

[Research Paper]

복합자재 콘칼로리미터평가방법에 대한 연구

박정우 · 조남욱[†]

한국건설기술연구원

A Study on the Cone Calorimeter Evaluation Method of Sandwich Panels

Jung-Woo Park · Nam-Wook Cho[†]

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

(Received October 25, 2017; Revised November 9, 2017; Accepted November 14, 2017)

요 약

유기단열재를 사용한 샌드위치패널(복합자재) 건축물 화재는 소화가 어려우며, 가연성 심재를 통한 빠른 화재 확산으로 화재 시 피해가 크다. 샌드위치패널은 양면이 불연재로 되어있고, 불연재 사이에 심재인 단열재로 이루어져 있다. 단열재는 유기단열재와 무기단열재가 사용되고 있으며, 유기단열재가 무기단열재에 비하여 약 80% 이상 사용되고 있다. 유기단열재는 무기단열재에 비하여 경제적인 장점이 있지만 화재에 취약하다는 단점을 가지고 있기 때문에 샌드위치패널 화재 시 일반화재에 비하여 피해가 크다. 가스유해성시험의 경우 복합자재의 심재 위험성을 측정하기 위해 패널에 지름 25 mm 크기 3개의 원형 천공을 하여 시험하지만 콘칼로리미터 시험은 샌드위치패널 형태 그대로 시험을 진행한다. 본 연구에서는 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험에서 복합자재의 경우 불연재인 표면에 가열한 경우와 천공을 통한 심재 노출 시험 및 심재에 직접가열 시 발생하는 화재의 위험성을 측정하였다. 시험에 사용된 유기단열재는 일반 EPS와 난연 EPS를 사용하였으며, 시험체 구성은 샌드위치패널, 천공된 샌드위치 패널, 심재의 3가지 형태로 시험을 진행하였다. 본 연구의 목적은 콘칼로리미터 시험 시 복합자재 심재의 화재 위험성을 평가하는 방안을 제시하고자 하였다.

ABSTRACT

Fires in buildings built using sandwich panels are difficult to extinguish, and the damage caused by the fire spreading through the inner core material is extensive. Sandwich panels consist of a nonflammable material on both sides of an insulation material. The types of insulation material include organic and inorganic insulation materials, but the former are used in more than 80% of the case. Organic insulation is economically advantageous compared to inorganic insulation, but it is vulnerable to fire. Therefore, the damage caused by sandwich panel fires is higher than that for general fires. In the case of the noxious gas analyzer test, the panel is tested with three round holes having a diameter of 25 mm, in order to determine the risk of the core material, but the cone calorimeter test is carried out using a sandwich panel. In this study, the cone calorimeter test was conducted to examine the fire risk of the composite material when heated on a nonflammable surface, exposed to the core material through a hole, and heated directly the core material. The type of organic insulation employed was flame retardant EPS (Expanded Polystyrene), and the test specimens were tested in three types of sandwich panel, a perforated sandwich panel and single core material. The purpose of this study is to propose a method of measuring the fire risk of the core materials of composite materials using the cone calorimeter test.

Keywords : Cone Calorimeter, Sandwich Panel, Insulation Core Material, Noxious Gas Analysis, Fire Risk

1. 서 론

샌드위치패널(복합자재)을 사용한 건축물의 안전성은 계속해서 화두가 되고 있다. 샌드위치패널을 사용한 건축물

의 화재는 소화가 어려우며, 내부 심재를 통한 화재 확산으로 화재 시 피해가 크다. 대표적으로 2005년도에 발생한 서문시장 화재는 EPS 샌드위치패널을 통하여 화재가 확산되면서 689억원의 재산피해가 발생하였고, 2008년 발생한 물

[†] 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.

류창고 화재 사고의 경우 용접불이 샌드위치패널 심재에 옮겨 붙으며 화재가 확산되어 창고가 전소하였다.⁽¹⁾ 샌드위치패널은 양면이 불연재로 되어있고, 불연재 사이에 심재인 단열재로 이루어져 있다. 단열재는 미네랄울, 글라스울 등을 사용하는 무기단열재와 스티로폼, 우레탄, 페놀폼 등을 사용하는 유기단열재가 있으며, 유기단열재의 사용량이 무기단열재의 사용량에 비하여 약 80% 이상을 차지하고 있다. 유기단열재가 무기단열재에 비하여 단열성능이 좋고 성형성이 뛰어나며 공사비용이 저렴한 경제적인 장점이 있지만 무기단열재에 비하여 화재에 취약한 단점을 가지고 있다. 복합자재의 대형화재사고 사례는 주로 유기단열재를 이용한 샌드위치패널 건축물로 확인되고 있다.⁽²⁾

