

[Research Paper]

샌드위치패널 건축물 플래시오버 지연을 위한 화재확산방지플레이트 시공방법 연구

김도현 · 조남욱[†]

한국건설기술연구원

A Study on Flash Over Delay Effects on Applied Plate–Fire Spread Prevention Method at Sandwich Panels Structure

Do-hyun Kim · Nam-Wook Cho[†]

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received April 24, 2017; Revised June 15, 2017; Accepted June 16, 2017)

요 약

샌드위치패널은 양면이 철판이며 단열재로 접착된 특징을 갖는 건축자재로서 시공의 간편성, 자재비용의 경제성 등의 장점으로 공장 및 창고 구조물 등에 사용되고 있다. 그러나 샌드위치패널의 연속적 결합으로 시공되는 패널 구조물은 패널과 패널이 연결되는 조인트 부위가 발생하게 된다. 조인트부위는 화재시 철판의 용융과 변형으로 화염이 쉽게 유입되며 화재에 취약한 부위이다. 패널 내에 유입된 화염은 급속한 연소로 인해 화재확산을 유발하며 인명 및 재산피해를 발생시킨다. 본 연구에서는 샌드위치패널의 화재확산을 방지하기 위한 화재확산방지플레이트를 개발하였다. 이는 기존 선행연구에서 4면의 패널 접합면을 화재확산방지 재료로 시공하는 방법에서 접합면에 개발 플레이트를 끼우는 방식으로 시공이 용이하게 개선된 것으로서, 패널과 패널이 결합되는 연결부에 자립하여 적용 가능하며 화염의 유입 및 화재확산을 방지하도록 고안하였다. 샌드위치패널 시험체에 대해 KS F ISO 13784-1 시험방법의 실물화재시험을 수행하였으며, 패널 연결부에 화재확산방지플레이트의 적용 유무에 따른 연소거동을 파악하고 그 효과를 측정하였다. 시험결과 패널 연결부에 화재확산방지플레이트를 삽입하는 것은 플래시오버의 지연, 시험체의 붕괴방지, 개구부의 온도상승을 지연시키는 것으로 측정되었으며, 효과적으로 패널구조물이 화재안전성을 확보할 수 있는 방안으로 확인되었다. 화재에 취약한 패널 연결부에 시공성과 경제성이 확보된 다양한 방식의 화재확산방지용 시공방법을 적용하는 것은 구조물의 화재안전성을 확보하는데 기여할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Sandwich panels which are having the both sides are bonded with a heat insulating material with an iron plate are used as factories, warehouse structures as advantages of convenience in construction at economic efficiency of material cost. However, in a panel structure constructed by continuous joining of sandwich panels, a joint portion where a panel and a panel are connected is generated. The joint part is a part which is easily vulnerable to fire because flames easily flow into the melting and deformation of the iron plate during fire. The flames flowing into the panel induce diffusion of fire by rapid burning, causing damage of human life and property. In this research, we developed a flame spread prevention plate to prevent spreading of sandwich panel. This is an improvement of the workability by the anti-spreading construction method of the existing previous research, it can be applied independently to the connecting part where the panel and the panel are coupled, designed to prevent inflow and spreading of flame did. The actual fire test of the test method of KS F ISO 13784-1 of the sandwich panel specimen was conducted and the burning behavior corresponding to the presence or absence of application of the flame spread prevention plate was grasped at the panel connection part and its effect was measured. Inserting a fire spreading plate into the test result panel connecting part is measured by delaying the flashover, prevention of collapse of the specimen, and temperature rise of the opening, effectively improving the fire safety of the panel structure It was confirmed as a method that can be secured. It is judged that panel structure will contribute to ensuring fire safety by applying the fire spread prevention construction method of various methods ensuring the workability and economy of panel connection vulnerable to fire.

Keywords : Sandwich Panel, Plate-Fire Spread Prevention, Flash-over, Construction Method

[†] Corresponding Author, E-Mail: 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

샌드위치패널은 양면을 철판으로 하여 철판사이에 유기질 스티로폼, 우레탄폼, 무기질 단열재 등의 심재를 접착하여 구성된다. 이 중에 시공의 편의와 비용의 이점 등에 따라 유기질 스티로폼 샌드위치패널이 널리 사용되고 있으며 시공의 간편함, 단열의 우수성, 건축비용의 경제성 등의 장점으로 주로 공장과 창고 등 다양한 건축물의 내·외벽에 사용된다. 여러 장점에도 불구하고 화재에 취약한 단점이 있으며 특히 단열재의 용융 또는 연소 시 발생하는 다량의 유독가스는 인명피해 및 소화활동을 저해한다.

국가화재정보시스템의 화재통계 자료에 의하면 2016년에 발생한 화재는 총 27,226건이며 샌드위치패널구조는 1,511건으로 전체화재의 약 6%에 해당한다.⁽¹⁾ 샌드위치패널 화재에 따른 재산피해액은 365억 원으로 총 피해액 3,820억 원의 약 10%에 달하며 경제적 손실을 발생시키고 있음을 알 수 있다.

샌드위치패널이 해당 구조와 용도에 따라 사용될 때 화재안전성능이 충족되어야 하며 건축법 제52조의 3 및 시행령 제61조, 국토교통부 고시 제 2015-744호의 '건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준'에서 규정하는 난연성 시험방법과 성능기준에 만족되어야 한다.⁽²⁾ 그럼에도 불구하고 유기질 스티로폼으로 구성된 샌드위치패널의 화재사고사례는 지속적으로 발생하고 있으며 한번 발생한 화재는 패널의 단열재를 용융시키며 급속한 수직 및 수평방향으로 화재가 확산되어 대형화재로 이어진다. 화재확산에 대한 대표적 사례로 2010년 부산해운대구 주상복합건물에서 발생한 화재와 2015년 의정부 아파트 사고가 있다. 두 가지 대표적 화재사고는 외벽 수직화재확산에 대한 사례로써 이후 건축법은 외벽에 대해 수직방향의 화재확산을 방지하기 위해 6층 이상, 22 m 이상의 건축물은 외부 마감재료를 불연재료 또는 준불연재료로 마감하도록 규제하고 있다. 그러나 건축물 외벽에 외벽 마감재의 지지구조 사이를 국토교통부고시 제2015-744호의 제7조에서 정하는 재료로 매 층마다 최소 400 mm 이상 설치한 경우에는 난연재료를 마감재료로 사용할 수 있다. 그러나 본 규정은 외벽에 대해 국한된 것으로 화재위험이 높은 샌드위치패널 구조물에 대해 화재확산을 방지하기 위한 규정이 고려되어야 할 시점이다. 2016년에 발생한 대구 서문시장의 화재피해(피해액 469억 원)⁽³⁾ 또한 샌드위치패널구조의 화재확산과 소화 어려운 패널구조에 의해 피해가 확대된 대형화재 사례로 보도되고 있다.⁽⁴⁾ 샌드위치패널의 화재확산은 주로 패널의 연속적 결합에 있어 발생하는 접합부위(조인트부위)를 통해 유입되는 화염의 연속적 연소로 인한 것으로 파악되며 샌드위치패널 건축물의 조인트부위에 화재확산을 방지하기 위한 시공방법에 관한 연구가 필요하다. 이러한 필요에 따라 패널 구조물의 화재확산을 방지하기 위한 다양한 선행연구^(5,13-17)들이 있으며 신축 샌드위치패널 구조물에

