

중소형 화재시험 적용을 통한 샌드위치패널의 화재성능평가

정재군 간재환경팀 책임연구원
박계원 간재환경팀 연구원

1. 서론

샌드위치 패널은 건식공법에 대한 수요증가와 간편한 시공성 및 우수한 단열성 등의 장점으로 인해 꾸준히 사용량이 증가되고 있다. 그러나 샌드위치 패널 구조의 건축물에서 화재가 발생할 경우, 샌드위치패널의 양면 강판 구조로 인해 주수소화가 불리하며, 강판 사이에 삽입되는 단열심재의 고분자물질 화학특성으로 인해 인체 흡입시 유독한 가스의 발생이 가능하며, 단열 심재의 용융시 강판좌굴로 인한 구조체 전체의 붕괴를 초래하여 재실자의 피난을 위협하는 등, 다각적인 화재 위험에 대한 개연성을 내포하고 있다. 국내에서는 이러한 샌드위치 패널 등의 건축내장재의 난연 성능 개선을 위한 평가방법으로 기존 KS F 2271 시험방법을 보완하여, ISO 5660-1(cone calorimeter method) 시험방법을 KS로 부합화하였으나 현재 KS ISO 5660-1 또한 소형 시편에 대한 시험이기에 실물규모에 의한 화재 시험이 절실히 요구되는 시점이다.

본 연구에서는 ISO 5660-1 (Cone Calorimeter Method) 시험방법과 중형시편에 대한 유럽기준인 EN 13823(Single Burning Item) 시험방법에서의 샌드위치패널 연소특성을 비교 검토하기 위하여 시험을 실시하였다. 국내 4종의 샌드위치패널을 시험체로 선택하였으며, 시험 후 착화시간, 질량손실, 열방출율, 연기발생율, 산소농도 등 여러 요인들에 대하여 검토하였다. 시험결과는 단열재

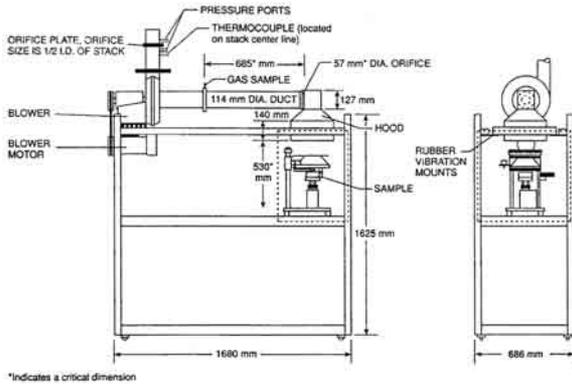
별, 샌드위치패널별로 비교하였고, 두 시험 방법 사이에 있어서 동일 단열재를 사용한 시험체 사이의 결과를 검토하였다. 최종적으로 일본과 NBC개정안, 그리고 유럽 EN 13501-1에서 제시하는 분류기준에 의해 시험결과를 적용하였다.

2. ISO 5660-1 및 EN 13823 시험개요

2.1 ISO 5660-1 (Cone calorimeter method) 시험

열방출율은 재료의 연소에 필요한 산소의 양에 비례(연소시 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출)하는 원리를 이용한 시험법으로 시험체의 착화시간과 열방출율을 측정하기 위하여 콘칼로리미터(영국 FTT사)를 사용하였으며, 시험장치는 콘 형태의 복사전기히터, 시편의 질량을 측정하기 위한 무게측정장치, 시편홀더, 산소분석장치, 유량측정장치를 부착한 배출시스템, 스파크점화회로, Heat flux meter, 교정용 버너 및 데이터수집 및 분석 시스템들로 구성된다.

본 연구에서는 선정된 시료를 콘칼로리미터에 수평방향으로 설치하고 외부 점화장치를 부착한 상태로 50 kW/m²의 복사열에 10분 동안 노출시켜 착화되는 시간과 착화된 시료로부터 착화시간과 열방출율을 측정하였다. 시험체는 스티로폼 1종



