

[Research Paper]

## 복합자재의 패널 간 화염확산방지에 따른 플래시오버 지연 효과에 대한 실험적 연구

김도현 · 조남욱<sup>†</sup>  
한국건설기술연구원

### Experimental Study on the Flash Over Delay Effects according to the Prevention of Flame Spread between Composite Material Panels

Do-hyun Kim · Nam-Wook Cho<sup>†</sup>

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received November 3, 2016; Revised March 13, 2017; Accepted April 4, 2017)

#### 요 약

샌드위치패널은 건축물의 내·외벽 및 지붕구조에 사용되며 양면의 불연성재료와 단열용 심재로 구성된 복합자재이다. 뛰어난 단열성과 경량 및 시공의 우수한 특성 대비 화재 시 패널간 결합부위를 통해 화염이 내부로 유입되어 심재가 쉽게 용융되며 급격한 화염확산으로 인명 및 재산피해를 발생시킨다. 현행 건축법은 건축물 마감재에 대하여 소규모 시험편에 대한 화재시험방법으로 연소성을 파악하며 규정한 성능기준에 합격한 제품을 사용하도록 한다. 외벽 마감재의 경우 불연·준불연 성능 확보 재료를 사용하거나 화재확산방지구조를 설치하도록 규정한다. 본 연구는 외벽 마감재에 국한되어 적용하고 있는 화재확산방지 구조를 샌드위치패널 건축물에 적용하여 수평·수직 화재확산의 위험성의 차이를 확인하고자 하였다. 이에 샌드위치패널에 대하여 ISO 13784-1 시험방법을 통한 실물화재시험과 금속구조물을 이용하여 패널간 화염확산을 차단하는 시공을 통해 화염확산방지 적용 여부에 대한 연소거동과 그 효과를 측정하였다. 실험 결과 패널 조인트 부위의 화염확산방지구조 시공은 패널 내부의 화염확산을 지연하며 이에 따른 플래시오버 시간이 지연되어 복합자재 건축물의 화재안전확보에 중요한 요인으로 작용될 수 있음을 확인하였다.

#### ABSTRACT

A sandwich panel is a composite material composed of a double-sided noncombustible material and insulation core which is used in the inner, outer walls, and roof structure of a building. Despite its excellent insulation performance, light weight and excellent constructability, a flame is brought into the inside of the panel through the joint between the panels, melting the core easily and causing casualties and property damage due to the rapid spread of flame. The current Building Law provides that the combustion performance of finishing materials for buildings should be determined using a fire test on a small amount of specimen and only a product that passes the stipulated performance standard should be used. This law also provides that in the case of finishing materials used for the outer walls of buildings, only materials that secured noncombustible or quasi-noncombustible performance should be used or flame spread prevention (FSP) should be installed. The purpose of this study was to confirm the difference between the dangers of horizontal and vertical fire spread by applying FSP, which is applied to finishing materials used for the outer walls of buildings limitedly to a sandwich panel building. Therefore, the combustion behavior and effects on the sandwich panel according to the application of FSP were measured through the construction to block the spread of flame between the panels using a full scale fire according to the test method specified in ISO 13784-1 and a metallic structure. The construction of FSP on the joint between the panels delayed the spread of flame inside the panels and the flash over time was also delayed, indicating that it could become an important factor for securing the fire safety of a building constructed using complex materials.

**Keywords** : Flame Retardant Material, Flame Spread Prevention Block System, Flash-over, Sandwich Panel

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: [nwcho@kict.re.kr](mailto:nwcho@kict.re.kr), TEL: +82-31-369-0669, FAX: +82-31-369-0670

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

## 1. 서 론

공장 및 창고 건축물에 널리 사용되는 샌드위치패널은 외부의 불연재료와 내부에 단열재료를 서로 접착시켜 샌드위치 형태로 제작되는 복합자재이다. 샌드위치패널은 자체만으로 벽체로서 기능을 하며 건식공법 시공의 간편성과 경제성 그리고 우수한 단열성 등의 장점으로 다양한 건축물에 활용되고 있다. 그러나 일부 유기단열재 샌드위치패널이 갖는 화재의 취약성(용융, 화재확산, 붕괴 등)에 대한 문제와 1999년 씨랜드 화재, 2008년 이천 냉동창고 화재 등의 대형 화재사고로 인해 샌드위치패널의 위험성이 부각되고 있다.

국민안전처의 국가화재정보시스템 자료에 따르면 2015년에 발생한 총 화재건수는 44,435건이며 이중 샌드위치패널 구조물의 화재는 1,572건이 발생하였고 재산피해액은 360억 원에 이르는 것으로 조사되고 있다. 특히 전체 화재 대비 샌드위치패널구조가 갖는 화재발생건수는 3.5%인 반면 재산 피해액은 전체 피해액의 10%에 달하는 것으로, 샌드위치패널구조의 화재에 따른 대형 화재확산은 경제적으로 큰 손실과 피해를 발생시키고 있다. 이에 건축법에서는 건축물의 용도 및 규모에 따라 건축물 마감재료의 난연성능을 요구하며 국토교통부 고시 제2015-744호 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준에 따라 난연성 시험방법 및 성능기준을 규정하고 있다<sup>(1)</sup>. 외벽 마감재료의 화재사고사례의 경우 2010년 부산 해운대구 주상복합 화재 및 2015년 의정부 아파트 화재사고 등으로, 외벽에 시공된 가연성 마감재에 화염의 착화 후 수직방향의 화재확산 사고 발생으로 외벽 마감재료의 난연성능기준에 관한 규정이 강화되었다. 외벽 마감재료의 난연성능 기준은 30층 이상의 건축물 규모에 대하여 규정하였으나, 화재안전강화를 위해 6층 이상 건축물 규모부터 불연·준불연 등급의 외벽 마감재료사용을 의무화 하였다. 다만, 대상건축물의 외벽 마감재료 시공시, 매 층마다 마감재료 사이에 수직 화재확산을 방지할 수 있는 재료로 최소 400 mm 이상 시공할 경우 마감재료의 사용을 난연등급으로 규정하고 있다.

