

B-06

**샌드위치 패널 연소특성 분석을 위한 실대규모
화재시험(ISO 13784-1) 적용**

**Applying to ISO 13784-1 fire tests for analyzing
the combustion properties of sandwich panel systems**

임홍순* · 박계원** · 정재균* · 이길용** · 김정욱** · 정정호** · 이우석** · 김운형***
Im, Hong Soon* · Park, Kye Won** · Jeong, Jae Gun* · Lee, Gil Yong** · Kim, Jeong Uk**
· Jeong, Jeong Ho** · Lee, Woo Seok** · Kim, Woon Hyung***

Abstract

The combustion properties of sandwich panels were tested according to ISO 13784-1(Room Corner Test for Sandwich panel building systems) method to supplement ISO 9705 Room corner test, and analyzed comparatively. Several variables including heat release rate, smoke production rate, FIGRA, SMOGRA, thermal configuration, visual check lists and so on, were analyzed for four materials on sandwich panel systems. Finally, Fire performances of test results on each material by ISO 13784-1 are categorized by applying to the classification system of both EN 13501-1 and Eurefic research program

key words : ISO 13784, ISO 9705, FIGRA, SMOGRA, EN 13501-1, Eurefic research program

1. 서론

본 연구에서는 ISO 9705(Room Corner test)에 의한 샌드위치 패널 화재 시험방법을 보완한 ISO 13784-1(Room Corner Test for Sandwich panel building systems) 시험방법을 적용하여 샌드위치 패널 연소특성을 분석하였다. 4종의 샌드위치패널을 시험체로 선택하였으며, 시험 후 열방출율, 연기발생율, FIGRA, SMOGRA 결과값을 중심으로 각 패널의 연소 화재성능을 분석하였으며, 최종적으로 유럽 Eurefic Research program과 EN 13501-1에서 제시하는 분류기준에 적용하여 등급분류를 시도하였다.

2. 시험 구성

2.1 시험 개요

ISO 13784-1 샌드위치 패널 화재시험은 ISO 9705 시험방법을 모태로 하며, 샌드위치 패널을 조립하여 구성한 소형실(2.4 m × 2.4 m × 3.6 m)에 대하여 내부 한 모서리에 직접 불꽃을 노출시켰을 때, 샌드위치 패널 조립체의 화재성능을 시험하며, 구조물의 플래시오버까지의 화재성장에 대한 기여도, 내부화재가 외부공간 또는 인접건물로 전파될 잠재적 가능성, 구조물 붕괴의 가능성, 시험실 내부에서의 화재가스 및 연기의 발생과 같은 화재위험을 평가한다.

2.2 측정 원리

1개의 개방된 출입구를 가진 실내부에 설치된 내장 마감재의 연소생성물이 개구부를 통해 분출되면, 외부의 배기후드장치에서 배기가스를 포집하여 O₂, CO₂량을 분석하여 각 기체 물질유에 따른 산소감소율을 계측

* 방재시험연구원 책임연구원 · Hsim60@yahoo.co.kr
** 방재시험연구원 연구원
*** 경민대학 소방학부 교수

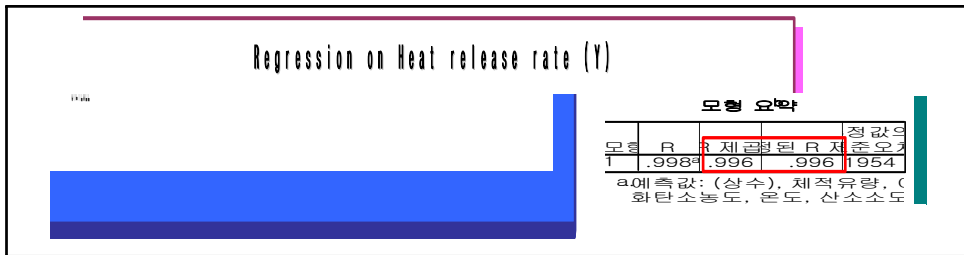
하여 열방출율(HRR)을 산정하며, 전체의 열방출율에서 점화원의 열방출율을 제거한 순수한 샌드위치 패널 조립체의 연소시 발생하는 열방출율(표1)을 산정하게 된다.

