기 획

샌드위치패널 화재시험방법의 국제적 동향

글_ 임 흥 순(건축구조부 책임연구원)

1. 개 요

국내 샌드위치패널은 양면에 강판과 내부 단열재로 구성된 복합패널제품으로서 80년대 말 건축시장의 급속한 팽창으로 건자재 품귀와 인력난이 발생하자 시공이 편리하고 단열성이 뛰어나다는 장점 때문에 수요가 급증하였으며, 특히 고유가로 에너지 절약 정책강화의 추세에 따라 샌드위치패널은 중요한 건축자재가 되었다. 샌드위치패널의 최대 장점은 경량구조체로서 가격이 저렴하고 강성이 우수하며, 자재의 규격화로 시공이 간편하여 공사기간이 단축됨으로써 시공비 절감 등 경제적인 건축자재로 인정되고 있다.

또한 샌드위치패널은 내부 단열재가 또는 폴리우레탄폼 등 가연재이거나 유리면 등 불연재인 것이 있으며, 국내 150여 개 제조업체에서 생산되고 있으며, 연간 시장규모는 약 1000억 원에 이른다.

그러나 샌드위치패널은 표면의 강판은 불연재로서 착화를 지연시킬 수 있으나 열이 내부 단열재로 쉽게 전달될 수 있어, 스티로폼, 폴리우레탄 등 가연성 단열재를 가진 샌드위치패널인 경우 화재시 쉽게 소화되지 않는 것으로 알려져 있다. 더욱이 샌드위치패널 건축물에서 화재가 증가 추세에 있어 대형슈퍼, 공장, 냉동창고, 물류창고 등의 건물의 화재안전 확보 측면에서 해결대책이 필요하다.

이미 선진 각 국에서는 샌드위치패널은 불연재와 가연재가 함께 결합된 이중적인 구조 때문에 선진 각 국에서 화재성능평가방법에 대한 연구가 진행되어 왔으며,내부 단열재의 재료 화재측면과 패널 결합부 등의 구조 화재 측면을 동시에 파악할 수 있는 실대규모 화재시험방법을 채택하고 있는 것이 국제적인 추세이다. 더우기 최근 국제규격으로도 ISO FDIS 13784-1, 2의 샌드위치패널에 대한 실대규모 화재시험방법의 최종안 상태에 있으며, 이 실대규모 시험에서는 실제 시공되는 상태의 공법 및 조건이 세밀히 반영하고 있다.

그러나 우리나라에서 샌드위치패널의 화재성능평가는 KS F2271의 내장재료 난연성시험방법에 의한 소규모시험에 의존하고 있어, 재료 및 결합구조의 복합적인 화재성능을 평가하기에는 불가능하여 제도적으로 보완이 시급한 실정이다.

따라서 이번 조사에서는 스웨덴 국립연구소인 SP와 덴마크 국립연구소 DBI에서 공동연구로 추진한 샌드위치패널에 대한 화재시험방법 개선에 관한 연구내용을 참고하여 선진 주요국가에서의 샌드위치패널화재 시험방법 동향과 최근 ISO FDIS 13784-1, 2 규격안으로 된 샌드위치패널 화재시험방법을 소개하여 국내 샌드위치패널에 대한 적정한 화재안전성 평가방법 도입논의에 따른 이해를 도모하고자 한다.

2. 샌드위치패널의 모형실을 이용한 화재시험(Room corner test) 방법 도입배경 및 원리

샌드위치패널 화재위험성평가에 소규모시험을 적용하는 것은 패널 결합부 및 기계적인 긴결구조의 화재성능을 제대로 평가할 수 없기 때문에 불충분하다. 그러므로 실대규모시험이 필요하며, 선진 유럽 등에서는 ISO와 유럽 규격 정합화라는 측면에서 실대 모형실 화재시험인 ISO 9705(Room corner test) 평가방식의 도입이 가장 타당한 접근으로 인정되어 검토되었으며, 새로운 샌드위치패널의 화재시험방법인 ISO FDIS 13784의 근간이 되었다.