샌드위치패널을 포함한 건축물 마감재료는 현행 건축법 시행령 제51조 및 “건축물의 피난·방화등의 기준에 관한 규칙”에 따라 규정된 난연성 시험 방법으로 성능시험을 수행하고 있다. KS F 2271 가스유해성 시험 및 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험법을 통해 건축자재의 난연 및 준불연 성능을 평가한다. KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험법의 경우 시료는 가로 및 세로를 각각 100 mm로 하고 높이를 50 mm가 넘지 않게 하여 시험을 수행하며 KS F 2271 가스유해성 시험의 경우 가로 및 세로를 각각 220 mm로 하고 높이는 실제 시공하는 시편 높이로 하며 지름 25 mm 크기의 3개의 원형 천공을 하여 시험한다.⁽³⁾ KS F 2271 가스유해성 시험법 같은 경우 과거에는 천공 없이 시험을 진행하였지만, 여러 연구를 통하여 천공을 하지 않았을 경우 화재시 발생하는 가스의 유해성을 정확하게 측정하기 어렵다는 결론을 통하여 현재 시험 시 시편을 천공하여 시험하게 되었다.⁽⁴⁾ 하지만 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험법의 경우 현재 시편을 천공하지 않고 시험한다. 콘칼로리미터 시험법에 의하여 적합하다고 확인된 샌드위치

패널을 이용하여 ISO 13784-1 실물화재 시험을 수행한 결과 샌드위치패널 내부 심재에 의한 화염 확산으로 인해 5분 이내에 플래시오버가 발생한 것을 확인되었다.⁽⁵⁾ 이러한 결과는 현재 진행되고 있는 콘칼로리미터 시험법이 샌드위치패널(복합자재)을 이용한 건축물의 실제 화재 시 위험성을 확인하는데 한계가 있음을 보여주는 결과이다.

본 연구에서는 현행 규정으로 적용되고 있는 소재의 난연 성능 평가방법인 콘칼로리미터 시험에서 복합자재의 형태로 시험한 경우와 패널천공으로 심재 노출을 통한 가열 시험 및 심재만을 대상으로 직접 가열 시 발생하는 화재의 위험성의 비교 평가를 통해 샌드위치패널에 대한 화재위험성 평가 방안을 제시하고자 하였다.

2. 문헌연구

2.1 난연성능 기준

국내 건축법은 난연등급을 3단계로 구분하고 있다. 현재 건축용 마감재의 화재안전 성능 기준은 국토부 고시(2015-744호)에 의한 KS F 2271 가스유해성 시험법 및 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험법을 이용한 난연 및 준불연 등급과 KS F 2271 가스유해성 시험법 및 KS F ISO 1182 불연성 시험법을 이용한 불연등급이 있다. KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험법이 사용되는 난연 및 준불연 등급은 Table 1과 같은 평가방법 및 성능기준이 정해져 있다.^(4,6,7)

2.2 콘칼로리미터 시험

콘칼로리미터법(KS F ISO 5660-1)은 건축물의 마감재를 대상으로 국토부 고시(2016-744호)에서 규정하는 난연재료 등급의 성능시험방법으로 소규모의 단일 재료에 대한 효과적인 평가 방법이다.

Table 1. Performance Criteria of Each Class for Sandwich Panels⁽⁵⁾

Class	Standard	Evaluation Criteria
Semi-noncombustible Material	KS F ISO 5660-1 (Cone Calorimeter Method)	Total Radiant Heat 10 minutes after Heating is 8 MJ/m ² . Within 10 minutes, Max. Heat Radiant Rate does not Exceed 200 kW/m ² for Longer than 10 Consecutive Seconds. There shall be not Crack that Penetrates Sample, Hole or Melting (for Mixed Content Materials, Includes Melting and Dissipating of all Core Materials) after Heating fore 10 minutes.
	KS F 2271 (Gas Toxicity Test)	Average Incapacitation Time of Laboratory Mice is 9 minutes or Longer
Fire Retardant Material	KS F ISO 5660-1 (Cone Calorimeter Method)	Total Radiant Heat 5 minutes after Heating is 8 MJ/m ² . Within 5 minutes, Max. Heat Radiant Rate does not Exceed 200 kW/m ² for Longer than 10 Consecutive Seconds. There Shall be not Crack that Penetrates Sample, Hole or Melting (for Mixed Content Materials, Includes Melting and Dissipating of all Core Materials) after Heating fore 5 minutes.
	KS F 2271 (Gas Toxicity Test)	Average Incapacitation Time of Laboratory Mice is 9 minutes or Longer



Figure 1. ISO 5660-1 cone calorimeter apparatus.

Figure 1은 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험법에 사용되는 콘칼로리미터 장비이다. 콘칼로리미터 장비를 이용하여 소재의 가열시 발생하는 열방출률을 측정할 수 있다. 콘칼로리미터 시험은 시험체의 분해연소를 통해 발생한 연소생성물의 분석으로 열방출률을 측정하는 시험방법이다. 콘 형태의 히터를 이용하여 50 kW/m²의 열유속으로 열을 가하며, 점화원으로는 전기 점화원을 사용하여 시험체에서 발생하는 가연성 기체에 화염을 착화시킨다. 시편의 크기는 가로 100 mm, 세로 100 mm, 두께 50 mm 크기의 시험체를 이용하며, 가열하여 발생하는 연소가스로부터 소모되는 산소의 양으로부터 대기 산소농도인 20.95% 중 소비되는 산소 1 kg당 13.1×10³ kJ과 동일한 열량이 발생하는 원리를 이용하여 열방출률을 계산한다.⁽³⁾

2.3 실물화재 시험^(5,8,9,11,12)

실물화재 시험방법인 ISO 13784-1은 복합패널의 실제 규모에 해당하는 화재시험이다. 해당 시험은 ISO 9705, Room Corner Test에 근거하여 재정의된 화재시험으로 방 형태로 시공한 시험체의 구석에 화원을 설치하여 화재평가를 하는 방법이다.

