

샌드위치 패널 난연성 시험 및 등급방법의 문제점 및 현황

임홍순/ 품질인증팀 책임연구원

1. 머리말

샌드위치패널은 단열재 양면에 얇은 철판(약0.4mm두께)를 붙인 건축자재로서 우리나라의 70~90년대 급속한 경제성장기에 값싸고 시공이 간편한 경제적인 산업재의 역할을 하여 왔다. 그러나 샌드위치패널 화재시 가연성 단열재로 인한 인명 및 재산 손실에 따라 사용규제 및 제도적 보완이 반복되어 왔다. 현재 샌드위치패널은 KS F4724(건축용 철강제 벽판), KS F4731(건축용 철강제 지붕판)에 제품규격으로 생산되고 있으며, 단열재로서는 글라스울,스티로폼,우레탄폼 등이 사용되고 있다.

선진국의 소방관서나 화재보험회사에서는 가연성 단열재를 포함한 샌드위치패널에 대한 화재위험성을 평가할 수 있는 기존 난연성 시험방법에 대하여 문제점을 꾸준히 지적하여 왔다. 특히 샌드위치패널은 실제 화재시 재료적 특성과 구조적 특성에 따라 다르게 나타나므로 이러한 특성들을 반영하는 실물화재시험으로서 ISO 9705의 룸화재시험(Room Corner Test)과 유럽 EN 13823의 코너월화재시험(Corner wall Test; SBI)이 실시되어 왔으며, 2000년에는 스웨덴 국립연구소(SP)등에서 샌드위치패널의 화재안전성을 합리적으로 평가하기 위한 시험방법을 연구가 이루어져, 이를 바탕으로 2002년에 기존 실물 화재시험방법인 ISO 9705의 룸화재시험을 개선한 샌드위치패널 화재시험방법인 ISO 13784-1이 국제 규격으로 제정되었다.

샌드위치패널의 실물화재시험을 통한 난연등급 분류방법에 대한 연구의 움직임은 1995년 호주에서 유럽 주요국가와 공동프로젝트에 의해 시작되어 일부 난연성 등급분류방법이 제시되었으며, 패널구조와 같은 실물화재시험에 적용 가능한 규격으로서는 2002년 유럽규격인 EN 13501-1에 난연성 등급분류기준이 제정되었다. 이후 다양한 연구가 지속되어 좀더 개선된 2007년 스웨덴 국립화재연구소(SP)의 “THE FIGRA-INDEX(Björn Sundström)” 논문에서 화재성장지수(Fire Growth Rate; FIGRA)를 이용한 새로운 난연성 등급분류방법이 나와 있는 상태이다.

우리나라에서는 샌드위치패널의 난연성능 평가를 위해 KS F ISO 5660-1(내장재 연소성능시험 - 열방출율)을 적용하고 있으나 이 시험방법은 소형시편(10cmx10cm)에 의한 시험방법으로서, 샌드위치패널과 같은 두꺼운 재료 특히 샌드위치패널과 같은 복합된 재료는 실제 화재 위험을 충분히 반영하는 데는 일부 문제점을 안고 있다.

이에 방재시험연구원에서는 2003년 국내 처음으로 샌드위치패널 실물화재시험 연구를 실시하여, 2MW규모의 실물화재 시험연구시설을 구축하고, 시험방법에 대한 국가 표준화 연구를 수행하였고, 최근 2007년부터 2009년까지 샌드위치패널 난연등급

분류방법에 대하여 국가 표준화과제를 수행하고 있다.

본 기고에서는 가연성 단열재를 포함하는 샌드위치패널에 대한 선진국의 화재안전성 시험방법 및 난연성등급 방법에 대한 특징 및 문제점 등을 소개함으로써, 우리 사회의 막연한 화재위험 의식을 불식하고, 근본적인 샌드위치패널의 화재 안전성 대책에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 시험방법

2.1. 소형시험에 의한 난연성 시험(KS F ISO 5660-1)

