Emergency Management Agency, 2013, fire statistics data, pp. 184-185.
4. KS F 2835 : 2009, Reaction to fire tests for building products exposed to the thermal attack by a single burning item.