

샌드위치패널의 화재시험방법

김운형, Patrick Van Hees*

경민대학 소방과학과, SP, Sweden *

Fire Test Methods for Sandwich Panels

Woon-Hyung Kim, Patrick Van Hees*

Kyungmin College Korea, SP, Sweden*

1. 서론

샌드위치패널은 양면에 표면재를 부착하고 심재를 사용하는 복합자재의 일종으로서 국내에서는 1970년대에 도입된 이래 공장 창고 건물 등을 중심으로 사용범위가 점차 확대되면서, 현재는 전 세계적으로 가장 널리 보급되어 사용하는 국가가 되었다.

샌드위치패널은 단열성과 시공성이 우수하여 건물의 내벽, 외벽, 지붕재료 등으로 그 구조적 적용도 확대되고 있다. 현재 국내에서 유통되고 있는 샌드위치 패널의 기본 구성은 양면 칼라강판과 단열용 심재로 이루어져 있으며, 구성 단열재의 종류로는 스티로폼, 우레탄폼, 유리면 및 암면 등이 있다. 현재 국내에는 약 150여개의 생산업체가 있으며 시장규모는 연간 약 1000억 원 정도로 추산된다. 한편, 정부의 공장건물의 단열의무조항에 따라 전국적으로 널리 분포되어 있는 샌드위치 공장 건물에서 발생한 일련의 화재사태는 샌드위치패널의 화재성능확보방안이 매우 시급한 과제를 시사하고 있다.

따라서 본 연구에서는 샌드위치 패널과 같은 복합자재에 대한 화재성능을 평가하기 위하여 최근 국제적으로 제정된 ISO 화재시험방법의 검토를 통하여 인명 및 재산피해를 최소화 할 수 있는 화재성능평가방법의 국내 정착을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 샌드위치패널의 화재성능

샌드위치패널의 심재는 가연성 또는 불연성 재료로 구성된다. 가연성 심재의 경우, 표면 금속판이 부착되어 있는 상황에서는 내부 단열재를 보호하고 구조물의 내화성능을 기대할 수 있다. 그러나 화재강도가 심각한 조건에서는 접합부가 균열되면서 노출되어 가연성 가스가 방출되고 초기소화에 실패한 경우에 화재성장의 원인이 될 수 있다. 이러한 배경에서 스웨덴에서는 샌드위치패널 건물은 반드시 표준시험방법에 따른 실대 화재시험을 요구하고 있다.

국내의 경우 샌드위치패널의 화재성능평가는 KSF 2271-1998 (건축물의 내장재료 및 구

조의 난연성 시험방법)시험방법을 적용하고 있다. KS F 2271에 의한 표면화재시험, 불연성시험, 부가시험 및 가스유해성시험에 사용되는 시험체 크기는 220×220mm이며 온도시간면적, 발연계수, 잔염시간, 시험체의 변형여부, 평균행동정지시간 등에 대한 판정기준을 제시하고 있다.

이러한 소규모 시험은 구조 및 접합부의 화재거동을 실제적으로 평가하기에 한계가 있다. 최근 국제규격을 기준으로 KSF ISO 5660-1 (열방출율 -콘 칼로리미터 법)이 제정되었으나 시험방법만 제시되고 평가방법에 대한 기준은 마련되어 있지 않다. 유럽 각국의 경우, 샌드위치 패널의 약 80% 이상은 소규모 시험을 적용하고 있으며 예외적으로 스칸디나비아 국가 등은 대규모 시험을 법적으로 요구하고 있다. 1989년 공포된 건설제품령(The Construction Products Directive) (89/106/EEG)에 따라 현재 중간규모의 SBI 시험이 대표적인 샌드위치패널시험 방법으로 인식되고 있다. 한편 냉동 창고나 일반창고, 식품창고 등에 사용되는 샌드위치 패널의 화재 증가로 인하여 유럽의 LPC와 미국의 FM 등 선진 보험회사에서는 별도의 화재성능 기준과 실대 화재 시험을 통한 현실적인 화재성능평가를 적용하고 있다. EC를 중심으로 유럽각국에서는 건물에 사용되는 재료의 화재성능평가를 위하여 불연성시험, 발화성시험, 총 열량 측정시험 등을 사용하여 A-F 사이의 6개의 유로등급으로 구분하고 있으며 이는 열 방출비율, 화염확산, 연기생성량, 화염의 용융, 총 발열량, 발화성, 연소성 등에 대한 성능기준을 제시하고 있다.