샌드위치패널의 근간이 된 ISO 9705(Room corner test)의 시험방법은 그림1과 같은 장치로 구성되며, 불연성 재료로 된 단지 1개의 개방된 출입 개구부를 가진 모형실내의 코너부분에 화재착화원

을 두어 화재시험 중 내부에 설치된 내장 마감재의 연소생성물이 개구부를 통해 분출되면, 외부의 배기 후드장치에서 배기가스를 포집하여 CO, CO_2, O_2 량을 분석하여 각 기체 몰분량비에 따른 산소저감량을 계산하는 연소열 산출이론, 즉 모든 재료는 연소에 소모되는 산소량 1kg당 발생하는 열량은 약 13.1 103kJ으로 일정하다는 것에 근거하여, 방출율(HRR)을 측정하고, 배기닥트에 설치된 광원과 수광부로 구성된 연기측정장치를 이용, 빛을 투과시켜 광센서에 도달된 광투과율에 의한 연기방출율(SPR)을 측정하여 실제 설치공법을 포함한 내장재의 화재안전성을 평가하는 방법이다.

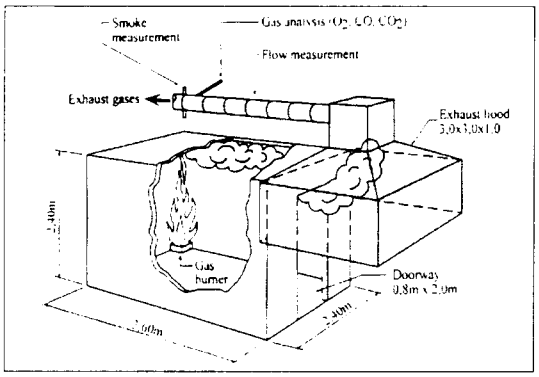


그림1. 모형실을 이용한 화재시험방법 개요도

또한 이 시험방법에 제시된 연소열 방출량 및 연기량은 ISO FDIS 13784-1(샌드위치 화재시험방법)의 부속서A 및 부속서C에 제시된 산출식에 의하여 얻어진다.

이러한 공학적인 측정방법에도 불구하고기존 ISO 9705 모형실 화재시험방법은 샌드위치패널구조를 실제 공법으로 설치하기에는 협소하고 설치, 해체 등에 여러 가지 문제점을 안고 있다. 즉 공간 모형실의 외관 고정벽체 내에만 설치되기 때문에 샌드위치패널과 같은 두꺼운 재료가 내부에 설치되는 경우 패널두께 만큼 실내 공간이 작아지며, 대부분 결합부는 실제와 같은 조립된 시스템에서의 화재성상에 중요한 영향을 미치므로 실제적인 고정공법의 결합부 마감 설치해야 하나 기존 좁은 모형실 내에서 재현이 불가능하다.

또한 ISO 9705 모형실 밀폐공간 내부에서 샌드위치패널을 화재시험 하는 것은 패널구조의 외관에 대하여 패널 관통 불꽃 또는 유해한 변형 등을 관측할 수 없다.

이러한 이유 때문에 샌드위치구조 자체로 조립되는 자립형구조 또는 골조를 가진 샌드위치패널구조로 자체 모형실을 제작하여 화재시험을 하는 방법, 즉 샌드위치패널 화재시험방법이 새로이 도입되게 되었으며, ISO FDIS 13784-1,2(일반실 및 대형실 화재시험방법)로도 제시된 상태이다.

한편 유럽에서는 건축내장재의 화재안전성을 평가하기 위하여 그림2에 나타난 바와같이 소규모 모형실의 SBI(Single Burning Index) 화재시험을 실시하고 있다.

SBI(Single Burning Index)시험은 유럽 건설생산청(Construction Productive Directive)에서 시행하는 유럽공동 화재성능등급방법(EUROCLASS system)에 적용되는 화재시험 중 하나로서 prEN13823로 규격화된 것으로, 측정원리는 ISO 9705(Room corner test) 와 유사하나 시험체 설치구조가 코너월(Corner wall; 폭0.5m 높이1.5m, 폭1.0m 높이1.5m)만을 모형실내에 설치하여 시험하는 소규모시험이다.

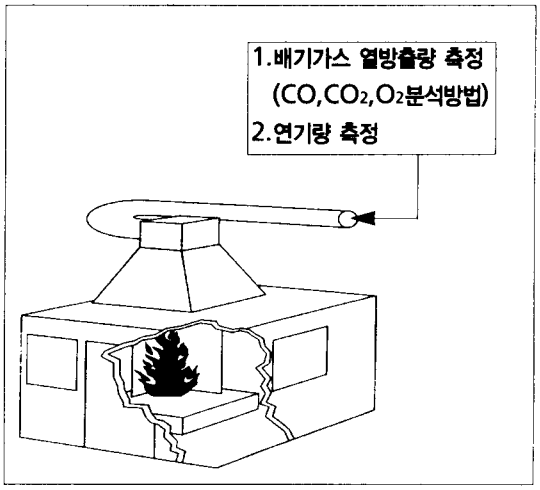


그림2. 유럽 SBI 모형실 화재시험장치 개요도

유럽 SBI 모형실 화재시험은 20분 동안 수행되며, 배기가스 산소저감량 분석에 의한 열방출율(RHR, Rate of Heat Release)과 연기발생율(RSP, Rate of Smoke Production)을 측정하며, 판정사항으로는 다음과 같으며, 성능기준은 표1과 같다.