KS F ISO 5660-1 (Cone Calorimeter Test)에 규정되어 있으며, [그림 1] 및 <표 1>과 같이 건축 내장마감재 등의 소형시험(10cm×10cm)에 의해 연소시 열방출율을 측정한다. 재료의 열방출 특성을 연소생성물 흐름 속의 산소농도와 유속으로부터 유도된 산소소비량을 측정하여 평가하는 소형 시험체에 대한 시험으로 재료 및 제품의 열방출 비율(Heat Release Rate), 유효 연소열(Effective Heat of Combustion), 질량감소율(Mass Loss Rate)등과 같은 항목들을 측정할 수 있다. KS F ISO 5660-1 시험방법은 연소시 열방출율은 재료의 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점에 기초를 두고 있다. 즉, 연소시 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출된다는 관계가 성립한다. 규정된 외부 복사열을 받는 동안 시험체는 주위 공기조건에서 연소하며, 이때 산소농도와 배출가스 유량을 측정하여 열방출율로 환산한다. 이러한 방법으로, 재료 또는 제품이 화재에 노출되는 동안 열방출율을 평가한다.

이 시험방법은 샌드위치패널에 적용시 표면강판의 영향으로 결과 재현성이 상대적으로 떨어질 수 있으며, 열방출율 값으로만 비교되어 내부 급속한 연소정도를 반영하지 못한다(예로서 일반적으로 비중이 낮은 단열재는 급속히 연소 또는 열변형되나 열방출율은 극히 적은 경향이 있음).



[그림1] 콘칼로리미터 시험장치 (ISO 5660-1)

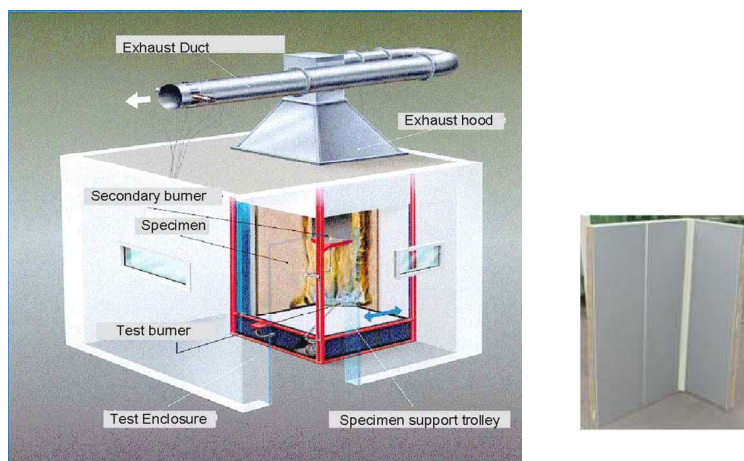
<표 1> 콘칼로리미터 시험장치(ISO5660-1) 세부내용

본 체	가열로 상부에 집연 후드와 배연 덕트를 사용하여 도중에 가스 샘플링과 오리피스를 사용하여 배출유량 측정
시험 체	약 100mm 정사각형 3개
화 원	원추형히터, 상부 80mm, 하부 197mm, 가열강도 10~100kW/m ² 시험체 중앙에 위치한 스파크 5kV
측정방법	산소농도와 질량유속으로 산소소비량을 산정하여 방출열량을 구한다. 착화한 시점에서 총발열량을 구한다.
평가방법	최고발열량, 착화 후의 3, 5분간의 평균발열량, 착화시간 등
기 타	중량감소, 연기농도, CO ₂ , CO 등을 구할 수 있다.

2.2 유럽 코너월(Corner wall) 실물화재시험

EN 13823 (Single Burning Item ; SBI)에 규정되어 있으며, [그림 2] 및 <표 2>에 서와 같이 유럽에서 일반 내장재 마감재의 등급분류를 위한 시험으로 실 모서리벽(코너월)에 위치한 마감재의 실물 화재성장 기여도(Fire Growth Rate; FIGRA)를 측정하는 것이다. 이 시험을 통하여 발화시간, 화염확산, 화염 용융/입자가 측정된다. ISO 9705와 동일하게 화재성장도와 연기발생율이 주요 시험결과가 되며 시간경과에 따른 열방출율(HRR), 연기생성비율(SPR), CO₂ 생성비율, 산소소비비율의 변수가 측정된다.