[그림 1] ISO 5660-1 Cone calorimeter 시험장치

<표 1> ISO 5660-1(Cone calorimeter test)시험체 구성

	THK(mm)	Insulation
A	50.0	Glass Wool(48.0kg/m ³)
A'	50.5	Glass Wool Sandwich Panel
B	50.0	EPS(15kg/m ³)
B'	50.0	EPS Sandwich Panel
C	50.0	PIR(50.0kg/m ³)
C'	50.0	PIR Sandwich Panel
D	50.0	PUR(40kg/m ³)
D'	50.0	PUR Sandwich Panel
	THK(mm)	Composition
A	50.0	Glass wool
A'	50.5	Steel Plate 0.5t+A
B	50.0	EPS
B'	50.0	Steel Plate 0.5t+B
C	50.0	polyol(esterpolyol):isocyanate(MDI) + 1:1.6
C'	50.0	Steel Plate 0.5t+C
D	50.0	polyol(ppg):isocyanate(MDI)=1:1
D'	50.0	Steel Plate 0.5t+D

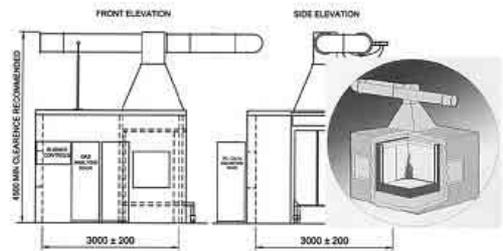
(EPS), 우레탄폼 2종(PIR, PUR), 그라스울 1종 (Glass wool) 및 비교를 위하여 각각의 내부 단열재를 심재 시험체로 선정하였다.

2.2 EN 13823 (Single Burning Item) 시험

EN 13823 SBI 시험은 마감재의 등급분류를 위한 대표적인 시험으로 공간 구석에 위치한 단일 연소물의 연소조건에서 제품의 화재성상 기여도를 측정한다.

발화시간, 화염확산, 화염 용융/입자를 측정하며, 화재성상과 연기에 의한 감소도가 주요 시험결과가 되며 시간경과에 따른 열방출율(HRR), 연기생성비율(SPR), CO₂ 생성비율, 산소 소비비율, 화재성장지수(FIGRA), 연기발생지수(SMOGRA)의 변수가 측정된다. 장치는 주버너·보조버너, 시편이동용 수레, test room내 빌트인 프레임, 가스포집장치, 열량측정 가스분석기, 연기측정 시스템 등으로 구성된다.

시험체는 동일한 두께 100mm로, 스티로폼 1종 (EPS), 우레탄폼 2종(PIR, PUR), 그라스울 1종 (Glass wool)의 4종류이며, 1.5m×1m 및 1.5m×



[그림 2] EN 13823 시험장치 및 주버너(우) 모습

0.5m 2가지 시편이 90도로 맞물리게 된다. 실제 시공과 유사성을 고려하여, 시험체 강판을 마감하는 플렉싱은 약 50cm 간격으로 나사접합을 하며 90도로 접합되는 부분의 내외면은 L자 플렉싱으로 마감, 4종류의 시험체는 모두 동일한 방법으로 시공하였으며 시험체 심재의 밀도와 화학적 구성을 ISO 5660-1의 시험체와 동일하다.

〈표 2〉 EN 13823 시험체 구성

시험체명	두께(mm)	단열재 종류	밀도
A	100	Glass Wool	48kg/m ³
B	100	EPS	15kg/m ³
C	100	PIR	50kg/m ³
D	100	PUR	40kg/m ³

3. 평가 기준

3.1 일본의 내장마감재 화재성능기준

일본 건축기준법에서 불연재료, 준불연재료, 난연재료의 3가지 등급으로 분류하며, 난연성시험에서는 ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험결과로 평가한다.

3.2 NBC(캐나다) 개정안 (건축재료 방화성능 평가)

1992년 ULC 화재위원회는 캐나다 임산연구소에서 검토한 시험방법을 건축재료의 연소성평가 표준시험방법로서 기준화하였으며, 콘칼로리미터를 사용하여 평가한다.