SBI시험 판정사항

1) 최초 600초까지의 탈락 및 용융적하성상 유무
2) 화염전파가 큰벽체 끝단까지 확산유무(LFS)
3) 화재성장지수(FIGRA; Fire growth rate index)

$$FIGRA = 1000\max\left(\frac{RHR\,av\,(t)}{t}\right)$$

4) 연기발생지수(SMGRA; Smoke growth rate index)

$$SMGRA = 1000\max\left(\frac{RSP\,av\,(t)}{t}\right)$$

5) 최초600초까지의 총열방출량(THR_{600s}, MJ)

$$THR_{600s} = \frac{1}{1000}\sum_{0}^{600} RHR(t)\triangle t$$

6) 최초600초까지의 총연기발생량(TSP_{600s}, ㎡)

$$TSP_{600s} = \sum_{0}^{600} RSP(t)\triangle t$$

표1. 유럽 SBI 모형실 화재시험(prEN13823)에 의한 내장재 성능분류기준

난연등급(CLASS)	성능분류기준	부가항목
A1	해당없음	해당없음
A2	FIGRA≤120W/s LFS〈끝단전파거리 THR_{600s}≤7.5MJ	주1) 연기량에 의한 분류 주2) 불꽃 적하물에 의한 분류
B	FIGRA≤120W/s LFS〈끝단전파거리 THR_{600s}≤7.5MJ	
C	FIGRA≤250W/s LFS〈끝단전파거리 THR_{600s}≤15MJ	
D	FIGRA≤120W/s	
E	해당없음	해당없음
F	해당없음	해당없음

주1) 연기량에 따른 분류
- S1 = SMGRA≤30㎡/S² 및 TSP_{600s}≤50㎡
- S2 = SMGRA≤180㎡/S² 및 TSP_{600s}≤200㎡
- S3 = 기타

주2) 불꽃 적하물에 의한 분류
- d0 = 최초600초 동안 불꽃 적하물 발생이 없을 것
- d1 = 최초600초 동안 10초이상 지속되는 불꽃 적하물 발생이 없을 것
- d2 = 기타

3. 모형실을 이용한 각 샌드위치패널 화재시험 실시 및 결과비교

가. 시험체 종류

샌드위치패널 시험체의 구조는 상호 유사하기 때문에 세부적인 사항은 생략하였으며, 시험체는 표2와 같이 단열재 재료별로 암면, 폴리스틸렌, 우레탄폼(PIR,PUR)등 4종 선정하였으며, 각 시험체 고정방법은 제조사의 시공방법에 따라 시행된 것이다.

표2. 샌드위치패널 시험체 종류 및 구분

시험체명	단열재	패널두께(mm)	· 용 도
A	암면	100	공장 및 저온저장소
B	폴리스틸렌	100	냉동창고
C	PIR(우레탄)	100	냉동창고
D	PUR(우레탄)	100	냉동창고

나. 시험체 설치방법

1) 기존 ISO 9705의 모형실 화재시험체 설치방법

각 샌드위치패널 시험체는 ISO 9705의 모형실내에 동일한 방법으로 설치되었으며, 그림1의 시험장치의 모형실 내에 설치된다.

설치순서는 처음에 벽판을 고정하고 벽판 위에 지붕판을 고정하였다. 규정된 코너형상 및 실런트는 제품공급자의 시공방법에 따랐으며. 도어벽에 인접된 패널의 끝마무리는 세라믹 또는 미네랄울로 화열에 코어재가 노출되어 착화되지 않도록보호조치하였다.

2) ISO 샌드위치패널 화재시험체 설치방법(ISO FDIS 13784)

각 시험체는 샌드위치패널 자체구조로 벽과 천정을 구성하고 개구부 측의 벽은 기타부분의 벽과 동일한 제품으로 제작하였고, 일부 지지구조는 실제 시공방법에 따라 설치하였다. 외부치수는 기존 ISO 9705 화재시험의 모형실 내부치수와 동일하게 하였으며, 표3의 시험체별 고정지지 골조사용 유무구분에 따라 제작되었으며,고정의 실제적인 방법은 제조자의 시공방법에 따랐다.