이 시험방법의 문제점으로서 “샌드위치 패널 등과 같은 복합재료는 철판의 기계적 특성이 화재성상에 영향주기 때문에 EN 13823의 SBI(Single Burning Item)화재시험은 적정하지 않다”고 유럽 연구자료에서는 보고하고 있다.



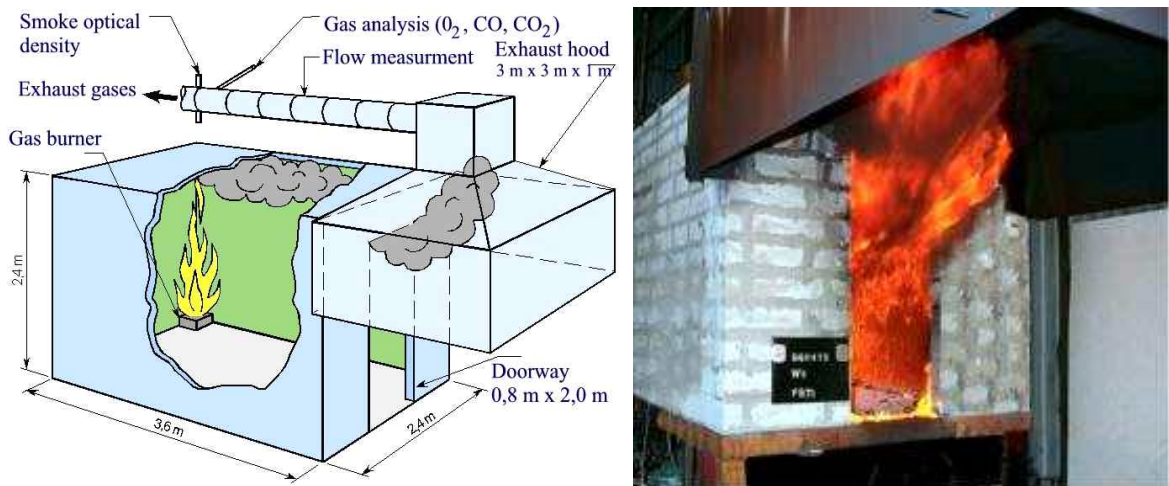
[그림 2] 유럽 코너월(Corner wall; SBI) 실물화재시험장치

<표 2> 유럽 코너월(SBI) 실물화재시험장치 세부내용

본 체	3번 시험을 위한 시편, 각 시험마다 크기가 다른 2개의 시편, 시편 0.5m×1.5m, 1.0m×1.5m이 필요하다. 시험공간은 3.0m×3.0m×2.4m (길이×폭×높이)
설치시편	수직으로 구성에 설치된다.
화 원	공간 구석에 위치한 30kW 가스버너 사용
시험시간	20분
비 고	등급분류는 FIGRA, THR _{600s} , 최대 화염확산을 기준하여 결정된다. 부가적인 등급분류기준으로 SMOGRA(연기발생율), TSP _{600s} , 용융/입자가 적용된다.

2.3 내장마감구조의 룸코너(Room Corner) 실물화재시험

ISO 9705 (Room Corner Test)에 규정되어 있으며, [그림 3] 및 <표 3>에서와 같이 실내 내부공간에 마감재를 붙여 연소 성상을 측정하는 실물 화재시험방법이다. 평가 시 주된 요소는 플래시오버(FlashOver)의 발생여부 및 도달시간이다. 시험결과에는 시간경과에 따른 화재성상의 직접 측정값인 열방출율(HRR)과 연기에 의한 감쇠도(연기 발생율, SPR)등 다음의 변수가 포함된다.



[그림 3] 룸코너 실물화재시험장치

<표 3> 룸코너(Room Corner) 실물화재시험장치 세부내용

본 체	문이 설치되는 벽을 제외한 벽과 천장에 3개의 시편을 부착. 시편은 실내의 마감재로 부착됨. 시험공간 크기 - 2.4m × 2.4m × 3.6m. 개구부 크기 - 0.8m × 2.0m
화 원	점화원으로 프로판 가스버너가 공간의 한쪽 구석에 설치되며, 버너의 출력은 최초 10분간은 100kW, 이후 10분간은 300kW
시험시간	20분 또는 플래시오버 발생지점까지
평가방법	공간의 열방출비율이 1,000kW에 도달하면 화염이 개구부로 분출되는 플래시오버로 판단함
기 타	연기층의 온도, 화염확산, 복사플럭스, CO, CO ₂ , 산소 감소 등 공간화재에 관련되는 많은 변수들을 측정할 수 있다.