시험체의 크기는 길이 3.6 m, 너비 2.4 m, 높이 2.4 m의 크기로 하고 한 면을 선택하여 너비 0.8 m, 높이 2 m의 개구부를 설치한다(Figure 2, 3). 시험체에 사용된 샌드위치패널의 두께는 100 mm 두께의 패널을 사용하였다.

시험체 구석에 사용되는 점화원은 프로판가스버너에 외부 화염을 이용하여 점화한다. 초기 10분동안 100 kW로 가열하며, 이후 10분 동안 300 kW로 가열한다. 시험 시간은 폐쇄 공간에서 가연성 재료의 화재가 전체 면적으로 확산

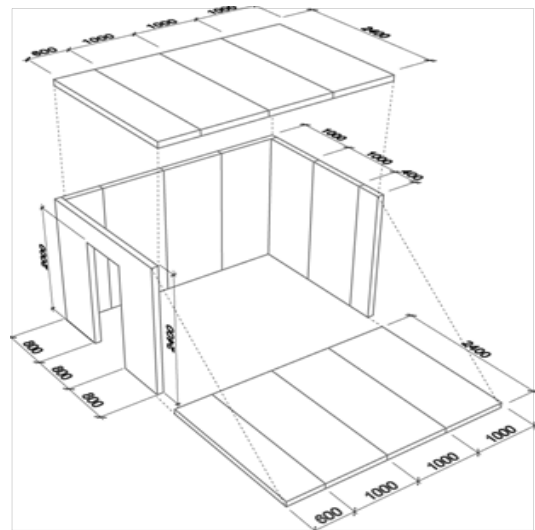


Figure 2. ISO 13784-1 test configurations.⁽⁵⁾



Figure 3. ISO 13784-1 test facilities.⁽⁵⁾

되는 상태인 플래시오버가 발생하는 시간까지 시험한다. ISO 13784-1 실물화재 시험에서는 점화원과 시험체의 열방출률 합이 1,000 kW에 도달하는 시점을 플래시오버로 정의하고 있다. 시험이 진행되는 동안 K type 열전대를 설치하여 개구부 온도 변화를 기록한다.

3. 실험

3.1 열방출률 비교 실험

본 연구에서는 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험법의 샌드위치패널(복합패널) 시험 시 기존의 시험방법과 천공을 통한 샌드위치패널의 심재 노출 시험 그리고 단일심재만을 이용한 시험을 통하여 화재 시 샌드위치패널의 천공 여부에 따라 열방출률 결과에 미치는 영향을 측정하였다.

Table 2. Summary of Panel types used in the Experiment

Type of Insulation	Form		
	S/W Panel	Punched S/W Panel	Inner Material
EPS	3 ea	3 ea	3 ea
Flame Retardant EPS	3 ea	3 ea	3 ea

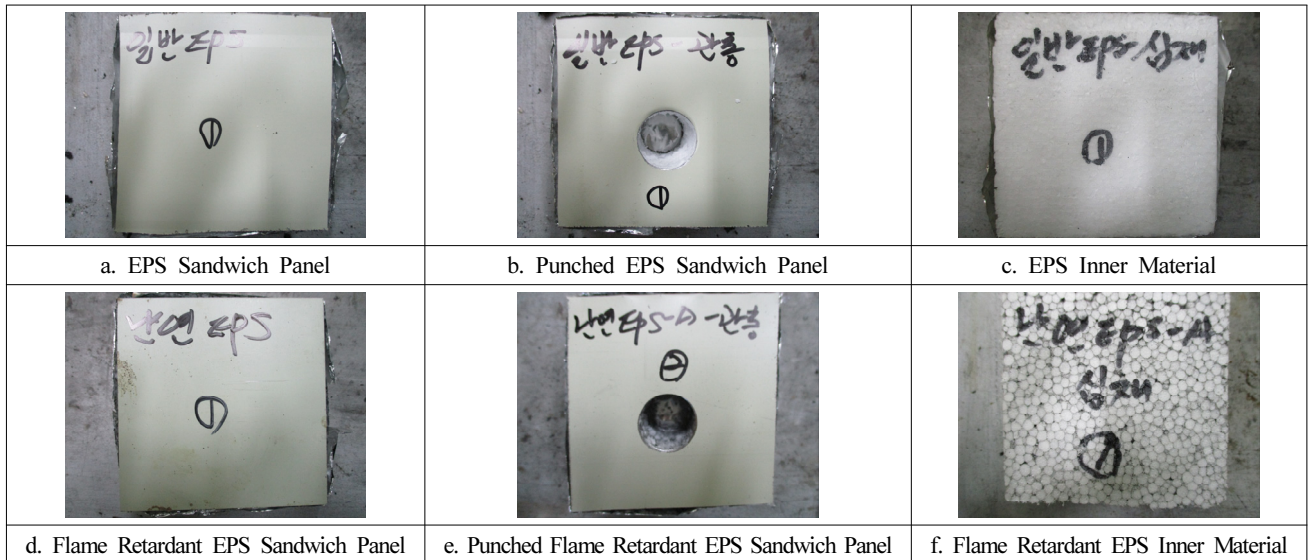


Figure 4. ISO 5660-1 test specimen.