3. ISO 화재시험방법

현재 유럽 국가에서 사용하고 있는 대부분의 시험방법은 ISO로부터 도입되었으며 수년 동안 많은 나라에서 이러한 시험방법들의 일부를 사용하고 있다. 이러한 표준화 작업은 소위 EN ISO로 호칭되면서 유럽뿐 아니라 국제적 표준으로 인식되고 있다.

한편 ISO TC 92 SC1 분과에서는 샌드위치패널의 국제적 표준시험방법을 제정하기 위한 지속적인 노력을 진행하면서 최근 2개의 실대 화재 시험방법 (ISO 13784-1,2)을 국제규격으로 제시하였다. 본 장에서는 SBI 시험과 ISO 이러한 샌드위치패널 화재시험방법의 주요내용과 특성에 대하여 살펴보기로 한다.

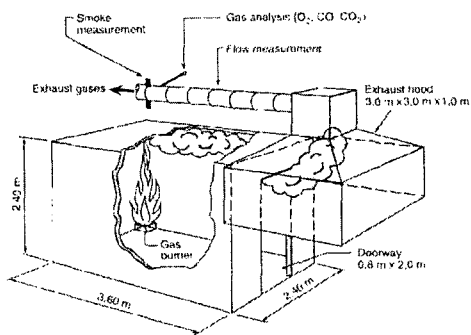
3.1 EN 13823 Single Burning Item (SBI) Test

EN 13823 SBI 시험은 마감재의 등급분류를 위한 대표적인 시험으로 제품의 인접한 공간 구석에 위치한 단일 연소물의 연소조건에서 제품의 화재성장 기여도를 측정하는 것이다. SBI 시험은 유럽에서 개발된 새로운 중간규모의 시험방법으로 A1, A2, B, C 그리고 D등급제품에 적용된다. 이 시험은 그림 1(a)과 같이 Trolley, burner, frame, hood, collector로 구성되며 시험이 수행되는 작은 공간에 설치된다. 시험공간의 크기는 3.0m x 3.0m x 2.4m (길이 x 폭 x 높이)이며 벽 재료는 석고보드, 석재 블록 및 섬유보드 등을 사용할 수 있다. 두개의 창문을 통하여 시험 공간 외부에서 실험과정을 관찰할 수 있다. 시험시작 전에 두개의 시편 (495mm x 1500mm, 1000mm x 1500mm)이 칼슘 시리카 보드위에 고

정되고 시편은 주 버너에 20분간 노출된다. 버너의 출력은 30kW이며 버너가 정지한 이후에도 5분 동안은 측정을 계속 진행한다. 이 시험을 통하여 발화시간, 화염확산, 화염 용융 / 입자가 측정된다. ISO 9705와 동일하게 화재성장(열방출비율)과 연기에 의한 감식도(연기발생율)가 주요 시험결과가 되며 시간경과에 따른 열 방출비율 (HRR), 연기생성 비율 (SPR), CO2 생성 비율, 산소 소비 비율의 변수가 측정된다. 총 열방출량(THR)과 총 연기 발생량(TSP)은 이러한 시험결과를 사용하여 계산할 수 있다. 화재성장에 관련되는 FIGRA 지수는 유로등급을 결정하게 된다. 각 제품은 화재성장의 기여도를 기준으로 분류된다. 따라서 FIGRA는 시험개시 이후 최대 성장비율을 측정하게 된다. FIGRA는 시간경과에 따른 최대 열 방출비율로 계산되며 단위는 W/s 이다. 시험오차를 최소화하기 위하여 열방출비율 자료는 매 30초 간격으로 계산한다. 또한 FIGRA를 계산하기 이전에 특정의 열방출비율 기준값과 총 열방출비율이 도달되어야 한다. 연기를 기준한 부가적인 분류로서 연기생성비율 즉 SMOGRA 지수가 사용된다. 이 지수는 FIGRA 지수와 유사한 원칙에 기초하여 시간경과에 따른 최대 연기생성 비율 값을 10,000을 곱하여 계산한다. 연기생성비율, SPR은 시험오차를 최소화하기 위하여 60초 간격으로 계산한다. 또한 SMOGRA를 계산하기 이전에 특정의 연기생성비율 기준값과 총 연기생성비율이 도달되어야 한다.