대해 단위 패널을 결합하기 전에 패널의 접합면을 화재산방지 재료로 시공하는 방법⁽⁵⁾과 패널과 패널 연결부에 불연소재의 자립형 구조체를 시공하는 공법⁽⁶⁾ 등의 연구가 보고되고 있다. 그러나 실제 대형 샌드위치패널 구조물의 건설 현장에서 패널 조인트부위에 적용하는 화재확산방지 시공법은 간편한 시공성과 경제성이 확보되어야 한다.

본 연구에서는 샌드위치패널의 연결부에 유용한 화재확산방지를 위해 시공성과 경제성을 고려한 화재확산방지플레이트를 개발하였다. 본 플레이트는 패널간 연결부에 설치하였으며 화재확산방지플레이트의 적용 유무에 따른 실물화재시험의 연소거동을 파악하였다. 시험체는 가연성 스티로폼 샌드위치패널(Expanded PolyStyrene : EPS)과 난연성 스티로폼 난연샌드위치패널(Flame Retardant Expanded PolyStyrene : FR EPS), 난연성 스티로폼 난연샌드위치패널에 화재확산방지플레이트를 적용한 (FR EPS (Plate-Flame Spread Prevention : P-FSP))로 구성하였다. 실물화재시험을 통해 화염확산방지플레이트의 적용에 따른 샌드위치패널 구조물의 화재안전성 확보 가능성을 확인하였다.

2. 시험방법 및 시험체구성

2.1 샌드위치패널 화재시험방법

샌드위치패널의 화재안전성능을 평가하는 방법은 다양하다. 건축물 마감재료에 해당하는 샌드위치패널은 현행 국토교통부령의 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에 따라 기준에 적합해야 한다. 여기서 기준은 국토교통부 고시 제2015-744호에서 규정하는 성능기준이며 샌드위치패널의 경우 난연·준불연 재료의 성능기준을 충족하여야 한다. 재료의 화재안전성능 평가방법은 콘칼로리미터법(KS F ISO 5660-1)⁽⁷⁾ 및 가스유해성(KS F 2271)⁽⁸⁾을 시험하는 것으로 두가지 시험방법은 준불연 및 난연성능 기준을 판단하는데 사용된다.⁽¹⁾

준불연 및 난연성능의 가스유해성 시험은 시험용 쥐의 평균행동정지 시간이 9분 이상이어야 한다. 콘칼로리미터의 경우 준불연 10분, 난연 5분 동안 시험편을 복사열에 노출시키며 총방출열량이 8 MJ/m² 이하, 시험종료시 까지 최대열방출률이 10초 이상 200 kW/m²을 초과하지 않을 것을 기준으로 한다.

콘칼로리미터시험은 Figure 1과 같은 시험기로 수행하며 시험방법은 100 mm×100 mm×50 mm 크기의 시험체를 실제 시공시 외면에 접하는 표면을 50 kW/m²의 복사열량에 노출시켜 열방출률(Heat Release Rate; HRR)을 측정한다. 열방출률(HRR)은 화재위험도를 측정하는 다양한 측정값 중 하나로서, 산소소모법에 의해 계산된다. 산소소모법은 연소시 가감되는 산소농도를 측정하는 것으로 시험체의 연소에 따라 소비된 산소 1 kg 은 13.1×10³ kJ과 동일한 열을 방출한다는 기본원리를 이용하여 열방출률(HRR)을 측정한다.

콘칼로리미터 시험방법은 단일재료에 적합한 시험방법



Figure 1. KS F ISO 5660-1 Cone Calorimeter.

으로 양면의 철판과 단열재로 구성된 복합자재인 샌드위치패널을 본 화재시험방법으로 적용하여 성능을 평가하는 것은 어려움이 있다. 특히 샌드위치패널은 패널 연결부의 연속적 조립으로 하나의 구조물이 되며 이는 화재 시 다양한 연소거동의 변수를 갖게 된다. 샌드위치패널에 대해 기존 시험방법으로 화재안전성능을 평가하는 것은 실제 화재조건을 반영하지 못하는 취약점이 있다.^(9,10) 따라서 최근에는 현실적인 화재안전성능을 평가하고자 실험대형 시험방법들이 제정되고 있다. KS F ISO 13784-1⁽¹¹⁾는 현장에서 시공되는 공법을 적용한 샌드위치패널 시험체를 대상으로 실험대형 규모의 화재성능을 시험하며 Figure 2는 실제 시험모습이다. 시험체는 2,400 mm×3,600 mm×2,400 mm 의 크기로 제작하며 시험체 내부 한쪽 구석에 착화원으로 연소시키는 조건의 시험방법으로 화재위험성을 평가한다. 본 시험방법은 샌드위치패널 구조물의 연소 진행에 따른 플래시오버, 화재확산에 따른 연소거동, 구조물의 붕괴가능성, 연소생성물(가스 및 연기 등)을 종합적으로 평가할 수 있다. 착화원은 프로판 가스를 사용하며 초기 10분의 출력은 100 kW 이며 이후 10분 동안 300 kW 까지 열원을 증가시킨다. 20분 후, 관찰시간 10분 동안 열출력을 중단한다. 이때 시험체 상부 후드에서 연소생성물(연소가스 및 연기)을 측정하며 개구부로 분출되는 열방출률(HRR)이 1,000 kW에 이르는 시점을 플래시오버로 한다. 시험 종료 시점은 플래시오버의 발생 또는 시험시작 후 30분 경과 시에 종료하며 시험체에 붕괴의 위험성이 발생하면 시험을 조기 종료한다. 본 연구에서는 KS F ISO 13784-1를 준용하되 플래시오버나



Figure 2. KS F ISO 13784-1 test.

