A-04

샌드위치 패널 연소 특성 비교 분석을 위한 중소형 화재시험(ISO 5660-1 및 EN 13823)적용

박계원, 임홍순, 김운형*
*방재시험연구원, * 경민대학 화재소방학과*

Applying to ISO 5660-1 and EN 13823 fire tests for combustion properties of sandwich panels

Park Kyewon, Im Hongsoon, Kim woonhyung*
*Fire Insurers Laboratories of Korea, * Dept. of Fire ScienceKyungmin College*

1. 서 론

샌드위치패널은 1980년대 중반의 건설현장의 인력난, 자재난으로 건식공법에 대한 수요증가와 간편한 시공성 및 우수한 단열성 등의 장점으로 인해 꾸준히 사용량이 증가되어 왔다. 이러한 샌드위치패널은 양면이 강판구조로 인해 화재시 주수소화에 불리하며, 단열 심재가 고분자물질로 되어있어 유독성 가스등이 다량 발생하며, 내력벽으로서의 미흡한 성능으로 인해 피난에 위험을 초래하는 등 다각적인 화재 위험성을 가지고 있다. 국내에서는 샌드위치패널의 화재성능 평가방법으로 KS F 2271 시험방법을 보완하여, ISO 5660-1(Cone Calorimeter Method) 시험방법을 KS로 부합화 하였다.

본 연구에서는 ISO 5660 (Cone Calorimeter Method) 시험방법과 중형시편에 대한 유럽기준인 EN 13823(Single burning item) 시험방법에서의 샌드위치패널 연소특성을 비교 검토하기 위하여 시험을 실시하였다. 국내 4종의 샌드위치패널과 강판을 제거한 단열재를 시험체로 선택하였으며, 시험후 착화시간, 질량손실, 열방출율, 연기발생율, 산소농도 등 여러 요인들에 대하여 검토하였다. 시험결과는 단열재별, 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(미국 ATLAS사, Model : CONE 2A)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.

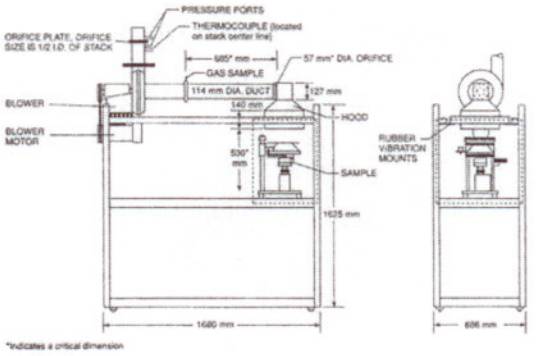


그림 1. ISO 5660-1 Cone calorimeter 시험장치

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

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

	THK (㎜)	Insulation	Composition
A	50.0	Glass Wool (48.0 kg/m³)	Glass wool
A′	50.5	Glass Wool Sandwich Panel	Steel Plate 0.5t+A
B	50.0	EPS (15 kg/m³)	EPS
B′	50.0	EPS Sandwich Panel	Steel Plate 0.5t+B
C	50.0	PIR (50.0 kg/m³)	polyol (esterpolyol) : isocyanate (MDI) =1:1.6
C′	50.0	PIR Sandwich Panel	Steel Plate 0.5t+C
D	50.0	PUR (40 kg/m³)	polyol (ppg) : isocyanate (MDI) =1:1
D′	50.0	PUR Sandwich Panel	Steel Plate 0.5t+D

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.

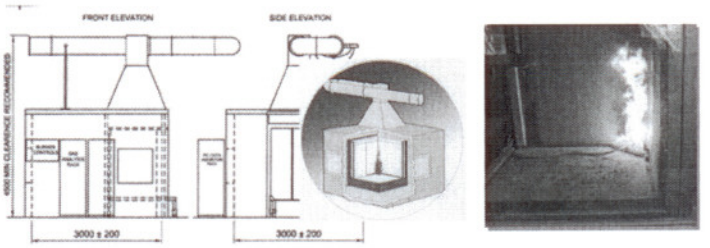


그림 2. EN 13823 시험장치 및 주버너(우) 모습

발화시간, 화염확산, 화염 용융/입자를 측정하며, 화재성상과 연기에 의한 감쇠도가 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 100 mm로, 스티로폼 1종(EPS), 우레탄폼 2종(PIR, PUR), 그라스울 1종(Glass wool)의 4종류이며, 1.5 m×1 m 및 1.5 m×0.5 m 2가지 시편이 90도로 맞물리게 된다. 실제 시공과 유사성을 고려하여, 시험체 강판을 마감하는 플랙싱은 약 50 cm 간격으로 나사접합을 하며 90도로 접합되는 부분의 내외면은 L자 플랙싱으로 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	48 kg/㎥
B	100	EPS	15 kg/㎥
C	100	PIR	50 kg/㎥
D	100	PUR	40 kg/㎥