3.3 유럽의 내장마감재 화재성능기준

유럽통합의 흐름에 맞추어 내장재에 대한 화재 안전성 시험방법 및 판정 등급기준 통일하였다. EN 13823으로 시험 규격화되어 샌드위치패널 등 내장재의 화재성장 영향도를 FIGRA(Fire

〈표 3〉 일본 건축기준법에서의 난연 성능 등급분류 기준

Class	Heating condition	Heating time	Criterion
Fire retardancy class 1 (non-combustible)	50 kW/m ²	20 min	· THR ≤ 8 MJ/m ² · PHRR < 200 kW/m ² during 10 secs · No through holes & cracks, which are harmful for the performance of fire protection, are allowed.
Fire retardancy class 2 (Limited combustible)		10 min	
Fire retardancy class 3 (fire retardant)		5 min	

〈표 4〉 NBC(캐나다) 건축재료의 방화성능 평가 기준

class	PHRR (kW/m ²)	THR (MJ/m ²)	Examples
1	≤10	≤5	Ceramics-fiber board
2	≤100	≤25	gypsum board, Glass wool
3	≤150	≤50	난연 ply-wood board
4	≤300	≤100	Wood materials
5	>300	>100	EPS

〈표 5〉 SBI 화재시험(EN 13823) EN 13501-1 난연성능 기준

난연등급	성능분류기준	부가항목
A1	해당없음	해당없음
A2	FIGRA ≤ 120W/s LFS<끝단전파거리 THR600s ≤ 7.5MJ	주1) 연기량에 따른 분류 S ₁ = SMOGRA ≤ 30m ² /s ² 및 TSP600s ≤ 50m ² S ₂ = SMOGRA ≤ 180m ² /s ² 및 TSP600s ≤ 200m ² S ₃ = 기타
B	FIGRA ≤ 120W/s LFS<끝단전파거리 THR600s ≤ 7.5MJ	주2) 불꽃 적하물에 의한 분류
C	FIGRA ≤ 250W/s LFS<끝단전파거리 THR600s ≤ 15MJ	d ₀ = 최초 600초 동안 불꽃 적하물 발생이 없을 것 d ₁ = 최초 600초 동안 10초 이상 지속되는 불꽃 적하물 발생이 없을 것
D	FIGRA ≤ 750W/s	d ₂ = 기타
E	해당없음	해당없음
F	해당없음	해당없음

Growth Rate), 연기발생량을 SMOGRA(Smoke Growth Rate)로써 지수화하여 난연등급에 적용하고 있으며, EN 13501-1 부속서에 분류하고 있다.

4. 시험 결과

4.1 ISO 5660-1 (Cone calorimeter method)

시험결과 및 화재성능 평가

Glass Wool은 심재 및 패널재 모두 착화가 일어

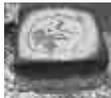
나지 않았으며 수열부로부터 2.5 ~ 3 cm에 달하는 검은 탄화층이 형성되었고 초기 질량과 시험 후 질량과도 질량감소율에도 큰 차이가 없었다.

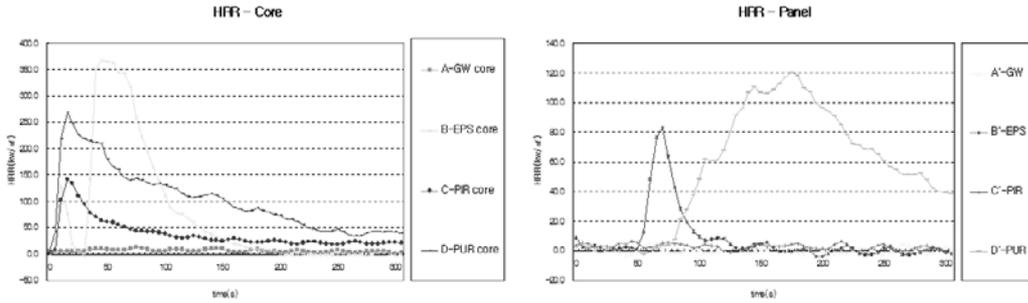
EPS는 심재인 경우 점화와 거의 동시에 착화되었으며, 패널재는 강판의 영향으로 50여초 이후 착화되어, 두 재료 모두 용융되었다.

PUR도 EPS와 비슷한 연소 패턴을 보였으며, 착화에서 폭발적인 스파크 등을 보이며 거의 전소되었다. EPS에 비해 시험내내 연기발생량이 많았으며, 액상잔존물의 점도가 더 높았다.

PIR은 수열부에 1.5 cm의 탄화층이 형성되었으

〈표 6〉 ISO 5660-1 시험전후 시험체 모습

	GW 패널	EPS 패널	PIR 패널	PUR 패널
시험 전				
시험 후				



[그림 3] 각 패널간(우) 및 심재간(좌) 열방출율 비교 그래프

며, 질량감소율이 증가되는 순간이 나타났는데, 이는 PIR의 부피가 증가하여 순간적으로 질량측정 로드셀에 영향을 준 것으로 판단된다. 시험후 표면은 약간의 크랙이 있었으며, 부풀어 오른 것을 볼 수 있다.