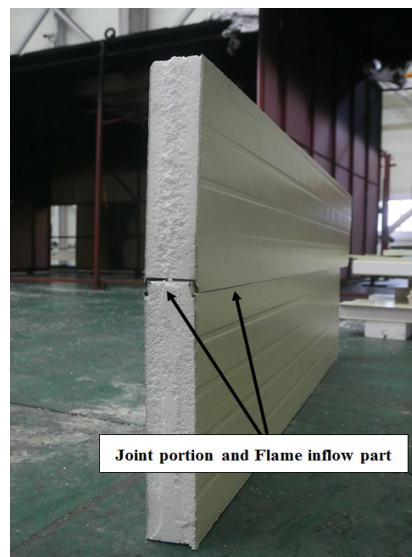


Figure 3. Sandwich panel joint and flame inflow point

시험체의 붕괴가 발생하지 않을 시, 300 kW로 증가시킨 열원을 20분 동안 지속 유지하여 시험종료 30분까지 실험대형 화재시험을 수행하였다. 300 kW의 열원을 지속한 것은 가혹한 시험조건을 적용하기 위함이다.

2.2 샌드위치패널 시험체 구성

샌드위치패널은 여러개의 단위패널을 연결하여 조립하는 방법으로 시공되며 1 m 간격으로 단위패널의 연결부위(조인트부위)가 발생하게 된다. Figure 3은 패널이 연결되는 부위의 단면사진이다. 샌드위치패널은 내·외면에 접하는 철판 사이에 스티로폼, 우레탄폼과 같이 유기질 단열재 등을 접착한 건축자재로 실제 화재시 소화용수가 외부 철판

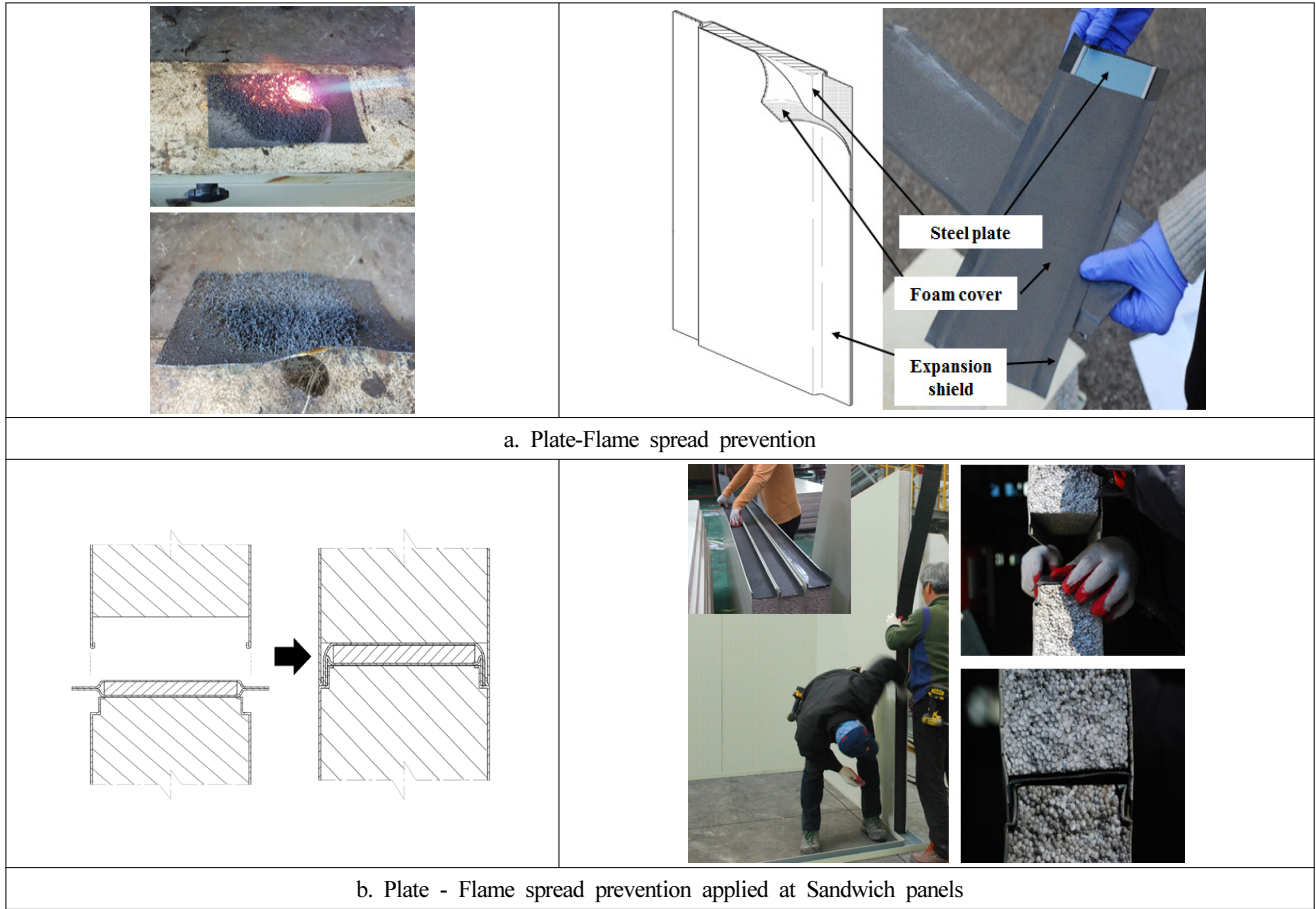


Figure 4. Configuration of Plate - Flame spread prevention⁽¹²⁾

에 막혀 진화작업을 어렵게 한다. 또한 화재시 패널 연결부는 화염에 의한 열변형과 용융으로 화염이 철판 틈으로 침투하여 화염이 급격히 확산되는 현상을 유발한다. 패널과 패널의 연결부로 유입된 화염의 확산은 패널 내 단열재를 연소시키며 이로 인한 유독가스의 발생은 인명피해와 화재의 대형화에 따른 재산피해를 발생시킨다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 패널과 패널 연결부에 화재확산방지플레이트를 적용하여 패널 단열재 연소에 따른 화재확산을 방지하기 위한 기술이 개시되었다.⁽¹²⁾ 화재확산방지플레이트의 구성 및 화염차단의 원리와 시공은 Figure 4와 같다. 화재확산플레이트는 단단한 강체로 된 플레이트가 열에 의해 발포하여 팽창하는 재질의 발포커버로 덮여 구성되며 발포커버는 팽창흡연과 금속수산화물로 조합되어 열에 의해 팽창하고 견고한 형상을 유지하는 특징이 있다(Figure 4 (a)). 발포커버는 단위패널의 연결면이 접하는 곳에 위치하며 화염에 노출시 샌드위치패널 연결부의 틈새를 메우도록 고안하였다.