이 시험방법은 일반적인 실내에 마감되는 내장재의 화재위험을 잘 반영하나, 샌드위치패널과 같이 자립 구조체인 경우는 한정된 공간에 실제 설치구조를 똑같이 재현할 수 없어 적용상 문제점을 안고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 샌드위치패널의 난연성시험방법인 ISO 13784-1(2002)을 제정하는 계기가 되었다.

2.4 ISO(국제표준) 샌드위치패널구조 실물화재시험

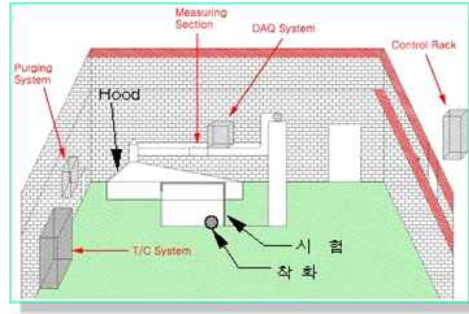
이 시험방법은 ISO 13784-1(샌드위치패널 화재시험방법)로서 2002년 국제표준화 된 것으로 샌드위치 패널에 대한 화재특성을 파악하기 위해 제정되었으며, 샌드위치패널 실물구조로 실모형을 만들어 실내 한 모서리에서 화재를 일으켜 연소 확대시의 열방출량을 측정하게 된다.

화재시험 장치구성은 [그림 4]와 같이 샌드위치패널 실물구조 시험체를 연소시킬 때 발생하는 배출가스 포집을 위한 후드와 덕트로 구성된 포집장치와 가스분석기, 데이터정치로 구성되며, 배기가스중 O₂, CO₂ 가스량을 측정하여 산소저감량에 따른 열량비(13.1kJ/kg_O₂)를 곱하여 화재 방출열량을 계산하며, 연기량 및 독성가스 등도 측정할 수 있다.

이 시험방법은 패널 시스템의 결합부분과 구조물의 개구부에서 발생하는 모든 연기와 뜨거운 가스를 포집할 수 있고, 화재 진행과정(결합부를 통한 불꽃 관찰이 가능한)을 관찰할 수 있어 샌드위치패널의 복잡한 화재특성을 용이하게 파악할 수 있는 장점이 있다.



(a) 시험장치 전경



(b) 장치 개요

[그림 4] ISO샌드위치패널구조 실물화재시험장치

3. 난연성 등급 방법

3.1 호주의 난연성 등급방법

1995년 호주가 주관하고 스웨덴, 덴마크, 미국, 일본 등 8개국의 12개 연구소가 참여한 공동 연구인 Fire Code Reform Research Program이 실시되어 건축 재료의 화재 위험 평가를 위한 ISO 기준제정을 목적으로 ISO 9705(Room Corner Test) 실물화재 시험을 통한 난연성 등급기준이 제안되었다.

주요 특징으로서 <표 4>와 같이 실제 건물화재에서 위험특성인 플래시오버 발생시간과 열방출율, 연기발생량에 따라 등급을 정한다.

<표 4> 실물화재시험(ISO 9705)을 통한 호주 난연성 등급기준안

분류	플래시오버 시간(분)	열방출율(Heat Release Rate)			연기발생량(Smoke Production Rate)	
		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	-

a. 버너열량제외 b. 버너열량포함

<Ref.> Recent Approaches to Regulating the Fire Performance of Materials In Building)

3.2 유럽 실물화재시험을 통한 EN 13501-1 난연성 등급방법

EN 13501-1에서는 건축재료의 화재성능을 A₁, A₂, B, C, D, E, F의 7가지 등급으로 분류하고 있다. 그리고 실제 시공되었을 때 마감이나 시공 상태에 따라 화재성능이 다를 수 있다는 것을 인정하여, 건축재료의 실제 시공 상태에서의 화재성능을 코너월(EN 13823(Single Burning Item; SBI)) 및 실모형(ISO 9705) 실물화재시험을 통한 난연성 등급방법을 각각 구분하여 두 가지로 언급하고 있다.