그러나 화재확산의 위험성은 내부 심재가 가연성 단열재료로 구성된 샌드위치패널 건축물에서도 고려되어야 한다<sup>(2)</sup>. 특히 조립식 패널은 서로 다른 패널이 수평 및 수직 구조로 결합되며, 결합부(조인트부위)에 간격이나 틈새가 생기는 것이 불가피하다. 이러한 결합부는 실제 화재 시 화염의 유입 및 연소 확대에 대형화재를 유발하며 화재진압을 어렵게 한다. 또한 복합자재의 국내 연소성능 시험방법으로 사용되는 콘칼로리미터법(KS F ISO 5660-1)은 100 (L) mm×100 (W) mm 의 소형재료에 대한 시험방법으로 실규모 화재의 연소확산에 따른 위험성 판단을 대표할 수 없다<sup>(3)</sup>.

현재 국내에서는 소형재료의 시험방법 이외에 건축 마감재에 대한 실규모의 연소성능을 판단하기 위해 KS F ISO 9705 와 샌드위치패널 구조에 대한 연소성능 판단을

위한 KS F ISO 13784-1 등과 같은 실물화재 시험을 제정하였으며<sup>(4)</sup>, 화재시 재실자의 피난 가능여부를 판단할 수 있는 플래시오버에 대한 발생시점을 측정하여 위험성을 판단한다.

본 연구에서는 화재위험성이 높은 유기단열재료로 구성된 비난연EPS(Expanded Poly Styrene) 및 난연EPS샌드위치패널(Flame Retardant Expanded PolyStyrene) 시험체와 난연EPS샌드위치패널에 패널 간 화염확산을 방지하는 금속구조물을 적용한 시험체에(Blocked-Fire Spread Prevention) 대하여 플래시오버의 차이를 확인하고자 실규모 화재시험을 수행하였다. 화염확산을 방지하는 구조물은 자립식 금속구조물로서 화염확산방지블록시스템으로 정의한다(Figure 5). 시험체에 시공되는 화염확산방지블록시스템의 설치 개수를 다르게 하여 설치 간격에 따른 연소거동의 차이를 측정하였으며, 화염 확산을 지연하였을 경우의 화재안전 효과를 판단하였다.

## 2. 연구방법 및 계획

### 2.1 복합자재 난연성능 시험방법(KS F ISO 5660-1)<sup>(5)</sup>

건축물 마감재료에 속하는 복합자재는 국토교통부령 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에서 정하는 기준에 적합한 방화성능의 충족성을 따르도록 하며 제5조~7조에서 구체화 되고 있다. 샌드위치패널이 공장 또는 창고 건축물 마감재료로 사용되는 경우 준불연 또는 난연재료의 성능기준을 충족하여야 하며 국토교통부 고시 제2015-744호<sup>(1)</sup>의 규정에 의한 콘칼로리미터법(KS F ISO 5660-1)<sup>(5)</sup> 및 가스유해성시험(KS F 2271)<sup>(6)</sup>의 성능기준을 만족하여야 한다. 두 시험방법은 건축물 마감재료의 화재안전성능을 평가하는 소규모 시험방법이다. 콘칼로리미터



Figure 1. Cone Calorimeter.

**Table 1.** Performance Criteria of Each Class for Sandwich Panels<sup>(3)</sup>

Level	Standard	Performance Standard
Quasi-Noncombustible Materials	KS F ISO 5660-1 (Cone Calorimeter Method)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Total radiant heat 10 minutes after heating is 8 MJ/m<sup>2</sup>. Within 10 minutes, max. heat radiant rate does not exceed 200 kW/m<sup>2</sup> for longer than 10 consecutive seconds.</li> <li>There shall be no crack that penetrates sample, hole or melting (for mixed content materials, includes melting and dissipating of all core materials) after heating for 10 minutes</li> </ul>
	KS F 2271 (Gas Toxicity Test)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Average Incapacitation Time of Laboratory Mice is 9 minutes or longer</li> </ul>
Fire Retardant Materials	KS F ISO 5660-1 (Cone Calorimeter Method)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Total radiant heat 5 minutes after heating is 8 MJ/m<sup>2</sup>. Within 5 minutes, max. heat radiant rate does not exceed 200 kW/m<sup>2</sup> for longer than 10 consecutive seconds.</li> <li>There shall be no crack that penetrates sample, hole or melting (for mixed content materials, includes melting and dissipating of all core materials) after heating for 5 minutes</li> </ul>
	KS F 2271 (Gas Toxicity Test)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Average Incapacitation Time of Laboratory Mice is 9 minutes or longer</li> </ul>