표 1. Heat release rate 산출

$\phi_s = q_{h,s} qv_{298} X_{O_2}^0 \left[\frac{Y}{Y(\alpha-1)+1} \right] - \frac{q_{h,s}}{q_{C_3H_8}} \phi_b$ <p style="text-align: center;">Heat release rate (ϕ_s)</p>	ϕ_s 시험체 열방출율
	ϕ_b 버너 열량
	$q_{h,s}$ 시험체의 연소량, $17.2 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ (25°C)
	$q_{C_3H_8}$ 프로판의 연소량, $16.8 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ (25°C)
	qv_{298} 25°C, 대기압 상태에서 계산된 배기 덕트 내 가스의 배기유량($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
	α 팽창 계수; (시험체 연소시 $\alpha = 1,105$)
	$X_{O_2}^0$ 산소 분석기의 초기 몰분율(mole fraction)
	Y 산소소모지수

참고로 본 연구 시험 데이터를 통해 회귀분석 결과(표2), ISO 13784-1은 산소 소모율이 열방출율 산정에 핵심이 되는 환기지배형 화재시험법을 알 수 있다.

표 2. Heat release rate에 대한 regression analysis



2.3 시험방법 및 시험체 구성

Propane gas 버너를 통해 시험의 처음 10분 동안 100 kW으로, 다음 10분 동안에는 300 kW으로 가열하며 나머지 10분간은 가열없이 유관관찰 후 종료하게 된다. 시험 중 Flashover 발생시(Heat release rate 1000 kW 도달 기준) 또한 시험을 종료하게 된다. 교정시험은 후드 아래에 1.2 m 위치한 버너로 프로판가스를 해당 규정열량에 맞는 유량을 투입한 후, 점화하여 발생한 연소가스를 후드에서 포집하고 측정 덕트에서 측정된 가스분석에 의해 산출된 열방출율과 비교 확인하는 절차에 따라 실시한다.

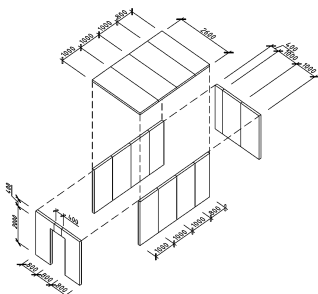


그림 1. 시험체 조립도(좌) 및 실제 시공모습 (우)

시험체는 구조 재료와 연결부, 고정부 등 실제 현장 제작기법을 반영하여 골조 없이 제작된 자립형(free standing)으로 제작하였으며 동일한 두께 100 mm로, 스티로폼 1종(EPS), 우레탄폼 2종(PIR, PUR), 그라스울 1종(Glass wool) 4종류에 대해 각각 1회씩 시험 실시하였다.

표 3. ISO 13784-1 시험체 종류별 구성

시험체명	두께(mm)	단열재종류	설치형태
GW	100	Glass wool(48 kg/m ³)	자립형
EPS	100	EPS(15 kg/m ³)	자립형
PIR	100	PIR(50 kg/m ³)	자립형
PUR	100	PUR(40 kg/m ³)	자립형

3. 평가 기준

3.1 Eufefic research Program

스웨덴, 덴마크, 미국, 일본 등 8개국의 12개 연구소가 참여한 Eufefic Research Program은 유럽에서 적용할 수 있는 건축 재료의 화재위험 평가를 위한 ISO 기준제정을 목적으로 시도된 대규모 연구 프로젝트로, 화재시험을 통한 내장재의 분류기준(표4)을 제안하였다.

표 4. Eufefic Research Program에서 도출된 ISO 9705 화재 성능 등급분류 기준

분류	Flashover 시간(분)	열방출율(Heat Release Rate)			연기발생량(Smoke Production Rate)		a. 버너열량제외 b. 버너열량포함
		최대값 ^a (kW)	최대값 ^b (kW)	평균값 ^a (kW)	최대값(m ² /s)	평균값(m ² /s)	
A	20이상	300	600	50	10	3	
B	20이상	700	1000	100	70	5	
C	12이상	700	1000	100	70	5	
D	10이상	900	1000	100	70	5	
E	2이상	900	1000	-	70	-	

3.2 EN 13501-1

Euroclass로 통용되는 EN 13501-1(Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests)은 실제 시공시 마감이나 시공 상태에 따라 화재성능 변화를 인정하여, 실공법 상태의 화재성능을 A₁, A₂, B, C, D, E, F의 7가지 등급으로 분류하였으며, 본 연구에서는 이를 바탕으로 FIGRA(Fire Growth Rate, W/s) 수치를 분석하였다. FIGRA 0.6 kW/s는 Flashover의 발생 Critical value가 되며, 본 방재시험연구원 시험의 시험데이터 분석결과 이 수치를 지지하는 것으로 나타났다.