Figure 4 (b)는 화재확산방지플레이트⁽¹²⁾가 샌드위치패널 연결부에 시공되며 화재확산을 방지 및 차단하는 원리를 나타낸다. 발포커버는 강체플레이트 보다 큰 폭으로 하여 양측에 확장차폐부가 형성되도록 하며 확장차폐부는 단위

패널이 연결될 때 패널의 양측 홈에 메워지도록 구성하였다. 이러한 구성은 화재시 확장차폐부를 포함하는 발포커버가 열에 의해 발포 및 팽창하여 패널양측 홈의 틈새를 채우게 하고 화염과 연소생성물이 틈새를 통과하지 못하도록 한다.

Figure 4 (b)에 도시된 화재확산방지플레이트는 패널과 패널 사이에 시공되는 상태를 나타낸 횡단면도이다. 화재확산방지플레이트가 패널 사이에 놓여 결합되기 전과 후로서 패널 사이에 견고하게 결합된 상태를 나타낸다. 수평방향으로 펼쳐있는 화재확산방지 구조체의 좌·우 확장차폐부는 패널이 결합될 때 연결부 내측의 홈으로 자연스럽게 접히면서 밀실하게 삽입되는 것을 확인할 수 있다.⁽¹²⁾

시험체에 시공되는 화재확산방지플레이트는 패널 연결부에 시공되는 것으로 시험체 규격에 적합한 길이로 제작 가능하다. 시험체 패널 연결부에 화재확산방지플레이트를 시공하는 것은 패널을 연속적으로 결합하기 전에 플레이트를 삽입하거나 패널을 자립형으로 세워 패널 간 연결면에 끼워넣는 방식으로 시공의 용이성을 갖는 특징이 있다.

시험체는 샌드위치패널로 Figure 5와 같이 2,400 (L) mm ×3,600 (W) mm×2,400 (H) mm 크기로 구성하여 실제 현장에 적용되는 제작공법을 고려하였으며, 100 mm 두께의 패널을

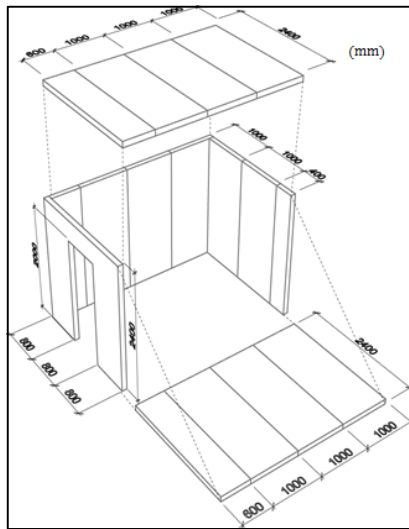


Figure 5. KS F ISO 13784-1 test size.⁽¹¹⁾

사용하였다. 시험체는 총 3종류로 구성하였으며 각 종류별 2

회씩 시험을 위해 2개체로 구성하였다. 가연성 스티로폼 단열재로 구성된 일반샌드위치패널(Expanded PolyStyrene : EPS)⁽⁵⁾ 1종 - 2개체, 난연성 스티로폼 단열재로 구성된 난연샌드위치패널(Flame Retardant Expanded PolyStyrene : FR EPS)⁽⁵⁾ 1종-2개체를 제작하였다. 샌드위치패널의 시공법에서 좌우 단위 패널을 연속적으로 연결할 때 생기는 연결부에 화재확산방지플레이트를 시공한 난연샌드위치패널 화재확산방지플레이트 (FR EPS (Plate-Flame Spread Prevention : P-FSP)) 1종-2개체를 제작하였으며 시험체 구성은 Table 1에 나타내었다.

Figure 6은 실물화재시험에 수행된 시험체의 실제 시공 구성을 나타낸다. Figure 6 (a)는 일반샌드위치패널(EPS)과 난연샌드위치패널(FR EPS)로써 현재 건축현장에서 조립되는 단위패널 제작공법이며 패널 연결부에 화재확산을 방지하기 위한 어떠한 시공법도 적용하지 않은 시험체이다. 반면 Figure 6 (b)는 패널이 연속적으로 조립되는 연결부에 화재확산방지플레이트를 자립하여 설치한 시험체이다. 총 3가지 종류의 시험체를 각각 2회씩 KS F ISO 13784-1의 실험대형 화재시험을 수행하였으며 연소성장에 따른 화재확산