시험에 사용된 샌드위치패널의 종류는 Table 2에 제시되어 있는 바와 같이 일반 EPS샌드위치 패널(EPS Sandwich Panel : EPS SP), 난연 EPS 샌드위치패널(Flame Retardant Sandwich Panel : FR EPS SP)이며 복합자재형태, 천공된 복합자재 및 심재를 대상으로 3가지 형태로 구분하여 시험을 진행하였다.

시험은 결과의 재현성을 위하여 실제 시험 시 진행하는 방법과 같이 각 시료마다 3회씩 시험을 진행하였다.

Figure 4과 같이 각 시험체는 일반적인 샌드위치패널 형태(Sandwich Panel : SP), 샌드위치패널 중앙에 천공을 통한 심재를 노출시킨 형태(Punched Sandwich Panel : P-SP), 심재 형태(Inner Material : IM)의 시험체이다. Figure 4 (a)는 일반EPS샌드위치패널(EPS Sandwich Panel : EPS SP) 이며 관통을 하여 Figure 4 (b)의 천공 일반EPS샌드위치패널 (Punched EPS Sandwich Panel : P-EPS SP)을 제작하였고 철판을 제거하여 Figure 4 (c)의 심재형태(EPS Inner Material : EPS-IM)로 제작하였다. Figure 4 (d)는 난연EPS샌드위치패널 (Flame Retardant EPS Sandwich Panel : FR EPS SP)이며 관통을 통하여 Figure 4 (e) 천공 난연EPS샌드위치패널(Punched Flame Retardant EPS Sandwich Panel : P-FR EPS SP)을 제작하였고 철판을 제거하여 Figure 4 (f)의 심재형태(Flame Retardant EPS Inner Material : FR EPS IM)로 제작하였다. 3 가지 형태의 일반EPS 및 난연EPS를 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험을 진행하여 열방출률을 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 열방출률

콘칼로리미터 장비를 이용하여 일반 EPS 샌드위치패널 (EPS SP), 난연 EPS 샌드위치패널(FR EPS SP) 2종류의 패널을 일반적인 샌드위치패널, 천공된 샌드위치패널 및 심재 3가지 형태로 시험을 진행하였다. 화염 발생 유무 및 화염 발생과 소멸시간을 기록하였으며, 열방출률은 순간 열방출률인 HRR(Heat Release Rate)과 총 열방출률인 THR (Total Heat Rate) 및 질량감소율을 측정하였다.

4.1.1 일반EPS

Table 3는 일반 EPS 샌드위치패널(EPS SP), 천공된 일반 EPS 샌드위치패널(P-EPS SP) 및 일반 EPS 심재(EPS SP-IM)의 콘칼로리미터 시험 결과이다. 시험 결과 일반적인 형태의 EPS 샌드위치패널의 경우 화염이 발생하지 않았으며 열방출률이 낮게 측정된 결과를 확인할 수 있다. 천공 일반 EPS 샌드위치패널의 경우 시험 시작 후 20초 내에 화염이 발생하였으며 시험 종료 시 까지 화염이 지속되었음을 확인할 수 있다. 또한, 화염 발생을 통하여 열방출률이 상승함에 따라 준불연 성능 기준인 10분 이내에 총 열방출률(THR)이 8 MJ/m²을 초과한 결과를 확인하였다. 심재의 경우 시험 시작 후 바로 화염이 발생하였으며, 난연 성능

Table 3. EPS Cone Calorimeter Test Results

Test Sample		Cone Calorimeter Test Result					Fire Class
		Ignition (sec)	Flame Out (sec)	THR (MJ/m ²)		Mass Loss Rate (%)	
				5 Minutes	10 Minutes		
EPS Sandwich Panel	1	50	120	0.4	1.9	4.54	Semi-noncombustible Material
	2	47	90	1.1	2.1	5.55	
	3	50	90	0.7	4.1	6.23	
EPS Sandwich Panel with Drill Holes	1	33	Continues	4.9	9.6	7.33	Fire Retardant Material
	2	35	Continues	6.4	12.0	8.29	
	3	35	Continues	4.2	7.3	6.76	
EPS Core Material	1	Immediately	80	16.5	-	51.28	Ordinary (Combustibles)
	2	Immediately	70	15.8	-	47.54	
	3	Immediately	70	17.0	-	49.58	