Glass Wool, EPS, PIR, PUR 공통적으로 패널재가 심재보다 강판의 영향으로 착화가 지연되는 현상을 볼 수 있었으며, 심재에서와 달리 PUR이 EPS보다 패널재에서는 더 높은 열방출율과 더 오랜 지속시간을 보여주었다.

등급분류결과, Glass Wool은 심재와 패널재 모두 PHRR 값이 200 kW/m² 이하, THR값 또한 8 MJ/m² 이하로 5분 가열시 및 10분 가열시 모두 충족하여 최대2급으로 분류되었다.

EPS의 심재는 PHRR이 369 kW/m², THR이 22.9 MJ/m²로 등급분류 범위를 벗어났다. 패널재의 경우 방화상 유해한 균열 및 흠 생성과 같은 유관관찰 사항을 배제하고 열방출율에 의해서만 분류하자면 3급 및 2급을 충족시킬 수 있었다. 현재 건교부고시에 의한 등급분류에는 유관관찰 사항이 포함되어 있으므로, EPS는 등급외로 규정할 수 있다. PIR 심재는 THR값이 11.4 MJ/m²로 나타나 등급외로 규정되었으며, 패널재는 강판의 영향으로 인해 3급이나 2급으로 분류할 수 있었다. PUR은 패널재 및 심재 모두 과도한 열방출율 발생으로 인해 등급범위 안에 포함시킬 수 없었다.

〈표 7〉 ISO 5660-1 시험결과에 대한 난연성능 평가

단열재	시험체명	PHRR(kW/m ²)	THR(MJ/m ²)	Class	
				Japan	NBC
Glass wool	A (core)	12.9	3.0	3(2)	(2)
	A' (panel)	4.9	0.5	3(2)	(1)
EPS	B (core)	368.2	22.9	Not classified	Not classified
	B' (panel)	83.1	2.4	3(2)	(2)
PIR	C (core)	142.4	11.4	Not classified	(3)
	C' (panel)	6.35	0.7	3(2)	(1)
PUR	D (core)	268.7	31.5	Not classified	(4)
	D' (panel)	120.1	16.5	Not classified	(3)

() 는 10분간 가열시 판정등급.

4.2 EN 13823 (Single Burnig Item) 시험결과 및 화재성능 평가

Single Burning Item 시험결과, EPS > PUR > PIR ≥ Glass wool 의 순서로 내부 심재의 소실 정도가 나타났다. 특히 PUR 은 시험시 연기발생량이 가장 많았으며, 액상으로 변한 심재의 잔존물이 가장 많았다. Glass wool은 탄화층 형성이 두드러지게 관찰되었으며, 버너 공급 열방출을 외에 재료에 의한 열방출율은 보이지 않아 거의 타지 않았다고 판단할 수 있었다.

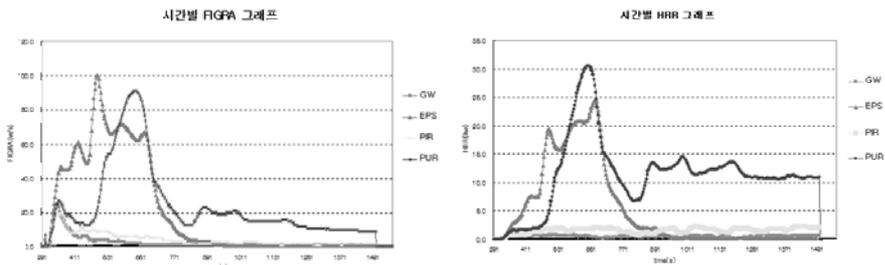
[그림 4]에서, 열방출율(heat release rate)은 SBI 시험시 PUR이 EPS보다 최고 열방출율이 더 높게 나왔음을 알 수 있지만, FIGRA 그래프에서 보면 최대 FIGRA수치가 PUR보다 EPS가 더 높았음을 알 수 있다. 이는 EPS가 PUR보다 같은 시

간에 더 급격한 연소성장 추세를 보인 것으로, 순간 연소성이 4가지 재료중 가장 높은 것으로 판단된다.