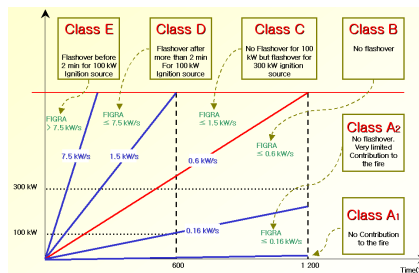


그림 2. Euroclass의 FIGRA 분석 그래프

4. 시험 결과 및 화재 성능 분류 평가



그림 3. ISO 13784-1 시험 결과 모습

4.1 Heat Release rate 및 Smoke production rate 분석결과

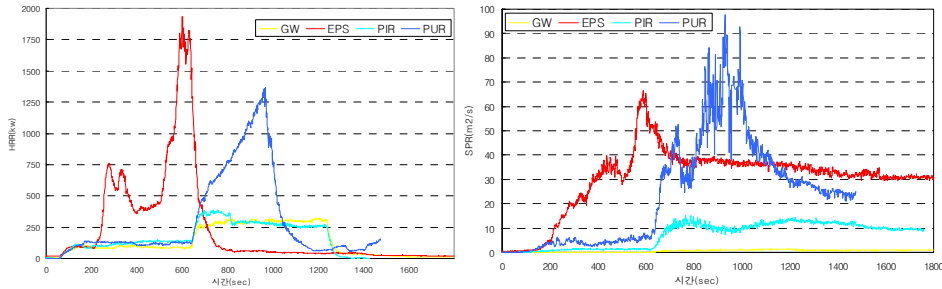


그림 4 Heat release rate 그래프(좌) 및 Smoke production rate 그래프(우)

- EPS의 경우 9분 24초, PUR의 경우 14분 37초에 플래시오버가 발생하였고 다른 종류의 시험체는 플래시오버 미발생.
- 플래시오버가 일어난 시험체의 연기발생율에 있어서, EPS는 9분 24초 경과시 최고 59.81 m²/s, PUR은 14분 37초 경과시 최고 68.47 m²/s의 최대 연기발생율을 보임.
- 이로 미루어 볼 때, EPS의 경우는 버너 열출력이 100 kW인 10분내에 폭발적으로 반응하여 플래시오버 순간까지 급격하게 연소됨.
- PUR의 경우에는 EPS에 비하여 다소 천천히 반응하다가 버너 열출력이 300 kW로 증가된 순간부터 급격히 연소되어 플래시오버가 발생

4.2 FIGRA 및 SMOGRA 분석결과

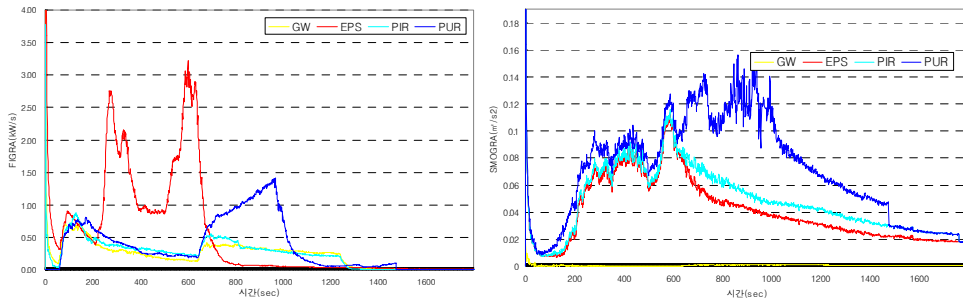


그림 5 FIGRA 그래프(좌) 및 SMOGRA 그래프(우)