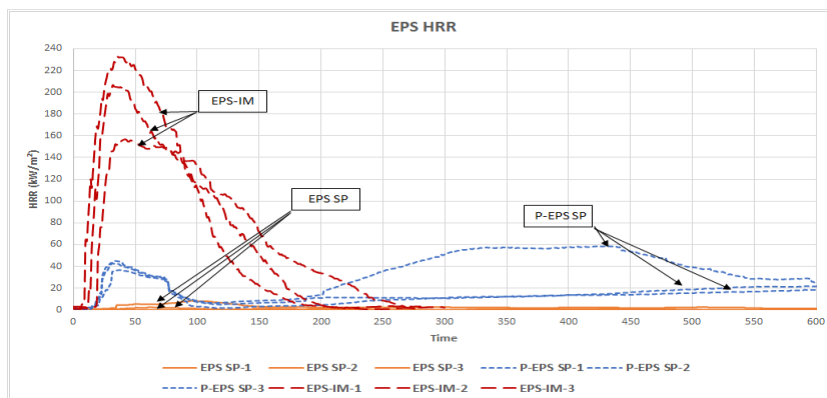


Figure 5. HRR of EPS.

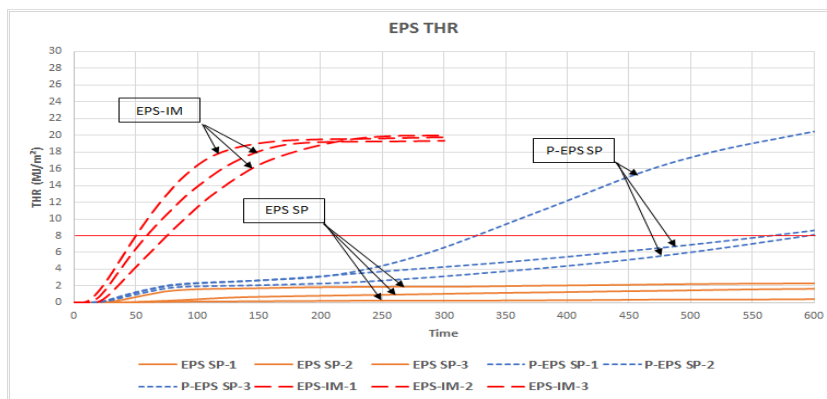


Figure 6. HRR of EPS.

기준인 5분 내에 총 열방출률(THR)이 8 MJ/m²을 초과한 결과를 확인하였다.

Figure 5는 일반 EPS 샌드위치패널(EPS SP)의 HRR을 측정한 그래프이다. 주황 실선의 샌드위치패널 형태의 경우 그래프 상에 HRR의 변화가 크게 없는 모습을 확인할 수 있었으며, 그래프 상 화염이 발생하지 않았음을 확인할 수 있다. 그러나 파란 점선의 천공된 일반 EPS 샌드위치패널(P-EPS SP)의 경우 시험 시작 후 100초 내외로 HRR이 다소 높아졌다 줄어든 모습을 확인할 수 있고, 이후 천공하지

않은 EPS 샌드위치패널(EPS SP)에 비하여 HRR이 다소 높게 유지되는 모습을 확인할 수 있으며, 관통부 사이로 화염이 발생하였으며 화염이 약하게 지속되었음을 그래프로 확인할 수 있다. 또한 붉은 점선의 일반 EPS 심재(EPS-IM)의 경우 시험 시작 직후 50초 내로 HRR이 크게 상승하다 감소하는 모습을 확인할 수 있으며, 시험 시작과 동시에 큰 화염이 발생하였고 가연물이 빠르게 기화됨에 따라 화염이 소멸한 모습을 확인할 수 있다.

Figure 6은 일반 EPS의 THR을 측정한 그래프이다. 주황

Table 4. Flame Retardant EPS Cone Calorimeter Test Results

Test Sample		Cone Calorimeter Test Result					Fire Class
		Ignition (sec)	Flame Out (sec)	THR (MJ/m ²)		Mass Loss Rate (%)	
				5 Minutes	10 Minutes		
Flame Retardant EPS Sandwich Panel	1	-	-	0.0	0.0	2.98	Semi-noncombustible Material
	2	-	-	1.1	1.7	3.72	
	3	-	-	1.9	2.3	3.28	
Flame Retardant EPS Sandwich Panel with Drill Holes	1	15	Continues	4.3	8.5	7.94	Fire Retardant Material
	2	20	Continues	6.7	20.4	12.32	
	3	20	Continues	3.1	8.1	7.77	
Flame Retardant EPS Core Material	1	Immediately	100	19.3	-	77.82	Ordinary (Combustibles)
	2	Immediately	120	20.0	-	77.82	
	3	Immediately	90	19.8	-	76.6	