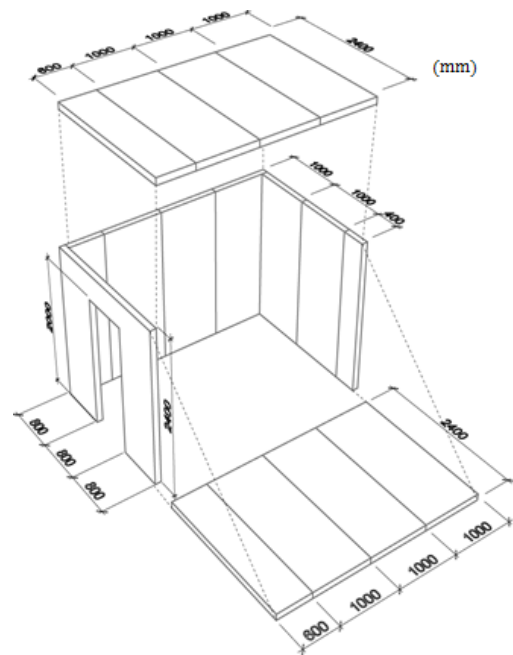
법은 Figure 1과 같이 (100×100×50) mm 크기의 시험체를 수평방향으로 50 kW/m<sup>2</sup>의 복사열량에 노출시키며 연소시 발생하는 열량을 측정한다. 연소로부터 소모되는 산소농도를 측정하여 화재의 위험성을 결정하며 가연물의 공기 흐름으로부터 소비된 산소 1 kg은 13.1×10<sup>3</sup> kJ과 동일한 열을 방출한다는 기본원리를 이용하여 열방출률(Heat release rate; HRR)을 측정한다. 열방출률은 연소배출부에 설치된 열전대, 가스샘플링, 압력센서 장치에 의해 기록되며 이를 바탕으로 난연재료 5분, 준불연재료 10분을 가열 시험한다. 총방출열량이 8 MJ/m<sup>2</sup> 이하 측정시 Table 1에 표기된 바와 같이 기준에 적합한 것으로 한다.

기를 통한 열방출률 합이 1,000 kW에 이르는 시점으로 정의한다.

시험체는 샌드위치패널에 대하여 Figure 2와 같이 2,400(L)×3,600(W)×2,400(H) mm 크기로 실(Room)을 구성한다. ISO 13784-1에서는 1,200 mm 폭으로 되어있으나, 국내 제품 규격에 따라 1,000 mm 폭 패널로 제작되어 좌우측 벽 4개 패널, 후벽 3개 패널, 천장 4개로 구성하며 전면 3개 패널은 정방향면의 중앙출입 개구부로서 800(W)×2,000(H) mm의 치수로 구성한다.

**2.2 복합자재 대형 화재시험방법(ISO 13784-1)<sup>(7)</sup>**

건축용 복합자재로 시공된 장방형 샌드위치 패널 구조물의 화재연소성능을 평가하기 위한 실제규모 근접 대형화재 시험방법인 ISO 13784-1<sup>(7)</sup>은 ISO 9705<sup>(8)</sup>와 유사한 규모의 화재시험방법이다. 시험실 내측 모서리에 불꽃을 직접 노출시켰을 때, 샌드위치 패널 조립체의 연소특성과 구조물의 플래시오버까지의 화재성장의 특성, 내부화재 확산에 따른 외부공간 또는 인접 건물로의 화재전파의 가능성, 건축물 붕괴의 가능성, 시험실 내부에서의 화재가스 및 연소생성물에 따른 화재위험성을 평가한다. 시험체 중앙 개구부를 통해 연소생성물이 분출되면 시험체 외부의 배기 덕트에서 연소생성물을 포집하여 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO 량을 분석하며, 소모된 산소감소율을 계산하여 열방출률(HRR)을 산출한다. 시험실의 내부 착화원은 프로판가스 버너로 개구부가 있는 벽 반대편 좌측 모서리에 시험체와 접하여 설치한다. 착화원의 열출력은 초기 10분 동안 100 kW이며, 이후 10분 동안 300 kW로 사용하여 플래시오버를 측정한다. 플래시오버는 출입 개구부를 통해 분출되는 연소가스 및 연



**Figure 2.** ISO 13784-1 test size<sup>(3,9-12)</sup>.



Figure 3. ISO 13784-1 test.

2.3 시험 계획

본 연구는 Figure 2의 규모로써 100 mm 두께의 복합자재를 대상으로 가연성 비난연EPS샌드위치패널(eps)<sup>(3,9-12)</sup>과 난연EPS샌드위치패널(fr eps : Flame Retardant eps)<sup>(3,9-12)</sup> 각 2개씩 4개체, 난연EPS샌드위치패널의 패널 간 결합부에 간격별로 화염확산방지블록시스템을 시공한 것 3개체로 구성하였다. 화염확산방지블록시스템을 적용한 3개체 시험체는 Figure 7과 같으며 패널의 모든 결합부에 블록시스템을 시공한 1종(AB-FSP : All Blocked-Fire Spread Prevention), 2패널당 1개에 블록시스템을 시공한 1종(2B-FSP : 2nd Blocked-Fire Spread Prevention), 3패널당 1개에 블록시스템을 시공한 1종(3B-FSP : 3rd Blocked-Fire Spread Prevention)으로 구성하였다. 총 7개체의 시험체에 대하여 ISO 13784-1 시험을 수행하여 플래시오버 시간을 Figure 3과 Table 2와 같이 측정·비교하였다.