SBI 시험의 결과를 EN 13501-1의 등급기준으로 분류해 보면, Glass Wool은 BSiD0, EPS는 BS2D0, PIR는 BSiD0, PUR는 BS3D0 로 결정된다. 즉, 4가지 재료 모두 열방출율은 B등급에 포함되며, 연기발생량은 PUR이 가장 많이 생성되어 S3에 포함되며, Glass Wool과 PIR은 Si의 범주에 들었다. 시험시 적하물은 4가지 재료 모두 없어 D0의 등급으로 나타난 것이다. EN 13501-1에 의한 등급분류는 ISO 5660-1의 등급분류 기준에 비해 연기발생량과 시험시 적하물에 대한 여부가 포함되었음을 알 수 있으나, 샌드위치 패널의 등급분류시 열방출율에 의한 range가 너무 포괄적으로, 현재 전부 B등급으로 산출되었다.

〈표 8〉 EN 13823 시험후 시험체 모습

	GW 패널	EPS 패널	PIR 패널	PUR 패널
시험 후				
				



[그림 4] FIGRA 및 HRR(열방출율) 비교 그래프

〈표 9〉 EN 13823 시험결과에 대한 화재성능 평가

시험체	FIGRA[W/s]	THR600s[MJ]	SMOGRA(m ³ /s ²)	TSP600s[m ³]	Droplets	판정결과 (등급분류)
G.W	25.0	0.4	4.0	0.8	No	BSiDo
EPS	100.0	6.1	35.0	184.4	No	BS2Do
PIR	20.0	0.9	8.0	5.4	No	BSiDo
PUR	94.0	6.6	30.0	216.5	No	BS3Do

4. 결론

- (1) ISO5660-1 시험에서, 패널재에 포함된 강판의 효과가 심재일 때보다 낮은 열방출을 및 착화 지연을 시킨 점을 4가지 재료에서 공통적으로 파악할 수 있으며, 특히 EPS와 PUR은 심재가 모두 응용되었기 때문에 화재시 패널 구조물의 붕괴 위험을 예측하여 대비해야 함을 알 수 있었다.
- (2) ISO 5660-1시험의 최대 열방출율은 Glass wool 패널이 최저, EPS 심재가 최고였으며, 각각의 시험체에 대하여, 5분간 최대열방출율과 10분간 최대열방출율은 동일하였다. 시험체 연소는 5분 이내에 최성기에 도달, 가연물이 초기에 모두 연소되었다. 일본기준에서 시험체 A(GW), A'(GW 패널)는 난연 3급 이상의 성능을 보이며(단열재가 거의 타지 않으므로), 시험체 B'(EPS 패널), 시험체 C'(PIR 패널)는 난연 3급, 나머지 시험체는 난연등급을 벗어났다(열방출율만을 평가항목으로 설정하였을 경우).
- (3) EN 13823에서, 최고치일 때 FIGRA는, EPS(100W/s) > PUR(94W/s) > Glass wool(25W/s) > PIR(20W/s)의 순서로 EPS가 PUR보다 급속한 화재성장 추세를 보였다. 발열량을 기준으로 보면 EPS<PUR이므로 PUR이 더 많은 화재화증을 지닌 것으로 보이나, 이

는 밀도 차이로 인한 것이며, FIGRA로 비교시 EPS가 더 높은 수치인 것을 감안할 때, EPS의 화재확산 속도가 PUR보다 더 급격함을 알 수 있다.

- (4) 밀도 등과 같은 양적개념에 비례하는 열방출율에 비해서, 순간 가속도 개념이 추가된 FIGRA 지수는 시간에 따른 화재성장추세를 잘 반영한 개념으로 판단되며, 이는 앞서 언급한 EPS와 PUR간의 FIGRA곡선으로 증명되고 있으며 향후 화재위험성의 핵심 지표로 고려되어야 한다.

FILK

5. 참고 문헌

1. ISO 5660-1, Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1 : Heat release(Cone calorimeter method), ISO, 2002
2. EN 13823, Reaction to fire tests for building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single item, 2003
3. V. Babrauskas, "Heat release rate in fires", Chapter 4, V. Babrauskas and S. J. Grayson Eds., Elsevier Applied Science, New York, 1992