3.2.1 코너월 실물화재시험 (EN 13823)시 적용

코너월(모서리벽체) 실물화재시험(EN 13823; Single Burning Item; SBI)을 통한 분류기준은 <표 5>와 같으며, 화재열방출의 급격한 증가정도에 따른 화재성장지수 FIGRA(Fire Growth Rate), 급격한 연기 증가정도에 따른 연기발생지수 SMGRA (Smoke Growth Rate), 10분간 총열방출열(**THR_{600s}**)를 산출하여 난연성 등급을 분류하고 있다.

<표 5> 코너월 실물화재시험 (EN 13823)을 통한 난연성등급기준(EN 13501-1)

난연등급	성능분류기준	부가항목
A1	해당없음	해당없음
A2	FIGRA ≤ 120W/s LFS <끝단전과거리 THR_{600s} ≤ 7.5MJ	주1) 연기량에 따른 분류 S1=SMOGRA ≤ 30m²/s² 및 TSP_{600s} ≤ 50m³ S2=SMOGRA ≤ 180m²/s² 및 TSP_{600s} ≤ 200m³ S3= 기타
B	FIGRA ≤ 120W/s LFS <끝단전과거리 THR_{600s} ≤ 7.5MJ	
C	FIGRA ≤ 250W/s LFS <끝단전과거리 THR_{600s} ≤ 15MJ	주2) 불꽃 적하물에 의한 분류 d0=최초600초 동안 불꽃적하물 발생이 없을 것 d1=최초600초 동안 10초이상 지속되는 불꽃 적하물 발생이 없을 것 d2=기타
D	FIGRA ≤ 750W/s	
E	해당없음	주2) 불꽃 적하물에 의한 분류
F	해당없음	해당없음

3.2.2 실모형 실물화재시험(ISO 9705)시 적용

실모형(룸코너) 실물화재시험(ISO 9705)를 통한 분류기준을 통한 분류기준은 <표 6>과 같다. 분류방법은 플래쉬오버 발생 시간 및 발생시 열량은 호주 분류방법과 유사하나 플래쉬오버 발생시간 및 열방출 특성을 보다 명확히 반영하고 있다.

<표 6> 실모형 실물화재시험(ISO 9705)을 통한 유럽 난연성등급기준(EN 13501-1)

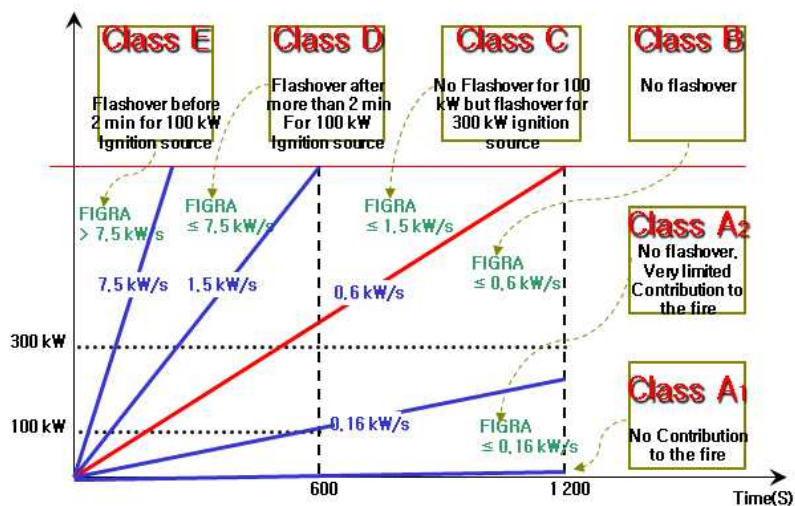
분류	플래시오버 시간(분)	열방출율(HRR) 최대값(kW)	비고
A1	-	-	화재에 아무런 영향이 없음.
A2	-	-	B등급을 만족하며 EN13823 Class B 만족.
B	-	-	C등급보다 높은 화재성능을 가짐.
C	20이하	700	화재 최성기에 플래시오버가 일어남.
D	10이하	900	화재 성장기에 플래시오버가 일어남.
E	2이하	900	화재 초기에 플래시오버가 일어남.
F	-	-	A1, A2, B, C, D, E 의 어느 등급도 아님.