(a)



(b)

그림 1. EN 13823 SBI Test (a) ISO 9705 Test (b)

표 1. EN 13823 SBI 시험 내용

시 편	3번의 시험을 위한 시편. 각 시험마다 크기가 다른 2개의 시편 시편 0.5m x 1.5m (1.65ft x 4.9ft) 시편 1.0m x 1.5m (3.28ft x 4.9ft)이 필요함 시험공간은 3.0m x 3.0m x 2.4m (길이 x 폭 x 높이)
시편의 설치	수직으로 구석에 설치됨
화 원	공간 구석에 위치한 30kW 가스버너 사용
시험시간	20분
비 고	등급분류는 FIGRA, THR600s, 최대 화염확산을 기준하여 결정됨 부가적인 등급분류기준으로 SMOGRA, TSP600s, 용융 / 입자가 적용됨.

3.2. ISO 9705 Room-Corner Test

A Room-Corner Test는 1982년 ASTM에서 공포한 이후 1986년 NORDTEST, 1993년에는 유로등급의 한계 기준을 정하기 위한 참고용 시나리오로서 채택되면서 국제기준 ISO 9705가 공포되었다. 이 시험은 공간의 마감재의 연소 성상을 측정하는 대규모 시험방법이다. 주 요소는 플래쉬 오버의 발생여부 및 도달시간이다. 시험결과는 시간경과에 따른 화재성장의 직접 측정값인 열방출비율(HRR)과 연기에 의한 감쇠도(연기 발생율, SPR)등 다음의 변수가 포함된다.

- 열방출 비율 (HRR) · 연기발생율 (SPR) · CO 생성율 · CO₂ 생성 비율
- 산소 소비 비율

시험에 사용되는 제품은 3개의 벽과 천정에 설치된다. 문은 공간에 환기를 가능하게 한다. 이 시험은 10여년 이상동안 경험이 축적되어왔으며 이 방법에 의한 제품의 연소성상에 관한 상당히 많은 자료가 존재하고 시험 중의 열적 조건에 대하여도 자세하게 연구되었다.

표 2. ISO 9705 시험 내용

시 편	시험공간은 3개의 벽과 천정에 시편을 부착함. 문이 설치되는 벽은 시편을 부착하지 않음. 시험공간의 크기는 2.4m x 2.4m x 3.6m (길이 x 높이 x 폭) 개구부 크기는 0.8m x 2.0m (폭 x 높이) 시험공간은 천장, 벽, 바닥이 불연성재료로 구성됨.
시편의 설치	실내의 마감재로 부착됨
화 원	점화원으로 프로페인 가스버너가 공간의 한쪽 구석에 설치됨. 버너의 출력은 최초 10분간은 100kW, 이후 10분간은 300kW
시험시간	20분 또는 플래쉬오버 발생시점까지
비 고	공간의 열방출비율이 1000kW에 도달하면 화염이 개구부로 분출되는 플래쉬오버로 판단함. 연기층의 온도, 화염확산, 복사플럭스, 일산화탄소, 이산화탄소, 산소 감소 등 공간화재에 관련되는 많은 변수들을 측정할 수 있음. 그러나 가장 중요한 요소는 열방출비율, 연기발생비율, 플래쉬오버의 발생여부 및 도달 시간이다.

EN 13823, SBI 시험은 유럽전역에서 30여개의 제품에 대한 시험이 완료되었으며 동일한 제품을 ISO 9705 시나리오를 따라 시험을 수행하였다. 이에 따른 분석결과 ISO 9705 FIGRA와 FIGRA(SBI)간의 연관성이 도출되었다. 두 시험간의 연관성은 ISO 9705의 플래쉬 오버와 유로등급에도 적용된다.(표 3. 참조)

표 3. ISO 9705 시험의 플래쉬오버 발생을 기준한 유로등급

유로등급	화재성장지수 FIGRA(SBI)(W/s)	Room Corner 시험 시 예상되는 연소 성상
A2	120	플래쉬오버 발생 없음
B	120	플래쉬오버 발생 없음
C	250	플래쉬오버 발생 없음 (100kW)
D	750	플래쉬오버 발생 없음 (100kW에서 2분 이내)
E	>750	플래쉬오버 발생 (2분 이내)

3.3. ISO 13784-1(Small room test), ISO 13784-2(Large room test)

ISO 13784 시험방법은 Room Corner Test 시나리오를 가지는 ISO 9705에 근거하여 최근 ISO SC1 WG7 분과에서 제정되었으며 건축용 샌드위치패널 화재시험방법이다.