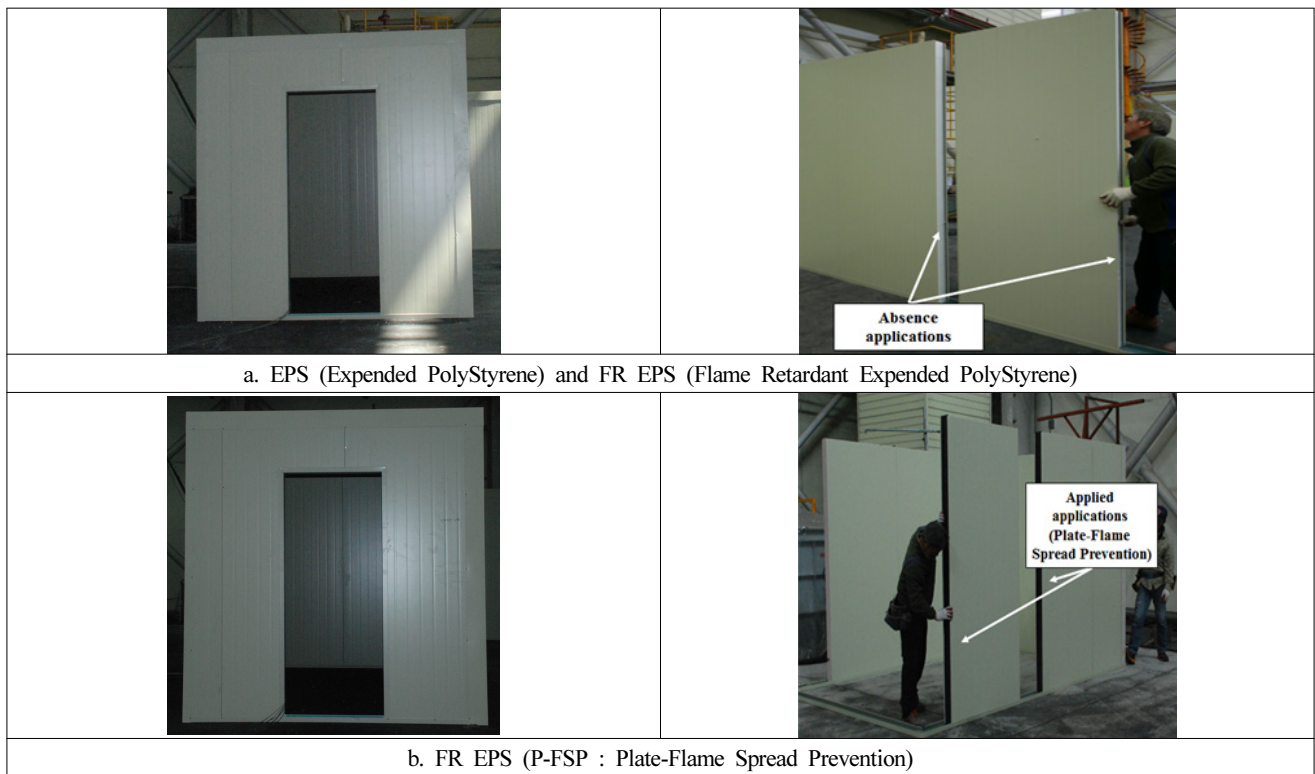


Figure 6. Fire test specimen.

Table 1. Test Specimen Description

Classify	Panel	Name	No. of specimen
Flame spread prevention not install ⁽⁵⁾	EPS panel	EPS	2
	Flame retardant EPS panel	FR EPS	2
Flame spread prevention install	Flame retardant EPS (Plate-Flame spread prevention)	FR EPS (P-FSP)	2

3. 결 과

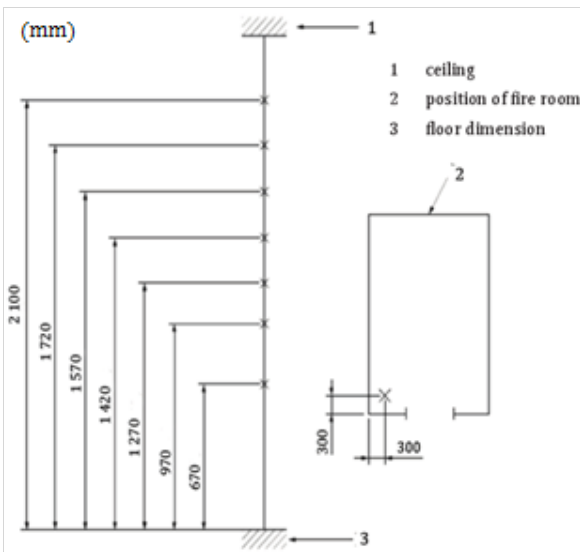


Figure 7. Measurement of Gas temperatures inside test room (KS F ISO 9705)⁽¹⁸⁾.

의 플래시오버를 측정하였다.

시험체 연소에 따른 연소생성물은 시험체 정면의 개구부를 통해 외부로 출화되며 외부 덕트에 의해 열방출률(HRR)이 측정되도록 하였다. 시험 수행에 따라 시험체 내부의 온도를 높이별로 측정하고자 KS F ISO 9705⁽¹⁸⁾에서 규정하는 온도측정방법에 따라 Figure 7과 같이 설치하였다. 열전대는 시험체 개구부 좌측 모서리의 좌우 300 mm 간격을 두어 위치하였다.

총 6개 시험체의 KS F ISO 13784-1 실물화재시험에 대한 열방출률(HRR) 결과는 Figure 8에 나타내었다. 열방출률(HRR)이 1,000 kW 초과할 경우, 즉 플래시오버가 발생할 경우 또는 시험시작 30분 후에 시험을 종결하였으며, 구조적 붕괴 또는 잠재적 위험의 가능성이 발생할 경우 조기종료 하였다.⁽¹¹⁾ 시험조건에서 열원의 조건은 ISO 규격에서는 시험시작 10분 이후 10분 동안 300 kW의 열원을 공급하나, 본 연구에서는 초기 10분 이후 종료시점 30분까지 300 kW의 열원을 지속 공급하여 가혹한 화재상황을 상정하였다.

일반샌드위치패널(EPS) 2개체가 열방출률(HRR) 측정에서 플래시오버가 발생한 시점(1000 kW의 초과)은 각각 3분33초(213초)와 4분24초(264초)로써 플래시오버 발생과 시험체의 구조적 붕괴로 시험을 조기 종결하였다.⁽⁵⁾ 난연샌드위치패널(FR EPS) 2개체의 경우 각각 348초(5분48초)와 360초(6분00초)에서 플래시오버가 발생하였으며 일반샌드위치패널(EPS)과 동일하게 시험을 조기 종료하였다.⁽⁵⁾ 난연샌드위치패널(FR EPS) 또한 플래시오버의 발생과 시험체 붕괴로 시험이 조기 종결되었으며, 일반 및 난연 샌드위치패널(EPS & FR EPS) 2종류 시험체의 플래시오버 발생시점은 약 2분 차이로 확인되었다.