3.2.3 유럽 실물화재시험을 통한 난연성 신(新)등급방법

이 방법은 2007년 스웨덴 국립화재연구소(SP)의 “THE FIGRA-INDEX(Björn Sundström)” 논문에서 화재성장지수(Fire Growth Rate; FIGRA)를 이용한 새로운 난연성 등급방법이 발표 제안되었다.

이 난연성 등급방법은 [그림 5]와 같이 화재가 급격히 성장하는 특성을 화재성장지수 즉 FIGRA지수(시간대비 열방출율 상승분)로 환산하여 등급을 분류하는 것으로서 원래 코너월(모서리벽체) 실물화재시험(EN13823; SBI)에서만 적용하는 특성값이 있으나 실모형실물화재시험에 적용한 결과, 실제 화재와의 상관성이 입증되어 타당한 방법으로 인식되고 있다.

여기서 FIGRA지수가 클수록 화재확대위험은 커지며, 대개 FIGRA 0.6kW/s이상에서 플래시오버(과도 연소현상)가 일어나는 것으로 확인되어 화재위험평가 지표로서 실제화재와 상관성이 큰 것으로 알려져 있다.



[그림 5] 유럽 실물화재시험을 통한 신분류방법(난연성 등급)

4. 맺는 글

국내에는 샌드위치패널에 대한 화재안전성에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 미흡한 상태이다. 원인으로서는 그 동안 성장위주의 경제산업 육성과 일반인들의 화재에 대한 인식부족이다. 근래에 일어난 샌드위치패널을 사용한 건축물의 화재에서 이에 대한 사회적, 기술적 관심이 최근에서야 급격히 고조되기 시작하였고, 따라서 관공서와 민간에서 그에 대한 연구 및 해결방안을 구하여 왔으며, 여러 차례 시험방법 및 법규(고시) 등의 제개정을 반복하여 왔으나 아직도 논란이 남아 있는 상태이다.

국내에서는 선진 외국의 샌드위치패널 화재안전성 평가분류방법을 조급하게 도입하여 개선방안을 강구하고 있으나 선진 평가 분류 방법은 주요 화재위험요소인 플래시오버와 열방출량의 급격한 변화 등 실제 화재현상을 재현하는 기술적 이해와 제한적 사용조건이 연구문헌 등에 존재하기 때문에 도입에 앞서 충분한 기술적인 검토가 필요하다.

추후 정부와 연구기관, 산업체가 국민의 안전 차원에서 협력한다면 과학적으로 입증된 객관적인 샌드위치패널 화재시험방법 및 난연성등급방법(KS표준안)이 개발될 것이라 믿으며, 이렇게 제도적으로 보완함으로써 실제 산업에서 일어날 수 있는 화재를 근본적으로 예방할 수 있고, 좀 더 나은 산업안전 및 환경발전에 기여할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

1. EN 13823(Reaction to fire tests for building products- excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item.)
2. EN 13501-1(Fire classification of construction products and building elements,Part1 classification using test data from reaction to fire tests)
3. ISO 5660-1(Reaction-to-fire tests -- Heat release, smoke production and mass loss rate- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method))
4. ISO 9705(Fire tests-Full scale room test for surface products)
5. ISO 13784-1(**Reaction-to-fire tests for sandwich panel building systems -Part 1 : Test method for small rooms**)
6. Björn Sundström, "The FIGRA-Index; European classification of Ordinary building products,cables and pipe, insulation." SP swedish national testing and research Institute, Fire Technology, Sweden, 2007.
7. Patrick Van Hees and Patrik Johnsson, "The need for full-scale testing of sandwich panels- Comparison of full scale test and Intermediates scale test", SP swedish national testing and research Institute, Fire Technology, Sweden, Interflame 2001.