Figure 4는 서로 다른 샌드위치 패널이 실(Room)을 구성할 때 결합되는 단면사진이다<sup>(9)</sup>. 서로 다른 패널이 접합되

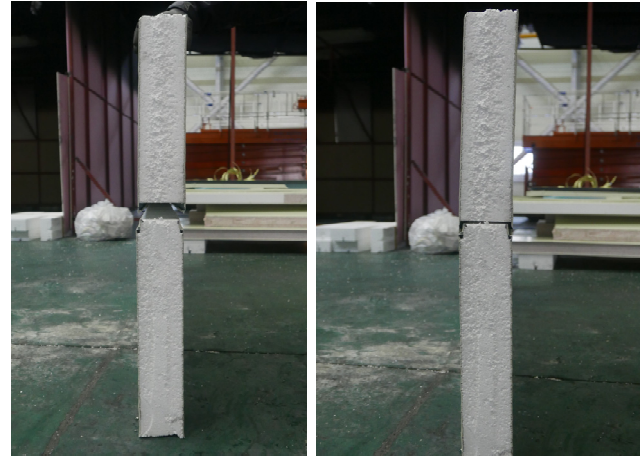


Figure 4. Combined with Each sandwich panel joint (Left : Before combination, Right : After combination)<sup>(3,9-12)</sup>.

는 결합부위(조인트 부위)는 화염 침투에 취약 부위이며 한번 침투된 화염은 패널 내부의 유기 물질인 패널 심재를 용융시키며 급속히 확산된다. 샌드위치패널은 양면이 철판으로 구성되므로 내부에서 발생한 화염을 외부에서 진화하기 어렵다. 패널 내부 심재의 지속적 화염확산은 건축물의 붕괴를 가속화하며 재실자의 안전확보 및 구조활동의 저해 요인으로 작용한다. 패널 결합부에 화염확산을 제한하는 구조물을 시공하면 패널 내부에 유입된 화염이 근접 패널로 전파되는 것을 지연시킬 수 있다.

본 연구에서 패널 내부에 유입된 화염이 수평방향으로 확산되는 것을 방지하기 위해 Figure 5와 같은 화염확산방지블록시스템을 사용하였다. 블록시스템은 불연재료인 금속으로 구성되며 블록시스템을 중심으로 좌우 패널이 양측으로 체결된다. 패널과 패널이 견고하게 연결될 수 있는 돌출부를 갖으며<sup>(13)</sup>, 블록시스템은 조인트 사이에 공간을 두어 화염확산을 지연하는 효과를 유도한다(Figure 6). 블록시스템은 실물화재 시험체에 적합한 길이(2,400 mm)와 폭(100 mm)로 제작되었다. Figure 6은 샌드위치패널 접합부위에 화염확산방지블록시스템을 결합한 사진이다.

복합자재 건축물에 대한 내부 가연성 심재의 화염확산 위험성 파악을 위한 실험시험의 시험체 구성은 다음과

Table 2. Test Specimen Description

Classify	Panel	Name	No. of Specimen
Flame Spread Prevention not Install <sup>(3,9-12)</sup>	EPS Panel	EPS	2
	Flame Retardant EPS Panel	FR EPS	2
Flame Spread Prevention Install	Flame Retardant EPS All Blocked-Fire Spread Prevention	FR EPS (AB-FSP)	1
	Flame Retardant EPS 2nd Blocked-Fire Spread Prevention	FR EPS (2B-FSP)	1
	Flame Retardant EPS 3rd Blocked-Fire Spread Prevention	FR EPS (3B-FSP)	1

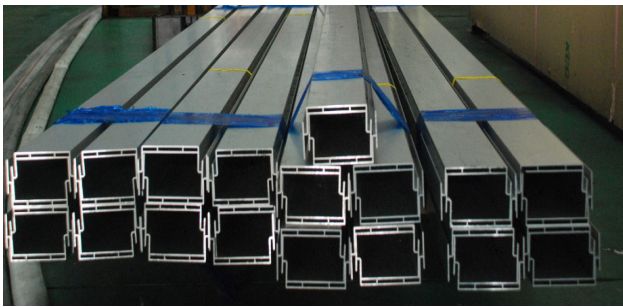


Figure 5. Fire spread prevention block system.

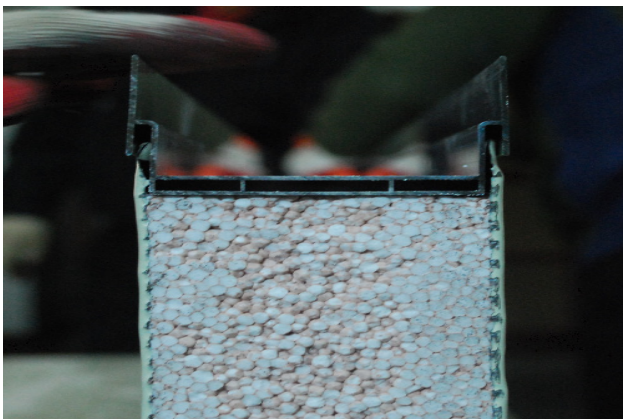


Figure 6. Sandwich panel with Fire spread prevention block system.