패널간 연결부위에 화재확산방지플레이트(FR EPS(P-FSP))를 시공한 난연샌드위치패널 2개체 모두 플래시오버가 발생하지 않았으며 시험시작 30분(1,800초) 후에 시험을 종결하였다. 난연샌드위치패널(FR EPS)과 연결부위에 화재확산을 방지하기 위한 화재확산방지플레이트(FR EPS(P-FSP))의 적용 유무는 플래시오버의 발생시점을 24분(1,440초) 이상 지연시키는 것으로 확인하였다. 시험체 3종의 플래시오

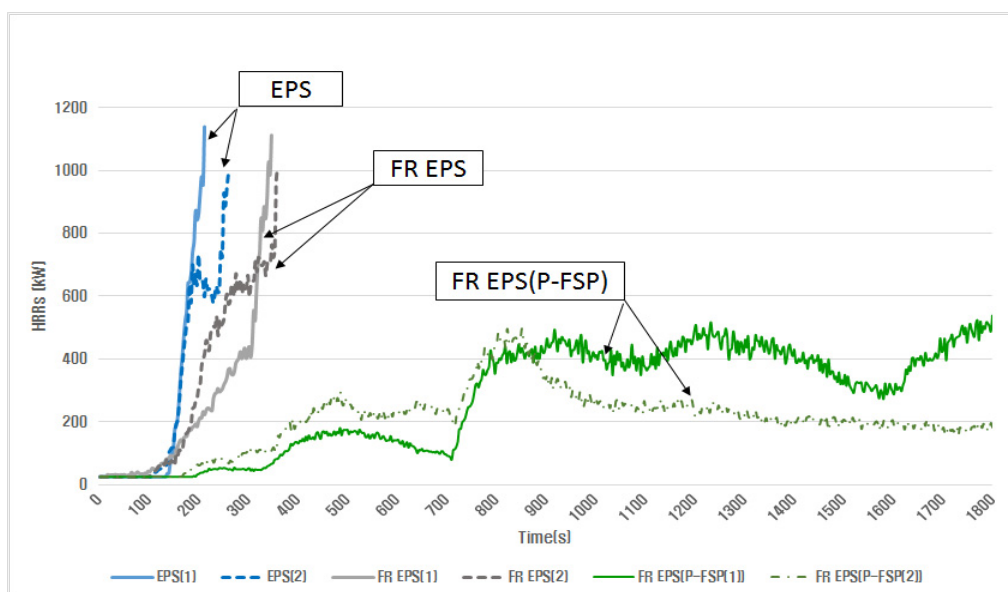


Figure 8. Test result of Heat release rate⁽⁵⁾.

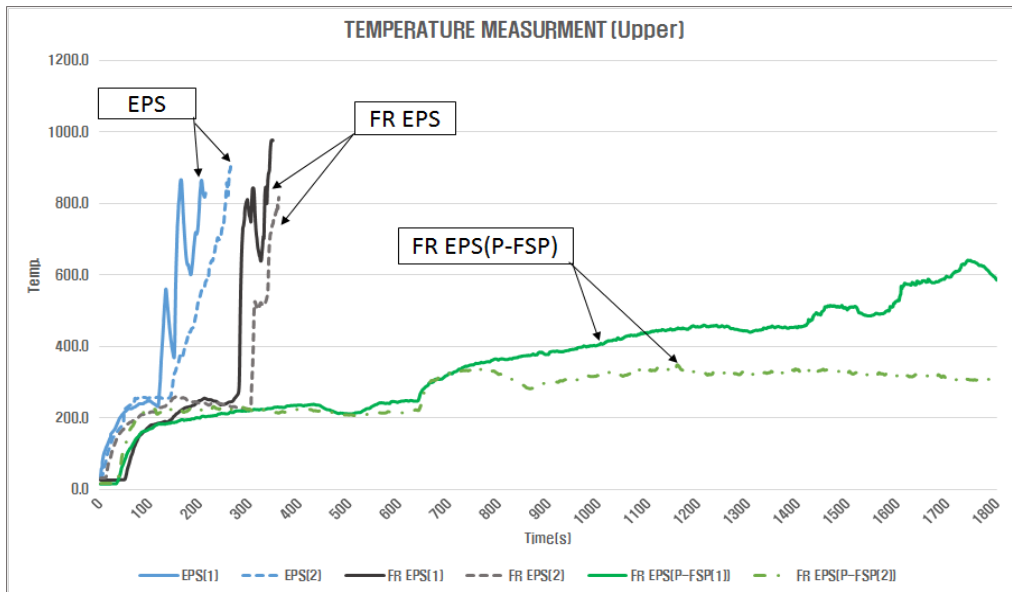


Figure 9. Gas temperatures inside test room-Upper point (2100 mm)⁽⁵⁾.

버 발생 평균시각은, 일반샌드위치패널(EPS)은 약 4분(240초), 난연샌드위치패널(FR EPS)은 약 6분(360초)이며 화재 확산방지플레이트(FR EPS(P-FSP))는 30분(1,800초)까지 플래시오버가 측정되지 않았다.

일반 및 난연 샌드위치패널(EPS & FR EPS)의 열방출률(HRR) 경향은 급격히 상승하는 패턴을 나타냈다. 이는 초기에 착화원이 100 kW 화원으로 공급되는 10분(600초) 이내에 패널이 연소하며 급격한 화재확산에 따른 방출열량으로 파악된다. 화재확산방지플레이트를 시공한 시험체(FR EPS(P-FSP))의 경우 100 kW 화원으로 공급한 초기 10분(600초) 이후 약 11분 54초(714초)를 전후로 열방출률(HRR)이 상승하는 경향이 나타났다. 이러한 경향의 원인은 첫째, 10분 이후 열출력이 300 kW로 공급된 것에 의한 열방출률(HRR)과 둘째, 연결부로 유입된 화염이 일부 단위패널의 단열재를 연소함에 따른 열방출률(HRR)로 해석된다. 초기 10분 이후 열량을 300 kW로 증가하였음에도 감소하는 열방출률은 화염이 인접패널로 확대되지 않고 초기 연소에 국한되어 연소가 지속된 것으로 해석된다.

Figure 9는 개구부에 설치한 열전대의 최상부(2100 mm)에서 측정된 6개 시험체의 시간에 따른 온도변화이다. 착화원에 의한 연소는 화재에 취약한 패널 연결부의 강판에 열변형을 일으키며 이로 인한 화염유입은 연소와 화재확산으로 확대되며 고온의 연소생성물을 대량 생성시킨다. 연소생성물은 상승기류에 의해 시험체 상단에 축적되며 개구부로 분출되고 일정량 이상의 연소생성물은 화재를 성장시켜 최상부에서 고온의 온도변화가 측정되게 한다. 즉, 온도가 완만하게 상승하는 것은 화재확산이 급격히 진행되지 않고 있음을 유추할 수 있다.