현재 유럽에서 적용하고 있는 대부분의 소규모시험은 샌드위치 패널 건물에서의 접합부와 긴결재의 중요성을 반영하기가 어렵다. 그동안 실대화재 시험의 필요성에 따라 ISO 9705 시험이 대안으로 시행되었으나 현장에서의 사용 조건에 부합하는 시험방법인가에 대한 논의가 제기되고 있다. ISO 9705의 시험목적은 실내의 벽, 천장 마감재가 화재성장에 미치는 영향을 평가하기 위한 것이며 이 시험방법을 샌드위치 패널 시험에 적용하는 경우에는 패널이 실내에 부착되므로 다음의 3가지 문제점이 제기된다.

첫째 실내규격이 정해져 있으므로 패널의 두께에 따라 내부공간 크기가 달라진다. 냉동창고용 패널을 시험하는 경우, 실제 두께가 30cm 이상 될 수도 있으며 이것은 실내용적이 크게 줄어든다는 것을 의미한다. 둘째 대부분의 경우, 접합부는 전체적인 시스템의 화재성상에 중요한 영향을 미친다. 이러한 이유로 샌드위치 패널 업체에서는 복잡한 접합시스템을 개발하는 것이며 시험하는 경우에도 실제와 동일한 접합조건이 되어야 한다. 실내에 설치하는 경우 실내 구석 외벽으로 인하여 패널 뒷면의 접합부 설치가 불가능하게 된다.(샌드위치 패널과 실내 구석 벽 사이) 셋째, ISO 9705 내부의 시험패널은 외부에서 관찰 (화염 또는 과도한 변형 등)이 불가능하다.

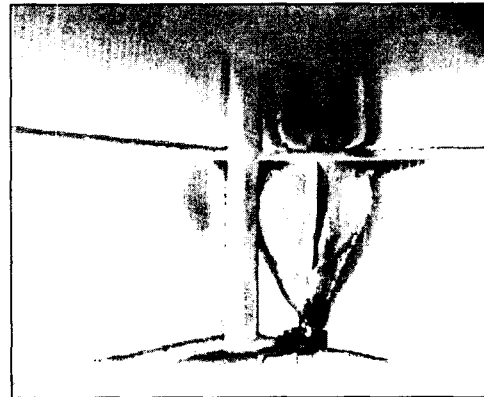
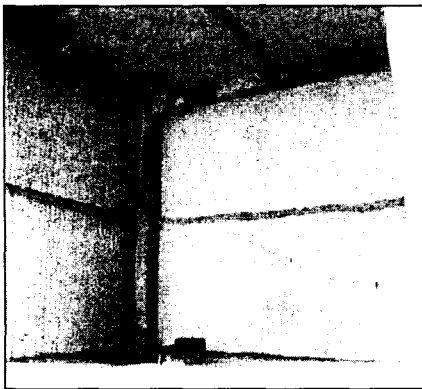


그림 2. EN ISO 13784-2 Large room test

표 4. EN ISO 13784-1(Small room test), 2(Large room test) 시험 내용

시험체	Part-1	시험공간의 크기는 3.6 m x 2.4 m x 2.4 m (길이 x 높이 x 폭) 개구부 크기는 0.8 m x 2.0 m (폭 x 높이), 시험공간은 불연성 바닥 표면위에 수직으로 설치한 네 개의 벽과 천장으로 구성.
	Part-2	시험공간의 크기는 4.8 m x 4.0 m x 4.8 m (길이 x 높이 x 폭) 개구부 크기는 4.8 m x 2.8 m (폭 x 높이), 시험공간은 불연성 바닥 표면위에 수직으로 설치한 네 개의 벽과 천장으로 구성.
시험의 설치	Part-1	실내의 마감재로 부착됨
	Part-2	
화원	Part-1	점화원으로 프로판 가스버너가 개구부가 있는 벽 반대편 구석에 설치됨. 버너의 출력은 최초 10분간은 100kW, 이후 10분간은 300kW
	Part-2	점화원으로 프로판 가스버너가 개구부가 있는 벽 반대편 구석에 설치됨. 버너의 출력은 최초 5분간은 100kW, 이후 5분간은 300kW
시험 시간	Part-1	30분 또는 플래쉬오버 발생시점까지
	Part-2	