- EPS>PUR>PIR>Glass Wool 의 순서로 FIGRA 정도가 나타났으며, Flashover 판정순간 EPS와 PUR 모두 다른 시험체와 확연한 화재성장추이를 보임.
- EPS는 10분이전에 두 번의 화재성장추이를 보인데 반해, PUR은 300 kW 가열이후 급격한 화재성장폭발력을 보여줌.
- 10분을 기준으로 볼 때, 10분 이전에는 EPS, PIR의 SMOGRA 수치가 유사하게 나타났으며, 10분 이후 PUR의 Flashover 발생이 시작되면서 PUR은 지속적으로 대량의 연기성장 지수를 보임.
- Glass wool은 FIGRA 및 SMOGRA 모두에서 거의 일정한 기울기를 나타냄.

4.3 화재성능 분류평가

- Eufefic research program으로 평가시, Glass wool은 A등급, 나머지 재료는 모두 E등급으로 분류되어 EPS, PIR, PUR은 동일군으로 평가됨.
- FIGRA를 기준으로 한 EN 13501-1로 평가시, Glass wool과 PIR은 B등급, PUR은 C등급, EPS는 D등급으로 분류됨.

표 5. ISO 13784-1 화재성능 분류평가

시험체구분	열방출율 (HRR) (kW)	플래시오버 발생시간	FIGRA (kW/s)	연기발생율 (SPR) (m ³ /s)	Eurefic 등급분류	EN 13501-1 등급분류 (FIGRA 기준)
GW	324	NO. FO	0.27	1.5	A	B
EPS	≥1000	9:24	1.77	59.81	E	D
PIR	387	NO. FO	0.56	15.01	E	B
PUR	≥1000	14:37	1.15	68.47	E	C

5. 결 론

- (1) 밀도 등과 같은 양적개념에 비례하는 열방출율에 비해서, 특정 시점에서의 순간 가속도 개념을 적용시킨 FIGRA지수는 시간에 따른 화재성장추세를 반영한 것으로, 실물화재 시험에서 등급분류의 기준이 되는 Flashover의 발생을 예측하고 판단하는 기준이 됨을 알 수 있었다. EN 13501-1에 실물화재시험의 Euroclass(FIGRA 기준)에서는 FIGRA 0.6 kW/s 이상일 경우 Flashover 발생경향을 높음을 전제하는데, 본 연구에서 시험한 ISO 13784-1 실물화재시험의 EPS 및 PUR 샌드위치 패널 구조는, 각각 FIGRA_{EPS}=1.77, FIGRA_{PUR}=1.15로서 Flashover가 발생하였으며, 따라서 이 전제를 지지하고 있다.
- (2) Eufefic research program의 등급분류기준에는 smoke production rate에 대한 기준이 포함되어 있어 EPS, PIR, PUR이 동일한 등급으로 분류가 되었으며, FIGRA를 기준으로 분류한 EN 13501-1의 분류에서는 재료간 차등있는 분류가 이루어졌다. 화재시 연기발생은 재실자의 피난을 위한 가시성 확보 및 흡입시 인체에 심각한 영향을 주기 때문에 추후 SMOGRA 등의 연기요인이 반영한 FIGRA 등급분류 기준을 구축하려는 시도가 필요하다.
- (3) 중형시험 시험인 EN 13823 시험 및 현재 국내 시행중인 ISO 5660-1은 샌드위치 패널의 강판특성에 의한 구조물 붕괴 등의 영향 반응이 안되며, 환기배형 화재에 의한 Flashover 예측이 어려우므로 샌드위치 패널에 의한 등급분류는 유럽 등 선진국과 같이 실물화재 시험인 ISO 13784-1 또는 Room Corner Test를 Reference 시험으로 시도되어야 하며, 향후 많은 데이터 베이스 확보를 통해 국내 실정에 적합한 등급분류를 갖출 수 있도록 해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 표준기술력향상사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. ISO 13784-1, Reaction to fire tests for sandwich panel building systems-Part 1:Test method for small rooms, ISO, 2002
2. V. Babrauskas, "Heat release rate in fires", Chapter 4, V. Babrauskas and S. J. Grayson Eds., Elsevier Applied Science, New York, 1992
3. 건축용 바닥재 및 샌드위치패널의 화재안전성 평가방법 표준화 기술개발에 관한 연구, 방재시험연구원, 2003