일반샌드위치패널(EPS)과 난연샌드위치패널(FR EPS)의

경우 각 종류의 2개 시험체는 유사한 온도경향을 나타내었다⁽⁵⁾. 일반샌드위치패널(EPS) 2개체의 경우 착화 초기부터 급격한 온도상승을 나타내며 시험 시작 후 약 2분 30초(150초)에 200 °C가 측정되었다. 이후 약 10초 후 (2분 40초, 160초)에 500 °C로 상승하는 패턴을 확인하였다. 난연샌드위치패널(FR EPS) 또한 착화 초기인 4분 40초(280초)에 약 250 °C가 측정되었으나 약 50초 후 (5분, 300초) 화재온도가 800 °C 이상으로 급격히 상승하는 것을 확인하였다.

반면 화재확산방지플레이트를 설치한 경우(FR EPS(P-FSP)) 2개체의 시험체 연소에서 측정된 최고온도는 641 °C로써 약 29분 3초(1743초)에 관측되었다. 화재확산방지플레이트(FR EPS(P-FSP))에서 측정된 최고온도 641 °C(29분 3초, 1743초)는 일반샌드위치패널(EPS)에서 약 2분 34초(154초), 난연샌드위치패널(FR EPS)의 4분 44초(284초)에서 발생하였다. 본 결과는 패널 연결부에 화염확산방지구조체를 설치하는 여부에 따라 동일온도 발생시점을 최대 약 10배 이상 지연시킬 수 있음을 의미한다.

Figure 10은 개구부에 설치한 열전대의 최하부(670 mm)에서 측정된 6개 시험체에 대한 시간에 따른 온도변화이다. 총 6개 시험체의 온도경향은 최상부(2100 mm) 지점에서 측정된 온도 상승경향과 유사하였다.

일반 및 난연 샌드위치패널(EPS & FR EPS) 2종류 시험체 모두 시험종료 1분(60초) 전후로 급격히 온도가 상승하는 경향을 나타내었다. 일반샌드위치패널(EPS)의 경우 2분 30초(150초)에 152 °C와 3분 20초(200초)에 120 °C가 측정되었으나 1분(60초) 후 각각 802 °C와 830 °C로 급격히 온도가 상승하였다.⁽⁵⁾ 난연샌드위치패널(FR EPS)의 경우 4분 50초(290초)에 62 °C와 5분(300초)에 48 °C이었으나, 1분(60초) 후 각각 836 °C와 587 °C가 측정되었다.⁽⁵⁾ 반면 화재확

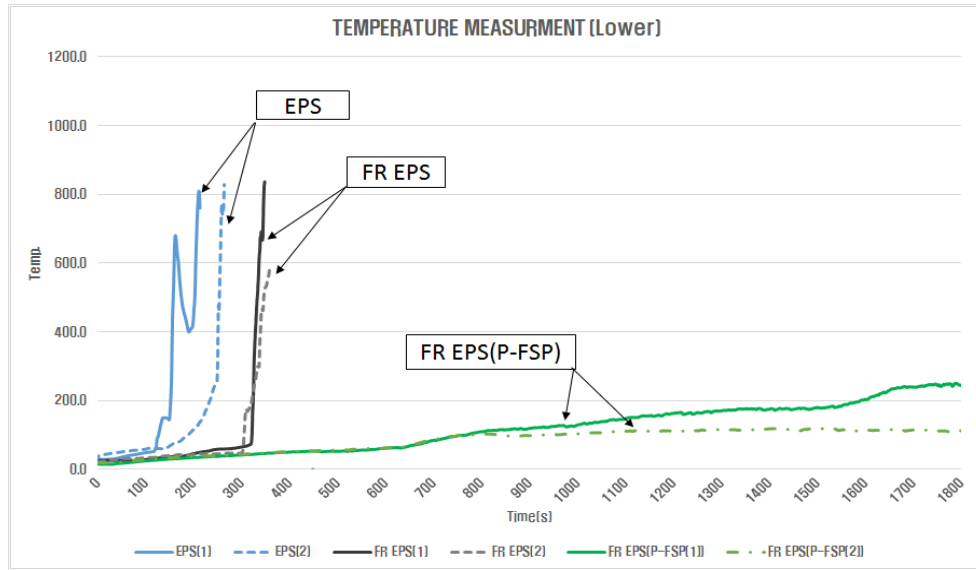


Figure 10. Gas temperatures inside test room-Lower point (670 mm)⁽⁵⁾.

산방지플레이트(FR EPS(P-FSP))의 경우 2개체 모두 30분(1800초)에 시험이 종료되었으며 종료시점의 온도는 243℃와 111℃로 측정되었고, 이는 시험종료 1분전(60초) 측정된 온도값과 유사하였다. 일반 및 난연 샌드위치패널(EPS & FR EPS) 시험체는 플래시오버와 시험체의 붕괴 직전에 가파르게 온도가 급증하였으며, 이는 시험체가 단시간에 화염에 휩싸여 급격한 연소성장이 유발된 것으로 파악된다. 실제 샌드위치패널 건축물에 화재발생 시 본 시험체의 화재거동과 유사한 연소패턴이 나타날 것으로 예상되며 화재확산에 따른 플래시오버와 구조물의 붕괴의 위험성을 확인할 수 있었다.

반면 화재확산방지플레이트를 적용한 시험체(FR EPS(P-FSP))는 시험 시작부터 종료시점인 30분까지 온도증가가 서서히 진행되었으며 온도상승의 급증과 시험체가 급격히 화재확산되는 연소경향을 확인할 수 없었다. 본 결과로, 패널의 연결부위에 인접패널로 연소가 확대되지 않도록 화재확산방지플레이트를 적용하는 것은 화재 시 샌드위치패널 건축물의 붕괴나 플래시오버로 발생으로 인한 대형화재의 피해를 저감시킬 수 있을 것으로 예측되었다.

4. 결 론

샌드위치패널 구조물의 화재는 철판 내부단열재의 연소와 수평·수직방향의 급속한 화재확산으로 인해 대형화재로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 샌드위치패널에 화재확산을 방지하고자 강판플레이트와 발포커버로 화재확산방지플레이트를 제작하여 패널 연결부에 시공하였으며, 실험을 통해 화재확산방지플레이트의 적용 유무에 따른 화재확산방지 효과를 측정하였다.