같다. 비난연EPS 와 난연EPS 샌드위치패널의 각 2개씩 4개체는 샌드위치패널의 난연성능 확보 여부에 따른 복합자재 건축물을 대표하며 화재발생시 나타나는 연소거동의 차이를 확인하기 위함이다.

난연EPS샌드위치패널의 각 결합부에 화염확산방지블록 시스템을 설치한 3개체는 현행 건축법에 적합한 난연등급의 샌드위치패널에 화재시 화염확산방지를 위한 블록시스템을 설치한 시험체이다. 블록시스템을 시공한 3개의 시험체는 설치된 블록시스템의 간격이 다르며 이는 패널에서 인접 패널로 화염이 확산될 때 이를 차단하는 구조물로서 설치 간격에 따른 연소거동의 특성을 파악하기 위함이다.

화염확산방지블록시스템은 최대 3가지 형태로서 구성하였다. 블록시스템을 단위패널 결합면 개수에 따라 다르게 설치하는 것으로서 Figure 7의 a~c.과 같이 패널의 모든 결합부위 시공(AB-FSP), 2개 패널 당 1개 시공(2B-FSP) 및 3개 패널 당 1개 시공(3B-FSP)으로 구성한다.

내부 심재의 연소로부터 개구부를 통해 분출되는 화염의 온도변화를 측정하기 위해 ISO 9705에서 규정하는 가스 온도 측정방법에 따라 Figure 8과 같이 시험체 개구부 좌측 모서리부 벽면으로부터 300 mm 이격시켜 열전대를 설치하였다. 온도변화는 Table 2와 같이 구성된 총 6개 시험체에 대하여 K-Type 열전대를 사용하여 측정하였으며, 수직으로

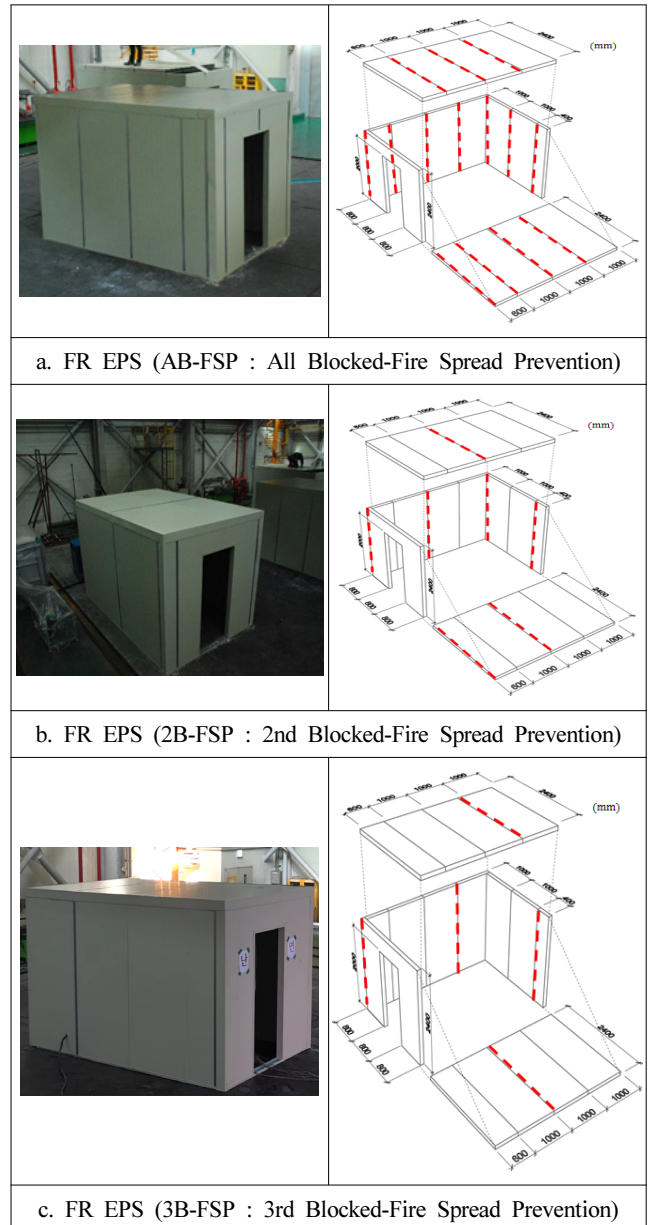


Figure 7. Fire test specimen.

총 7지점에서 측정되며 바닥면에서 부터 670, 970, 1,270, 1,420, 1,570, 1,720, 2,100 mm 지점에 설치하였다<sup>(8)</sup>.