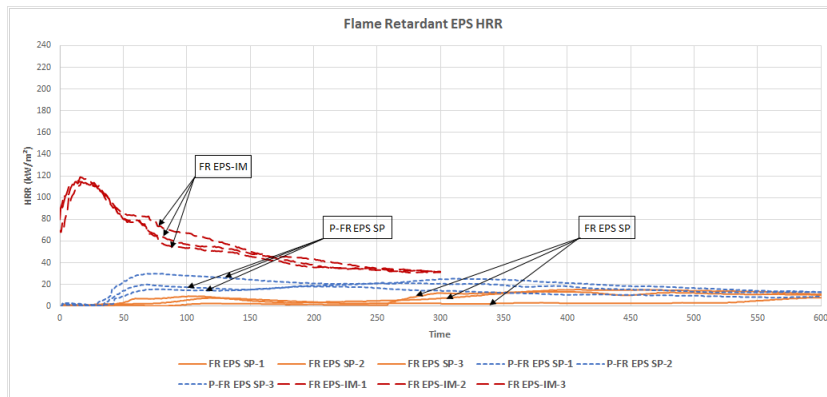


Figure 7. HRR of flame retardant EPS.

실선의 일반 EPS 드위치패널(EPS SP) 형태의 경우 THR이 다소 상승한 후 일정하게 유지되는 모습을 확인할 수 있으며 10분이 경과 후 KS F ISO 5660-1의 준불연 성능 기준인 THR이 8 MJ/m²을 초과하지 않았음을 확인할 수 있다. 그러나 파란 점선의 천공된 일반 EPS 샌드위치패널(P-EPS SP)의 경우 THR이 서서히 증가하여 난연 성능 기준인 5분 경과 후에는 8 MJ/m²을 초과하지 않았지만 준불연 성능 기준인 10분에는 8 MJ/m²을 초과한 것을 확인할 수 있다. 또한 붉은 점선의 일반 EPS 심재(EPS-IM)의 경우 THR이 빠른 속도로 증가하여 100초 이내에 8 MJ/m²을 초과하여 부적합 성능을 확인할 수 있다.

4.1.2 난연EPS

Table 4는 난연 EPS 샌드위치패널, 천공된 난연 EPS 샌드위치패널 및 난연 EPS 심재의 콘칼로리미터 시험 결과이다. 시험 결과 일반적인 형태의 난연 EPS 샌드위치패널에 비하여 천공을 통하여 심재를 노출시킨 난연 EPS 샌드위치패널의 경우 화염 발생 시간이 빨랐으며 화염 지속시

간도 긴 것을 확인할 수 있다. 난연 EPS 샌드위치패널에 비하여 천공 난연 EPS 샌드위치패널의 총 열방출률(THR)이 높았다. 난연 EPS 샌드위치패널의 경우 준불연 성능 기준인 10분에 8 MJ/m²을 초과하지 않았으며, 천공 난연 EPS 샌드위치패널의 경우 5분에는 8 MJ/m²을 초과하지 않았지만 10분에 8 MJ/m²을 초과하여 난연성능 등급을 확인할 수 있다. 그러나 심재의 경우 시험 시작 후 바로 화염이 발생하였으며, 난연 성능 기준인 5분 내에 총 열방출률(THR)이 8 MJ/m²을 초과한 결과를 확인할 수 있다.

Figure 7은 난연 EPS의 HRR을 측정된 그래프이다. 난연 EPS 샌드위치패널(FR EPS SP)의 경우 시험 시작 후 100초 내외로 HRR이 다소 높아졌다 줄어든 모습을 확인할 수 있었으며, 낮은 HRR을 유지하는 모습을 그래프로 확인할 수 있다. 천공 난연 EPS 샌드위치패널의(P-FR EPS SP) 경우 50초 내에 HRR이 다소 높아졌으며, 이 후 높아진 HRR을 유지하는 모습이 측정되었다. 난연 EPS 심재(FR EPS-IM)의 경우 시험 시작 직후 100초 내로 HRR이 크게 상승하다 감소하는 모습을 확인할 수 있으며, 감소 이후에도 높은

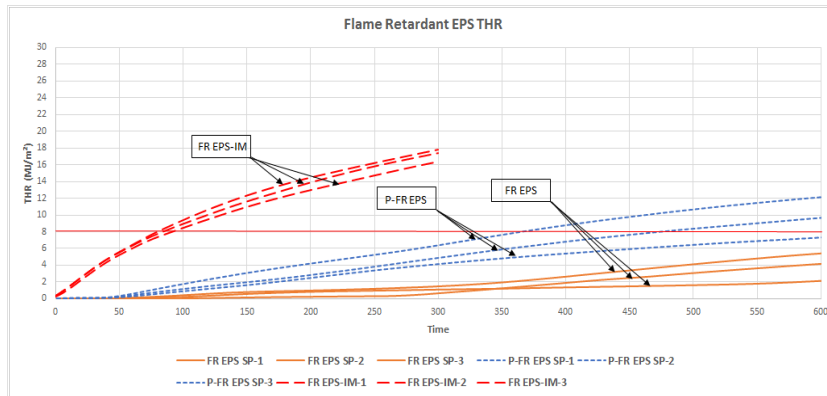


Figure 8. HRR of flame retardant EPS.