3. 평가 기준

3.1 일본의 내장마감재 화재성능기준

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

표 3. 일본 건축기준법에서의 난연 성능 등급분류 기준

Class	Heating condition	Heating time	Criterion
Fire retardancy class 1 (non-combustible)	50 kW/㎡	20 min	▫ THR ≤ 8 MJ/㎥ ▫ PHRR < 200 kW/㎡ 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	

3.2 NBC(캐나다) 개정안 (건축재료 방화성능 평가)

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

표 4. NBC(캐나다) 건축재료의 방화성능 평가 기준

class	PHRR (kW/㎡)	THR (MJ/㎡)	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

3.3 유럽의 내장마감재 화재성능기준

유럽통합의 흐름에 맞추어 내장재에 대한 화재안전성 시험방법 및 판정 등급기준 통일하였다. EN 13823으로 시험 규격화되어 샌드위치패널 등 내장재의 화재성장 영향도를 FIGRA(Fire Growth Rate), 연기발생량을 SMOGRA(Smoke Growth Rate)로써 지수화하여 난연등급에 적용하고 있으며, EN 13501-1 부속서에 분류하고 있다.

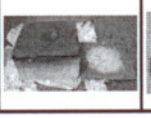
표 5. SBI 화재시험(EN 13823)에 의한 EN 13501-1 난연성능 기준

난연등급	성능분류기준	부가항목
A1	해당없음	해당없음
A2	FIGRA ≤ 120W/s LFS 〈 끝단전파거리 THR600s ≤ 7.5MJ	주1) 연기량에 따른 분류 S1 = SMOGRA ≤ 30 m2/s2 및 TSP600s ≤ 50㎡ S2 = SMOGRA ≤ 180 m2/s2 및 TSP600s ≤ 200㎡ S3 = 기타 주2) 불꽃 적하물에 의한 분류 d0 = 최초 600초 동안 불꽃 적하물 발생이 없을 것 d1 = 최초 600초 동안 10초 이상 지속되는 불꽃 적하물 발생이 없을 것 d2 = 기타
B	FIGRA ≤ 120W/s LFS 〈 끝단전파거리 THR600s ≤ 7.5MJ	
C	FIGRA ≤250W/s LFS 〈 끝단전파거리 THR600s ≤ 15MJ	
D	FIGRA ≤750W/s	
E	해당없음	해당없음
F	해당없음	해당없음

3. 시험 결과

3.1 ISO 5660-1 (Cone calorimeter method) 시험결과 및 화재성능 평가

표 6. ISO 5660-1 시험전후 시험체 모습

	GW 패널	EPS 패널	PIR 패널	PUR 패널	
시험전					◦ GW(심재,패널)는 수열부에 3cm 탄화층형성 및 외관변화 경미 ◦ EPS(심재,패널)는 내부심부 전소 ◦ PUR은 EPS와 비슷하나 부스러진재 잔존 ◦ PIR은 수열부에 1.5cm의 탄화층 형성및 외관변화 경미
시험후					

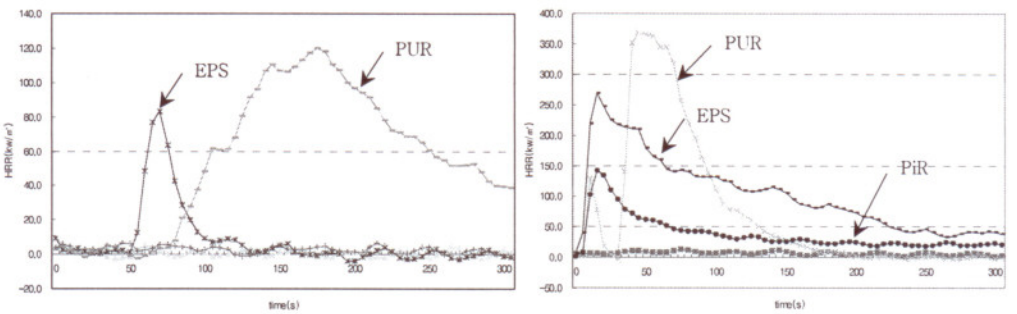


그림 3. 각 패널간(좌) 및 심재간(우) 열방출율 비교 그래프

표 7. ISO 5660-1 시험결과에 대한 난연성능 평가

단열재	시험체명	PHRR(kW/㎡)	THR(MJ/㎡)	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.