### 3. 결 과

Figure 9는 7개체 시험체에 대한 열방출율(Heat Release Rate) 측정 그래프이다. ISO 13784-1에 따라 열방출율이 1,000 kW를 초과하면 플래시오버가 발생한 것으로 한다. 비난연EPS샌드위치패널의 플래시오버 시각은 각각 3분 33초(213초)와 4분 24초(264초)이며, 난연EPS샌드위치패널은 각각 5분 48초(348초)와 6분 00초(300초)이다<sup>(3,9-12)</sup>. 샌드위치패널을 국토교통부 고시 기준의 난연성능시험 방법 중 콘칼로

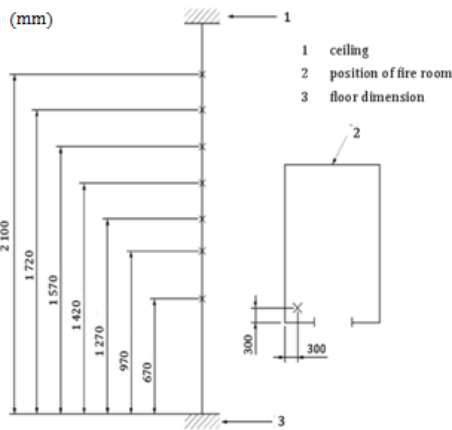


Figure 8. Measurement of Gas temperatures inside test room (ISO 9705)<sup>(8)</sup>.

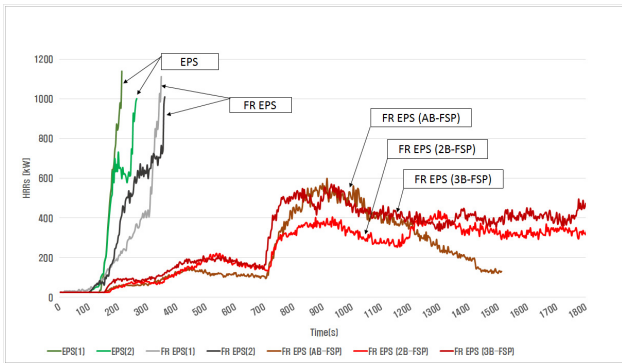


Figure 9. Test result of Heat release rate<sup>(3,9-12)</sup>.

리미터로 연소성능평가시, 50 kW/m<sup>2</sup> 복사강도 조건에서 비난연EPS가 난연EPS 보다 5배 이상 높은 총열방출율이 측정된 연구보고가 있다<sup>(14)</sup>. 그러나 비난연·난연 EPS샌드위치패널의 실물화재 시험에서 두종류 시험체 모두 플래시오버가 발생하였으며 발생시점의 차이는 약 2분으로 확인되었다. 즉 연소성능을 평가하는 시험방법에 따라 시험결과가 상이하게 나타나며 특히 복합자재에 대한 화재안전성능 평가방법은 실대형규모의 시험방법이 적극 검토되어야 하는 필요성이 확인되었다.

패널 결합부위에 화염확산방지블록시스템을 시공한 난연EPS샌드위치패널의 경우 패널의 모든 결합부위에 시공한 FR EPS (AB-FSP)은 25분 12초(1,512초)에서 시험종료, 2패널당 1개 블록시스템 시공인 FR EPS (2B-FSP)와 3패널당 1개의 시공인 FR EPS (3B-FSP) 모두 30분(1,800초) 이상 플래시오버가 발생하지 않았다. 즉 난연재료 패널 결합부위에 화염확산을 제한하기 위한 화염확산방지블록시스템의 적용은 플래시오버시간을 일정 시간 지연시킬 수 있다.

높은 화재위험성을 지닌 시험체에 대한 실대규모 화재시험의 검증시험 방법으로써 ISO 13784-1은 실제와 유사하게 시공되는 자립형 샌드위치 패널 구조물에 대한 화재 연

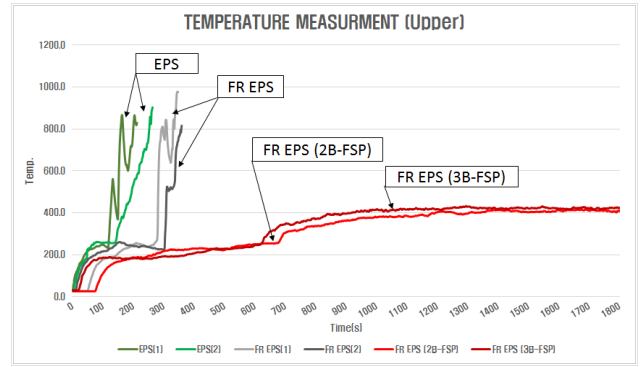


Figure 10. Gas temperatures inside-Upper point (2,100 mm)<sup>(3,9-12)</sup>.

소성능의 평가가 가능하며 플래시오버 시간은 실제 화재시 재실자의 피난 시간과 상관성을 가진다(Figure 3). 비난연 EPS샌드위치패널과 난연EPS샌드위치패널의 플래시오버시간<sup>(3,9-12)</sup>의 평균이 각각 약 4분(240초)과 6분(360초)인 반면 화염확산방지블록시스템은 평균 28분 이상 플래시오버시간을 확보한다. 100 kW 화원으로 가열하는 초기 10분 이내에 비난연EPS와 난연EPS샌드위치패널은 내부의 급격한 화재확산으로 인한 플래시오버가 관찰되었다<sup>(3,9-12)</sup>. 화염확산방지블록시스템을 적용한 3종 시험체의 착화 후 10분간 측정된 열방출률은 프로판가스 및 패널 일부 심재의 연소에 의한 것으로 파악된다. 10분 이후 약 720초에서 증가된 열방출률은 300 kW로 공급된 점화원과 내부 심재의 연소반응에 의한 결과이며, 900초 이후 다시 감소하는 열방출률의 경향은 화염확산이 블록시스템에 의해 지연되어 단위패널의 연소에 국한되었기 때문이다.