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 ISO 9705 후드에 연결된 자립형 구조를 설치하거나 샌드위치 패널구조물 주위에 충분히 거리를 이격한 구획된 구조로 설치하여 접합부를 실제와 동일하게 설치하고 시험을 관찰할 수 있게 하거나 또는 자립형 시스템을 대형 후드아래에 설치하여 시험할 수 있다. 이러한 배경에서 ISO 9705 시험방법의 한계를 개선한 ISO 13784-Part 1, Part 2가 새로운 샌드위치패널 화재시험방법으로 제정되었다. 이 시험은 샌드위치 패널 시험체가 실내 한 구석에서 직접 불꽃에 노출된 조건에서의 화재성능을 평가한다. 화재확산은 샌드위치 패널의 내부 심재와 표면부분, 결합부분 등에서의 가연성가스, 파편, 용융적하물의 착화에 의해 진행되며 이를 통하여 플래시오버까지의 화재성장률에 대한 기여도와 외부 공간 또는 인접 건물로 확산될 수 있는 가능성, 구조물 붕괴 여부 그리고 시험공간에서의 연기의 발생 등을 판단한다.

4. 결 론

샌드위치 패널과 같은 복합자재의 화재성능평가는 접합부, 골조, 고정방법, 표면재의 종류, 코팅, 심재 및 표면재에 부착하는 방법 등 여러 가지 요소가 반영되어야 한다. 특히 샌드위치패널의 화재위험성 평가를 위한 모든 시험방법은 실제와 동일한 설치공법과 접합부 거동을 구현하는 것이 매우 중요하다. 이러한 점에서 현재 제시되고 있는 다양한 국제규격과 보험회사의 소규모 및 중간 규모 시험은 샌드위치 패널의 화재특성 평가에 한계를 가지게 된다. 예를 들면 SBI 시험의 경우, 어떻게 실제사용 조건을 반영해야 하는 것에 대한 명확한 설명이 부족하다. Room-Corner Test 의 경우, 공간내부의 최대 열 방출 비율만이 아니라 다른 평가기준도 고려되어야 한다. ISO 9705 시험을 대신하여 최근 국제적인 표준안으로 제정된 ISO 13784 시험의 경우도 ISO 9705에 비교하여 샌드위치패널 성능평가에 더 적합한 화재시나리오라는 충분한 실험 자료가 현재로서는 부족한 현실이며 제시된 공간의 규격과 환기조건 등이 실제 상황을 반영하지 못하고 있다. 따라서 국내 샌드위치패널의 화재안전 확보를 위하여 현장에서의 사용조건이 충분히 반영된 화재 시나리오를 설정하고 시험방법을 제시하기 위한 체계적이고 지속적인 연구와 실험이

필요하며 아울러 건축구조적인 공법개선방안과 소화 및 배연설비 시스템에 대한 연구도 수반되어야 한다.

참고문헌

1. P. Johansson, P. Van Hees , Development of a Test Procedure for Sandwich Panels using ISO 9705 Philosophy, Nordtest Project nr 1432-99
2. B. Sundstrom, P. Van Hees, P. Thureson, Results and Analysis from Fire Tests of Building Products in ISO 9705, the Room/Corner Test, The SBI Research Programme, SP REPORT 1998 : 11
3. S.E Dillion, Woon Hyung Kim., Quintiere, J. G., "Determination of Properties and the Prediction of the Energy Release Rate of Materials in the ISO 9705 Room-Corner Test", NIST-GCR-98-754, USA, (1998,6)
4. S.E Dillion, Quintiere, J. G., Woon Hyung Kim., Discussions of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test, 6th International Symposium on Fire Safety Science, France, (1999,7)
5. Jurgen Troitzsch, Plastics Flammability Handbook, 3rd Ed. Hanser, 2003
6. 임홍순, 샌드위치패널 화재시험방법의 국제적 동향, 방재기술 Vol 33, pp21-pp26, 2002, 방재시험연구원
7. 건축용 바닥재 및 샌드위치패널의 화재안전성 평가방법 표준화 기술개발에 관한 연구(최종보고서), 산업자원부, (2003, 8)