(1) 본 연구에서 적용한 화재확산방지방공법은 강판플

레이트에 발포커버를 감싸 확장차폐부를 갖는 화재확산방지플레이트를 패널 연결부에 적용하는 것이다. 이는 기존의 선형연구방법^(5,6,10-14,16,17)으로 패널 접합 4면을 전체로 화재확산방지 재료로 시공하거나, 샌드위치패널에 팽창소재를 도포하여 화염차단의 효과를 측정하는 등의 연구 대비 시공성이 개선되었을 뿐만 아니라 확장차폐부는 패널 연결부의 틈새를 매우도록 고안되어 더욱 견고하게 화재확산을 방지할 수 있도록 하였다.

본 구조체의 적용 유무에 따라 수행한 실물화재시험의 플래시오버 발생 시점은 화재확산방지플레이트의 적용 전(6분 이내 발생함)과 적용 후(30분 이상 발생 안함)에 따라 큰 차이가 나타나는 것을 확인하였다.

(2) 시험체 연소에 따라 측정된 시간에 따른 개구부의 온도변화는 시험종료 시점(플래시오버 & 붕괴 발생 & 30분 연소)에서 큰 차이를 나타내었다. 화재확산방지플레이트가 적용된 시험체와 비교시 최상부의 경우 최대 약 585℃ 이상, 최하부의 경우 약 725℃의 온도 차이를 확인하였다. 화재시 개구부의 온도상승을 지연하거나 방지한다면 재실자의 용이한 피난과 생존가능성을 높일 것이다.

(3) 시험체의 조립 공법이 실제 현장에서 수행되는 것으로 상정하였을 때 시험체를 시공하는 방법을 3가지로 구분하여 비교할 수 있다. 첫째, 패널 연결부의 무보강 시공(기존 시공방법)⁽⁵⁾ 둘째, 패널 4개 단면에 화재확산방지 재료 시공(FSP-Material)⁽⁵⁾ 셋째, 패널 연결부에 확장차폐부를 갖는 강철플레이트와 발포커버 화재확산방지플레이트 시공(P-FSP)로 구분할 수 있다. 이 경우 각각에 대하여 시공방법에 따른 비용을 비교하며 첫 번째의 경우를 1로 산정하였을 경우 두 번째 시공방법은 40% 증가(1.4배 증가), 세 번째 시공방법은 10% 증가(1.1배 증가)로 산정되며 이는 실제 시험수행에 있어서의 시공비용에 따른다. 화재확산방지를 위한

시공비용의 10% 증가로 시공성이 개선된 화재확산방지플레이트를 패널 연결부에 적용할 수 있으며, 이는 플래시오버 시점의 지연, 구조물의 붕괴의 지연과 개구부의 온도상승을 지연시키는 효과를 나타내는 것으로 확인되었다.

본 연구는 샌드위치패널 구조의 패널 연결부위에 화염의 유입과 화재확산에 따른 플래시오버를 지연하기 위하여 패널 접합면에 화재확산방지 공법을 적용하는 것에 대한 연구이다.

이는 패널건축물을 신규로 시공할 때 패널 접합부에 본 연구의 구조물을 삽입하여 플래시오버를 지연하는 원리이며, 본 공법은 사용 중인 기축 건축물에는 적용되지 않는다. 신규 패널 건축물에 대한 화재확산방지구조 적용은 플래시오버에 의한 붕괴 방지 및 개구부의 급격한 온도상승을 지연시킬 수 있다.

이와 같은 적절한 시공방법의 적용은 샌드위치패널 구조물의 화재안전성 확보에 중요한 요소로 고려될 것이다. 신규 샌드위치패널의 시공에 있어, 시공의 용이성과 비용의 최소화가 중요한 만큼 공학적인 요소와 경제성이 고려된 다양한 방식의 화재확산방지용 시공방법이 적용된다면 샌드위치패널 구조에 대한 화재안전성이 확보될 것으로 예측된다.

후 기

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

References

1. NFDS, (2016). "Fire Status Statistics", http://www.nfds.go.kr/fr_base_0001.jsf (accessed March 15, 2017).
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notice No. 2015-744, The Criteria for Flame-retardant Performance of Building Finishing Materials & Fire Spread Prevention system.
3. MBN News, "The Amount of Fire Damage at the Dae-gu, Seomun Market" MBN News, http://mbn.mk.co.kr/pages/news/newsView.php?category=mbn00009&news_seq_no=3179606 (accessed April 06, 2017) (2016).
4. S. H. Moon, "Dae-gu, Seomun Market Fire, The Argument of using flammable Sandwich Panels" Steel & Metal news, <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=367544> (accessed April 06, 2017) (2016).
5. N. W. Cho, D. H. Kim and J. H. Shim, "A Study on Flame Spread Prevention of Sandwich Panel", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 84-90, (2015).
6. M, Kim, "Anti-fire Apparatus for Blocking Fire of Building Panel," Republic of Korea, Patent 10-1478774 (2014).
7. 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).
8. KS F 2271, "Testing Method for Incombustibility of Internal Finish Material and Element of Buildings" (2006).
9. 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", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 20-26 (2009).
10. N. W. Cho, J. C. Lee, H. Y. Kim and B. Y. Min. (2008). "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.
11. KS F ISO 13784-1, "Reaction to Fire Test for Sandwich Panel Building Systems-part1: Small Room Test" (2014).
12. N. W. Cho, D. H. Kim, J. C. Lee and T. W. Lee, "Structure of Prevention of Fire Spreading on Building Panels Method for Constructing the Same", Republic of Korea, Patent 10-1697701 (2017).
13. N. W. Cho and D. H. Kim. "A Study of Flash-over Retardation effect as the Flame Spread Prevention", Proceedings of 2016 Autumn Annual Conference, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 36, No. 2, pp. 965-966, (2016).
14. 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, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 21-22 (2015).
15. N. W. Cho, J. C. Lee and J. B. Choi, "A Study for Prevention Technology of Flame Spread of Construction Interior & exterior Finish Materials", Proceedings of 2015 Spring Annual Conference, Journal of the Korean Society of Safety, pp. 45 (2015).
16. 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).
17. N. W. Cho and D. H. Kim, "A Study on Flash-over Delay Method for Factory Buildings", Proceedings of 2016 Spring Annual Conference, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 25-26 (2016).
18. ISO 9705, "Fire tests-Full-Scale Room Test for Surface Products" (1993).