ISO 13784-1 시험체에 대하여 패널 간 모든 접합부에 화염확산방지블록시스템을 시공한 시험체와 최소 적용으로 3개단위 패널당 1개에 시공한 시험체의 연소거동의 차이는 크게 나타나지 않았으며, 플래시오버 발생 여부 및 연소반응 또한 유사하게 확인되었다.

Figure 10은 개구부 좌측 코너에 위치한 온도측정선의 최상부 2,100 mm 높이의 온도변화이다. 착화원에 의한 열원의 공급과 내부 단열재의 연소는 급속한 내부온도 상승을 일으키며 상승기류에 의해 개구부 상단은 고온이 측정되었다. 이에 플래시오버가 일어나기 직전에 개구부 최상단의 온도는 급격히 상승하며 플래시오버 측정시각이 지연될수록 온도상승도 지연된다.

비난연EPS샌드위치패널 2종의 경우 패널 내부 가연성 심재의 연소반응에 의해 착화 초기부터 지속적인 온도상승을 나타내었다. 시험시작 후 약 2분 30초(150초)를 기점으로 10초 내에 약 200 °C에서 500 °C로 급격한 온도상승을 나타냈으며 플래시오버가 관측되었다<sup>(3,9-12)</sup>. 난연EPS샌드위치패널 2종의 경우 약 4분 40초(280초) 전후로 온도의 급변화가 나타났으며 4분 40초(280초) 이전은 240 °C~260 °C가 유지되었으나 이후 평균 50초 이내(5분, 300초) 800 °C

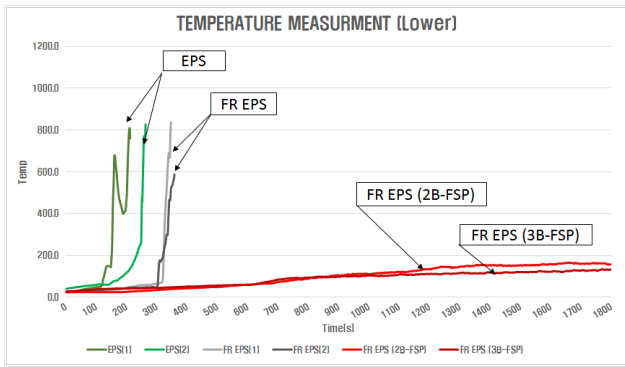


Figure 11. Gas temperatures inside-Lower point (670 mm)<sup>(3,9-12)</sup>.

이상으로 급격히 화재온도가 상승하는 커브를 보였다<sup>(3,9-12)</sup>. 반면 화염확산블록방지시스템이 설치된 경우 비난연EPS 샌드위치패널과 난연EPS 샌드위치패널에 비하여 완만하게 증가하였으며 버너 열출력이 300 kW로 상향 출력되는 약 10분 이후부터 온도변화가 나타났다. 최고 온도는 430 °C로써 약 21분 40초(1,300초)에 관측되었으며, 이후 연소종료 시점인 30분(1,800초)까지 지속되었다. 화염확산방지블록 시스템에서 관측된 최고온도 430 °C는 비난연EPS 및 난연EPS 샌드위치패널의 경우 시험시작 후 각각 약 2분 10초(130초), 5분 10초(310초)에 발생하였다<sup>(3,9-12)</sup>. 패널 간 화염확산방지 구조물의 설치 여부에 따라 동일 온도 관측 시점이 최대 10배 이상 지연됨을 확인하였다.

Figure 11은 개구부 좌측 코너에 위치한 온도측정선의 최하부 670 mm 높이에서 측정된 각 시험체의 온도변화이다. 시험체 6개의 온도변화 경향은 모두 최상부에서 관측된 온도변화와 유사하게 나타났다. 비난연EPS 샌드위치패널 2종은 약 2분(120초) 전후로 급격히 온도가 상승하며 4분 20초(260초) 이내 800 °C까지 온도 상승을 나타내었다<sup>(3,9-12)</sup>.

난연EPS 샌드위치패널 2종은 약 5분(300초) 전후로 온도의 급격한 상승변화가 나타났으며 동일 시각에서 최상부의 온도가 240~260 °C로 측정된 것에 비하여 하부는 100 °C 미만의 온도가 유지되었으나 이후 6분(360초) 이내에 600 °C 부근까지 상승하였다<sup>(3,9-12)</sup>.

반면 화염확산블록방지시스템이 설치된 3종 시험체 모두 급속한 온도 상승을 나타내지 않았으며, 버너 출력이 300 kW로 증가된 10분 이후에도 완만한 온도가 변화가 확인되었다. 시험 종료 30분(1,800초)까지 최대 온도는 약 170 °C로써 약 27분(1,620초)에 관측되었다. 화염확산블록방지시스템의 최고온도인 170 °C는 패널 결합부에 화염확산블록방지시스템이 설치되지 않은 시험체의 5분에 해당하는 온도이다. 동일 온도 측정 지점에 대한 시간차이는 화염확산방지 구조의 설치 유무에 따라 20분 이상 차이가 남을 확인하였다. 이는 실제화재 시 재실자가 피난할 수 있는 생존 시간 확보의 증가를 의미하며, 상대적으로 낮은 개구부의 온도는 재실자가 몸을 최대한 낮추어 피난 가능하며 생존

가능성이 높음을 예측할 수 있다.