철골지지대를 ㄷ자형으로 실구조 외부에 설치하였으며, 볼트 또는 스크류를 사용하여 제품이 이 지지대에 고정되도록 하였으며, 각 제품에 대하여 코너형상 및 실란트는 제품 공급자의 제작 지침에 따라 사용된 것이다.

표3. 자립형 샌드위치패널 시험체 설치구조

시험체명	철골지지대사용유무	지지대에 고정유무	지지대재질
A	Y	Y	철 재
B	Y	N	철 재
C	N	N	미적용
D	Y	Y	철 재

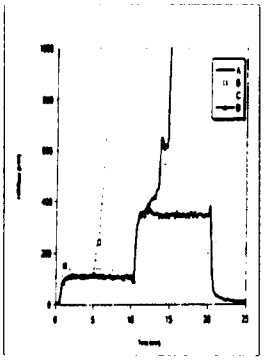
3) 유럽규격의 SBI 화재시험방법을 이용한 샌드위치패널 설치방법

SBI 화재시험의 샌드위치패널 시험체는 앞서의 그림2와 같이 코너월(Corner wall;폭0.5m×높이1.5m, 폭1.0m×높이1.5m)구조로 모형실내에 설치하여 시험하였으며, 조립은 실제 시공법을 적용한 것으로, 세부사항은 prEN13823 시험규격에 따랐다.

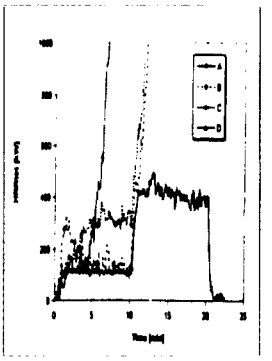
4. 시험결과분석

가. 실대 모형실을 이용한 샌드위치 화재시험 결과

시험결과는 그림3과 표4에서 나타난 바와 같이, 그림3에서 개략적으로 재료 B, C는 ISO 샌드위치 시험체 구조일 때 플래시오버가 거의 같게 나타났다.



(기존 ISO 9705화재시험)



(ISO 샌드위치패널 화재시험)
- ISO FDIS 13784

그림3.각 샌드위치패널 화재시험 열복사방출량 비교 결과

표4. 시험결과 비교

구 분	ISO 9705 화재시험				샌드위치패널 화재시험			
	A(암면)	B(EPS)	C(PIR)	D(PUR)	A(암면)	B(EPS)	C(PIR)	D(PUR)
플래시오버 발생시간(분£"초)	No FO	6 : 54	No FO	14 : 42	No FO	12 : 08	11 : 44	7 : 04
최대열방출율 (버너열제외,kW)	74	>900*	317	>700*	195	>700*	>700*	>900*
유럽화재등급 기준에 의한 판정	≥B	D	≥B	C	≥B	C	C	D

¡ FO : Flash over

* : 1MW(버너출력포함)를 초과하는 HRR

나. 유럽 SBI 화재시험결과

유럽 SBI 화재시험(prEN13823)은 기존 실대 모형실 화재시험과의 차이를 알아보기 위해서 동일 두께 샌드위치패널 시험체에 대하여 수행되었다. 표5는 그 결과를 나타낸 것이다.

표5. 각 샌드위치패널에 대한 SBI 화재시험결과

시험체	FIGRA	THR600s	SMOGRA	TSP600s	Droplets	Expected Euroclass*
A	0	0.4	4	46	No	Bs1d0
B	92	1.8	38	87	No	Bs2d0
C	60	5.5	30	377	No	Bs3d0
D	36	2.9	16	164	No	Bs2d0

* EN ISO11925-2 소형불꽃시험결과는 고려하지 않음.

* 1회시험에 대한 TSP600s는 51㎡임. 3회시험의 평균값임.

다. 샌드위치패널 화재시험방법간 결과 비교

표6은 동일 샌드위치패널 시험체에 대한 시험방법간 EUROCLASS(연기량 및 불꽃적하물 판정 제외) 등급차이를 비교하였으며, ISO방법에 의한 두시험결과는 시험체간 다양하게 등급차이를 나타내나 SBI 방법은 시험체간 등급이 일정하여 ISO방법은 패널의 구조적인 차이를 화재등급상에 반영하는 반면, 유럽의 SBI방법은 그러하지 못하는 것으로 판단된다.