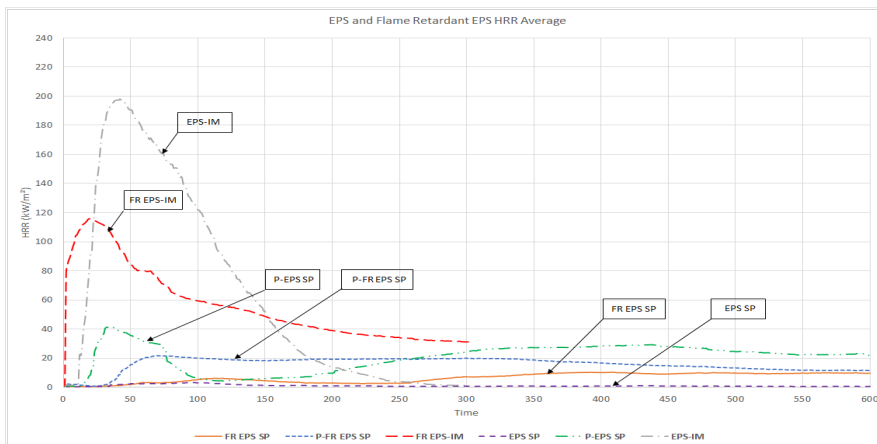


Figure 9. HRR of EPS and flame retardant EPS.

HRR을 유지하는 모습이 확인되었다.

Figure 8은 난연 EPS의 THR을 측정된 그래프이다. 난연 EPS 샌드위치패널(FR EPS SP)의 경우 THR이 다소 상승한 후 일정하게 유지되는 모습을 확인할 수 있으며 10분이 경과 후 KS F ISO 5660-1의 준불연 성능 기준인 THR이 8 MJ/m²을 초과하지 않았음을 확인할 수 있다. 천공 난연 EPS 샌드위치패널(P-FR EPS SP)의 경우 THR이 서서히 증가하여 난연 성능 기준인 5분 경과 후에는 8 MJ/m²을 초과하지 않았지만 준불연 성능 기준인 10분에는 8 MJ/m²을 초과한 것을 확인할 수 있다. 또한, 난연 EPS 심재(FR EPS-IM)의 경우 THR이 빠른 속도로 증가하여 100초 이내에 8 MJ/m²을 초과하여 부적합 성능을 확인할 수 있다.

4.1.3 일반EPS와 난연EPS의 HRR 비교

Figure 9는 일반 EPS와 난연 EPS의 HRR을 비교한 그래프이다. 결과의 이해를 돕기 위하여 6종 각 시험체의 3회 시험 결과를 평균값으로 도식하였다. 보라색 점선의 일반 EPS 샌드위치패널(EPS SP)과 주황색 점선의 난연 EPS 샌드위치패널(FR EPS SP)의 그래프를 보면 샌드위치패널 형태로 시험을 진행하는 경우 순간열방출률인 HRR이 전체

적으로 높지 않은 결과를 볼 수 있으며, 난연 EPS 샌드위치패널(FR EPS SP)에서 화염이 250초 이후에 발생하는 화염지연현상이 측정되었다. 반면, 녹색 점선의 천공 일반 EPS 샌드위치패널(P-EPS SP)과 파란색 점선의 천공 난연 EPS 샌드위치패널(P-FR EPS SP)의 경우 50초 전후로 열방출률이 상승하는 모습을 보이며 시험 후 단 시간에 화염이 발생하는 결과를 보였다. 또한, 화염이 발생 후에도 순간 열방출률이 높게 지속되는 양상을 보이며 화염이 계속해서 지속되는 결과를 확인할 수 있다. 심재의 경우에는 모두 시험 직후 화염이 발생하여 단시간에 발생된 열방출률이 높은 것을 확인할 수 있다.

4.2 실물화재 실험 결과^(5,11,12)

Figure 10은 일반EPS의 샌드위치패널과 천공샌드위치패널 및 난연EPS의 샌드위치패널과 천공샌드위치패널의 실물화재시험 열방출률(Heat Release Rate) 측정 그래프이다. ISO 13784-1에 따라 열방출율이 1,000 kW를 초과하면 플래시오버가 발생한 것으로 한다. ISO 13784-1 시험의 경우 합부판정의 기준은 없으며, 플래시오버 도달 시간을 통하여 피난시간을 산정하는 시험이라고 할 수 있다. EPS 샌드위

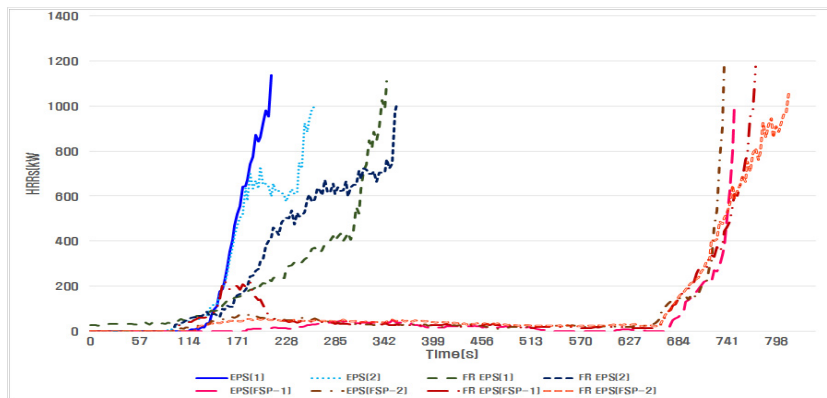


Figure 10. Test Result of Heat Release Rate.