#### 4. 결론

샌드위치패널 건축물의 화재 시 수평·수직방향으로 급속도로 전개되는 화재확산과 이에 따른 인명 및 재산피해는 다양한 화재사고 사례를 통해 확인되고 있다. 따라서 본 연구에서는 샌드위치패널 구조물에 대하여 실대형 화재시험을 수행하였으며, 화염확산방지구조 적용 여부에 따른 연소거동의 특성을 아래와 같이 파악하였다.

(1) 플래시오버 관측 시점에 대하여, 패널간 결합부에 화염확산방지블록시스템을 설치한 시험체는 수평 및 수직방향의 화염전이 속도가 늦게 나타났으며 본 시스템을 설치하지 않은 시험체와 비교시 최대 7배 이상 플래시오버 시간을 지연시켰다.

(2) 개구부 온도변화는 시험체에 플래시오버가 발생한 특정 시점에서 비교하였을 경우, 화염확산방지블록시스템이 시공된 시험체의 개구부 온도와 최대 400 °C 이상 차이가 발생함을 확인하였다. 개구부의 온도상승 방지는 재실자의 피난을 통한 생존가능성을 높일 수 있다.

(3) 화염확산방지 블록구조물의 설치 개수는 각 단위패널의 결합수(1개~3개)에 따라 다르게 적용되었으나 구조물의 설치 개수(1개~3개)에 관계없이 플래시오버 발생 유무, 연소거동, 개구부의 온도변화 모두 유사한 경향을 나타냈다. 이는 패널 접합면에 화염확산을 지연하는 구조물을 최소 3개단위 패널당 1개를 설치하여도 효과적으로 화재성장 및 화염확산을 지연시킬 수 있는 것을 의미한다.

즉, 샌드위치패널 건축물에 대하여 인접 패널 내부 심재의 단면에 화염의 수평·수직 확산을 차단하는 적절한 시스템의 적용은 효과적으로 플래시오버를 지연시켜 화재시 재실자의 인명피해 및 화재 손상에 따른 경제적 손실을 최소화할 수 있을 것으로 판단되며, 따라서 샌드위치패널 건축물에 대한 화염확산방지 시스템의 적용성 논의가 필요할 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업(20140169-001, 20150430-001), 민간수탁사업(20150607-001), 및 평가인증사업(2016046-001)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "The Criteria for Flame-retardant Performance of Building Finishing Materials & Fire Spread Prevention System", MOLIT Notice No. 2015-744 (2015).
2. O. S. Kweon, Y. H. Yoo and H. Y. Kim, "An Experimental

- Study on Fire Safety Performance of Glass Wool Sandwich Panel”, Fire Science and Engineering, Vol. 26, No. 5, pp. 21-27 (2012).
3. N. W. Cho, D. H. Kim and J. H. Shim, “A Study on Flame Spread Prevention of Sandwich Panel”, Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 84-90 (2015).
  4. K. W. Park, H. S. Im, J. G. Jeong, G. Y. Lee, J. U. Kim, J. H. Jeong, W. S. Lee and W. H. Kim, “Classification of Reaction-to-Fire’s Performances on Sandwich Panel Systems by Applying to ISO 13784-1 Fire Tests”, Fire Science and Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 20-26 (2009).
  5. KS F ISO 5660-1, “Reaction-to-fire tests – Heat Release, Smoke Production and Mass Loss rate – Part 1 : Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method)” (2008).
  6. KS F 2271, “Testing Method for Incombustibility of Internal Finish Material and Element of Buildings” (2006).
  7. ISO 13784-1, “Reaction to Fire Test for Sandwich Panel Building Systems-part1: Small Room Test” (2014).
  8. ISO 9705, “Fire Tests-Full-Scale Room Test for Surface Products” (1993).
  9. D. H. Kim, J. H. Shim and N. W. Cho, “A Study on Flame-Prevention Materials Technology”, Proceedings of 2015 Autumn Annual Conference, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 35, No. 1, pp. 405-406 (2015).
  10. N. W. Cho and D. H. Kim, “A Study on Flash-over delay method for Factory Buildings”, Proceedings of 2016 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 25-26 (2016).
  11. N. W. Cho and D. H. Kim, “A Study of Flash-over Retardation effect as the Flame Spread Prevention”, Proceedings of 2016 Spring Annual Conference, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 36, No. 2, pp. 965-966 (2016).
  12. N. W. Cho, D. H. Kim and J. H. Shim, “A Study on Flame Spread Prevention of Compound Material”, Proceedings of 2015 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 21-22 (2015).
  13. S. M. Kim, “Anti-fire apparatus for blocking fire of building panel”, Republic of Korea, Patent 10-1478774 (2014).
  14. N. W. Cho, J. C. Lee, H. Y. Kim and B. Y. Min, “Study of fire test of sandwich panel by oxygen consumption principle”, Proceedings of 2008 Autumn Annual Conference, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 28, No. 1, pp. 407-140 (2008).