표6.동일시험체에 대한 각 시험방법간 EUROCLASS 등급 차이

시험방법	시험체A	시험체B	시험체C	시험체D
ISO 9705	≥B	D	≥B	C
ISO FDIS 13784	≥B	C	C	D
SBI	Bs1d0	Bs2d0	Bs3d0	Bs2d0

5. 결과종합

1) 새로 도입된 ISO 샌드위치패널 화재시험방법은 기존 ISO 9705시험보다 더 가혹한 조건이며, 두 시험방법에서 설치조건이 결합부 개선 등에 의해 방화성능의 차이를 나타내었다.

2) 샌드위치패널은 모형실 화재시험 적용시 모두 초기에 플래시오버 발생한 것과 전혀 플래시오버 발생하지 않는 것에 이르기까지 다양한 화재성능의 차이를 나타내었다.

3) 각기 다른 종류의 샌드위치패널간 결합부의 마감과 판넬 고정방법은 패널의 화재거동을 결정하는 중요한 요소로서 샌드위치패널설치에서 실제와 동일하게 결합부 마감 및 고정하는 것이 중요한 것으로 나타났다.

4) ISO 샌드위치패널 화재시험방법은 설치의 고정 및 해체방법은 기존 ISO 9705에서 보다 쉬운 것으로 나타났다.

6) SBI 화재시험은 ISO 샌드위치패널 화재시험방법과의 상관관계는 적은 것으로 나타났으며, 이는 패널과 결합부의 구조적 화재 취약성 영향을 파악하기에는 SBI화재시험이 한계에 있다는 것을 나타내주고 있다. 즉 SBI화재시험시 각 샌드위치패널 시험체는 제한적인 연소로 인하여 조인트 결합부가 거의 변형이 없었으며, SBI화재 시험결과가 기준 시나리오에 비해 더 좋은 등급으로 결과가 나오는 것으로 나타났다.

그러나 샌드위치패널이 SBI화재시험 및 소형불꽃시험만으로 등급분류하는 것은 불합리하다. 더욱이 SBI화재시험에서는 설치구조상 실제 사용조건(공법)을 반영할 수 없다는 것이다. 이러한 사례에는 위 끝단을 개방된 대로 남겨둔다든가, 조인트형강을 사용하지 않는 경우가 있다. 이러한 해결방법으로는 개선된 결합부 및 고정 시스템에 의해 우수한 화재성능을 갖는 시스템에는 적합하지 않다.

6. 결 론

현실적인 방법으로 실제사용 조건을 재현하는 것은 샌드위치패널의 화재성능을 평가하는 데 매우 중요하다. ISO 샌드위치패널화재시험, ISO 9705화재시험 및 SBI화재시험 절차에 따라 수행된 일련의 시험결과에서 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 샌드위치패널의 화재성능을 평가하는 데는 고정기술과 특히, 접합부 특성이 화재거동을 평가하는 데 중요한 요소이다. 따라서 샌드위치패널의 화재시험은 실제 사용되는 조건으로 실시될 수 있어야 한다.

2) ISO 샌드위치패널 화재시험방법은 패널의 실제 사용상태에서의 정확한 설치할 수 있도록 하며, 보다 쉽게 고정 및 해체가 가능한 것으로 나타났다.

3) ISO 샌드위치패널시험절차는 ISO 9705 시험보다 더 가혹한 조건이다.

4) SBI화재시험방법은 새로운 ISO샌드위치패널 화재시험방법과 상호관계가 적은 것으로 나타났다. 대부분 샌드위치패널 시험체에 대한 시험결과에서 중규모시험인 SBI 화재시험에서 더 좋게 나타났다. 그러므로 샌드위치패널에 대하여 SBI화재시험을 사용하는 것은 객관적이지 못한 것으로 나타났다.

5) ISO 샌드위치패널 화재시험절차는 열방출량(HRR) 및 연기발생량(SPR)을 측정하도록 하며, 열방출량(HRR) 및 연기발생량(SPR)의 측정절차는 ISO 13784 PART1에 규정된 것으로서 국내에서도 유효하게 사용 가능하다.

참고로, 우리 연구원에서는 기술표준원과 함께 2002년도 산업자원부 표준화 과제로서 샌드위치패널재에 대한 화재안전성평가방법 규격화 연구를 진행 중에 있다.