치패널(EPS[1, 2])의 플래시오버 시각은 각각 3분 30초와 4분 21초이며, 난연EPS샌드위치패널(FR EPS[1, 2])은 각각 5분 45초와 5분 57초이다. 일반EPS샌드위치패널에 비하여 난연EPS샌드위치패널을 이용하여 만든 건축물의 열방출률 상승시간이 다소 지연되긴 했지만 큰 차이를 보이지 않았다. 소규모 화재시험인 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터법을 이용한 열방출률이 모두 준불연 기준의 합격 성능을 보인 일반EPS는 5분, 난연EPS는 6분 내에 플래시오버에 도달하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 샌드위치패널(복합자재)의 경우 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터법을 통한 샌드위치패널의 화재 위험성 예측의 한계를 극복하기 위한 방안을 위하여 천공을 통한 시험을 진행 하였다. 천공을 하지 않은 일반적인 샌드위치패널 형태로 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터법을 이용한 열방출률을 측정하였을 경우 화염 발생 시간이 지연되거나 화염이 발생하지 않았으며, 모두 준불연 성능에 적합한 10분에 THR이 8 MJ/m²을 초과하지 않는 결과를 확인하였다. 준불연 성능이 확인된 샌드위치패널의 실제 화재 시 안전성을 확인하기 위하여 ISO 13784-1 실물화재시험의 결과와 비교해 본 결과 플래시오버 기준인 열방출률이 1,000 kW를 초과한 시간이 일반EPS 샌드위치패널(EPS SP)의 플래시오버 시각은 각각 3분 30초와 4분 21초이며, 난연EPS샌드위치패널(FR EPS SP)은 각각 5분 45초와 5분 57초로 확인 되었다.^(5,11,12) 플래시오버시간에 따라 피난시간 확보에 중요한 근거로 해석될 수 있는 결과로 본다면 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터법 시험 시 일반적인 샌드위치패널의 형태로 시험할 경우 화재의 위험성을 예측하는데 한계가 있다고 볼 수 있다. 반면, 천공을 하여 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험을 진행한 경우 일반 EPS 샌드위치패널(EPS SP)과 난연 EPS 샌드위치패널(FR EPS SP) 모두 일반 샌드위치패널에 비하여 화염 발생 시간이 빨랐으

며, 준불연 성능인 10분에 THR이 8 MJ/m²을 초과한 결과를 확인할 수 있었다. 샌드위치패널(복합자재)의 경우 천공을 통하여 시험을 진행할 경우 가연성 심재의 화재위험성 평가가 가능한 것으로 확인되었으며, 현행 건축법에 규정하는 소규모시험방법의 한계를 극복하기위한 대안으로 샌드위치패널(복합자재)의 KS F ISO 5660-1 콘칼로리미터법 시험 시 천공을 통한 시험 방법을 제시하고자 한다.

References

1. H. J. Shin, K. H. In and S. H. Joo, "Analysis of Sandwich Panel Building Fire and Investigation on Future Safety Measures", International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, pp. 272-274 (2013).
2. University of Seoul, "A Study of Statistical Research for Sandwich Panel Fire", (2011).
3. 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).
4. N. W. Cho, J. P. Jeon, H. Y. Kim and B. Y. Min, "Study of Combustibility Test of Sandwich Panel", Architectural Institute of Korea, Vol. 26, No. 1, pp. 26-27 (2006).
5. D. H. Kim, N. W. Cho and J. H. Shim, "A Study on Flame Spread Prevention of Compound Material", Fire Science & Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 84-90 (2015).
6. KS F 2271 : Testing Method for Incombustibility of Internal Finish Material and Element of Buildings (2011).
7. KS F ISO 1182 : Reaction to Fire Tests for Products -- Non-combustibility Test. (2014).
8. ISO 13784-1 : Reaction to Fire Test for Sandwich Panel Building Systems - Part 1: Small Room Test (2014).
9. V. H. Patrick and J. S. P. Patrick, "Need for Full-scale Testing of Sandwich Panels-comparison of Full Scale Tests and Intermediate Scale Tests", Interflame, pp. 495-503 (2001).

10. D. Dougal, "An Introduction to Fire Dynamics", John Wiley & Sons, pp. 278-303 (1986).
11. D. H. Kim and N. W. Cho, "Experimental Study on the Flash Over Delay Effects According to the Prevention of Flame Spread between Composite Material Panels", Vol. 31, No. 2, pp. 1-8 (2017).
12. D. H. Kim and N. W. Cho, "A Study on Flash Over Delay Effects on Applied Plate-Fire Spread Prevention Method at Sandwich Panels Structure", Vol. 31, No. 3, pp. 79-87 (2017).