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

표 8. EN 13823 시험후 시험체 모습

	GW 패널	EPS 패널	PIR 패널	PUR 패널	
시험후					▫ 패널 내부 심재 소실 정도 EPS 〉 PUR 〉 PIR ≥ Glass wool ▫ 패널 내부 심재 탄화채색 정도 EPS 〉 PUR 〉 PIR ≥ Glass wool

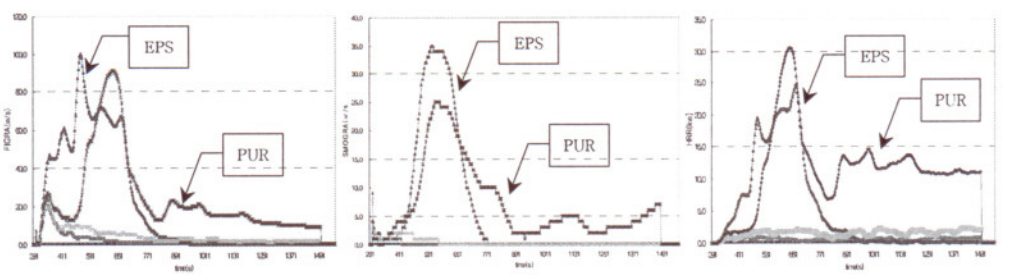


그림 4. FIGRA 그래프(좌), SMOGRA 그래프(중), HRR 그래프(우)

표 9. EN 13823 시험결과에 대한 화재성능 평가

시험체	FIGRA [w/s]	THR600s [MJ]	SMOGRA [㎡/s²]	TSP600s [㎡]	Droplets	판정결과 (등급분류)
G.W	25.0	0.4	4.0	0.8	No	BS_1D_0
EPS	100.0	6.1	35.0	184.4	No	BS_2D_0
PIR	20.0	0.9	8.0	5.4	No	BS_1D_0
PUR	94.0	6.6	30.0	216.5	No	BS_2D_0

4. 결 론

(1) ISO 5660-1시험의 최대 열방출율은 Glass wool 패널이 최저, EPS 심재가 최고였으며, 각각의 시험체에 대하여, 5분간 최대열방출율과 10분간 최대열방출율은 동일하였다. 시험체연소는 5분 이내에 최성기에 도달, 가연물이 초기에 모두 연소되었다. 일본기준에서 시험체 A(GW), A′(GW 패널I)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).

(2) EN 13823에서, 최고치일 때 FIGRA는, EPS(100 w/s) > PUR(94 w/s) > Glass wool(25 w/s) > PIR(20 w/s)의 순서로 EPS가 PUR보다 급속한 화재성장 추세를 보였다. 발열량을 기준으로 보면 EPS<PUR이므로 PUR이 더 많은 화재화중을 지닌 것으로 보이나, 이는 밀도 차이로 인한 것이며, FIGRA로 비교시 EPS가 더 높은 수치인 것을 감안할 때, EPS의 화재확산 속도가 PUR보다 더 급격함을 알 수 있다.

(3) ISO 5660-1의 주된 평가기준인 Heat release rate은 밀도 등과 같은 양적개념에 비례하는 지표임에 반해, EN 13823에서의 순간 가속도 개념이 추가된 FIGRA지수는 시간에 따른 화재성장추세를 잘 반영한 개념으로, 이는 앞서 언급한 EPS와 PUR간의 FIGRA곡선으로 증명되고 있으며 향후 화재위험성의 핵심 지표로 고려되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 산업자원부 표준기술력향상사업 과제(샌드위치 패널 화재 성능 분류기준 개발) 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. ISO 5660-1, Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1 : Heat relase(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", Chapeter 4, V. Babrauskas and S. J. Grayson Eds., Elsevier Applied Science, New York, 1992