실모형 화재시험에서 플라스틱폼 단열재 코어를 가진 샌드위치패널의 설치조건에 따른 화재특성

임홍순 / 방내화팀 팀장

1. 서 론

본 논문에서는 샌드위치패널 화재분석에 맞도록 제정한 ISO 13784-1 (Room Corner Test for Sandwich panel building systems, 2002) 시험방법을 적용하여 샌드위치 패널 구조의 설치조건에 따른 화재시 연소성능(Reaction to fire)을 변화를 분석하였다. 이를 위해 2003년, 2007년, 2008년 방재시험연구원에서 수행한 지식경제부 표준기술력향상사업의 연구프로젝트 실모형화재시험중 플라스틱폼 단열재를 코어재(Expanded polystylene(EPS), PolyIsocyanurate (PIR), Polyurate(PIR)) 로 하는 3종의 샌드위치 패널 시험체 설치조건(3종)과 두께에 따른 총 15 case에 대한 데이터에 근거하여 EN 14390:2006에 규정하는 경과시간별 열방출율과 연기발생율을 특성지수화한 FIGRA(화재성장지수: Fire Growth Rate) 및 SMOGRA(연기성장지수:Smoke Growth Rate)로 환산 비교분석하였다.

2. 본 론

2.1 시험 개요

실모형화재시험의 전형인 ISO 9705와 ,ISO 13784-1화재시험은 샌드위치 패널을 조립하여 구성한 소형실(2.4m×2.4m×3.6m)에 대하여 내부 한 모서리에 직접 불꽃을 노출시켰을 때, 샌드위치 패널 조립체의 화재성능을 시험하며, ISO 9705는 시험장치상 불연성 구조의 실모형 내부에 샌드위치패널을 설치하는 실내내장형(내장형) 방식이며, ISO 13784-1는 샌드위치패널을 직접 실모형으로 제작하는 골조조립형(골조형), 자체조립형(자립형)방식으로 하여 각각 조건에 따른 구조물의 플래시오버까지의 화재성장지수(FIGRA), 연기의 성장지수(SMOGRA) 변화를 측정하였다.

2.2 시험체 구성

시험체는 전면에 개구부를 가진 직육면체 조립체로

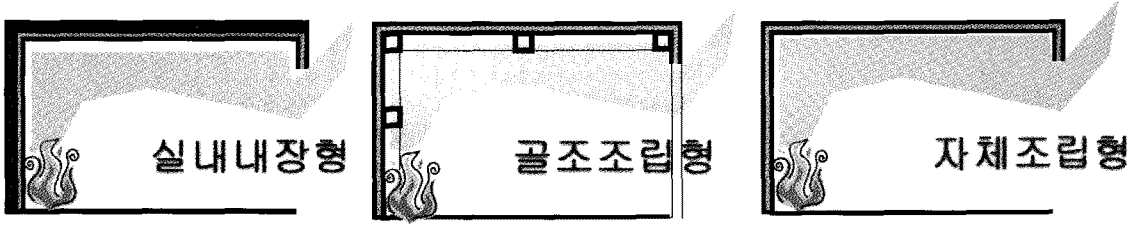

그림 1. 샌드위치패널구조 설치구법 종류

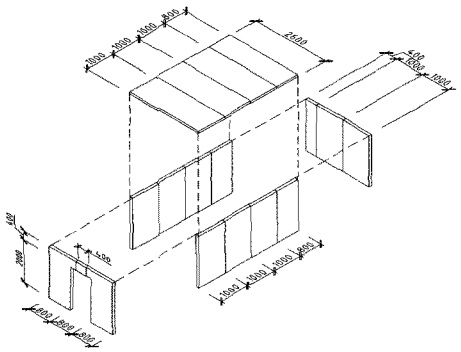

그림 3. 시험체 조립도

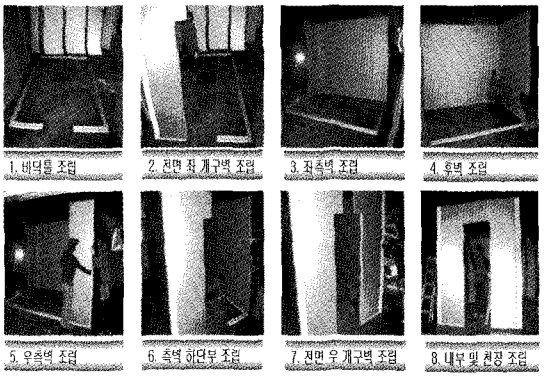

그림 2. 시험체 제작 모습(자체조립형)

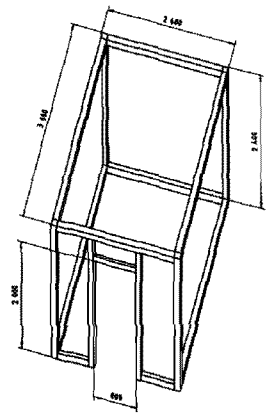

그림 4. 골조조립형 시험체 부착지그

2.4m×3.6m×2.4m의 볼륨을 가진다. 패널폭은 국내 제품규격에 맞게 1m 폭 패널로 제작되어 좌측 및 우측 벽부에 4개 패널, 후벽부에 3개 패널, 천정부에 4개 패널 및 전면 3개 패널(개구부 0.8m×2m)로 구성된다.

시험체는 구조 재료와 연결부, 고정부 등 실제 현장 제작기법을 반영하여 실내내장형 및 골조조립형(frame supported) 및 자체조립형(free standing)으로 제작하였으며 샌드 위치패널 시료는 3종류 플라스틱폼 단열재 즉 발포폴리스틸렌(EPS, 밀도 15kg/m³), 고난연우레탄폼(PIR, 밀도 50kg/m³), 우레탄폼(PUR, 밀도 40kg/m³)을 코어재로 하는 두께별 100mm, 75mm의 패널이며, 시험횟수는 실내내장형 3회(100mm), 골조조립형 6회(100mm, 75mm) 자체조립형 6회(100mm, 75mm) 총 15회의 case 시험을 실시하였다.

2.3 시험방법

Propane gas 버너를 통해 시험의 처음 10분 동안 100 kW으로, 이후 추가 10분 동안에는 300kW으로 가열하며 나머지 10분간은 가열없이 유관 관찰 후 종료하게 된다. 시험 중 플래시오버가 발생(Heat release rate 1000kW 도달 기준)할 경우 또한 시험을 조기 종료하게 된다. 교정시험은 후드 아래 1.2m에 위치한 Propane gas 버너로 해당 규정 열량에 맞는 유량을 투입한 후, 초기 5분간 100kW, 추가 5분간 300kW, 그후 5분간 100kW로 단계적으로 열량을 증감시켜 발생한 연소가스를 후드에서 포집하고 측정 덕트에서 측정된 가스분석에 의해 산출된 열방출율과 연기발생량을 파악하는 절차에 따라 실시하였다.

그림 6. ISO 9705(Room corner Test) 화재시험모습(2007)

2.4 분석방법

2.3.1 화재성장지수 (FIGRA) 산출

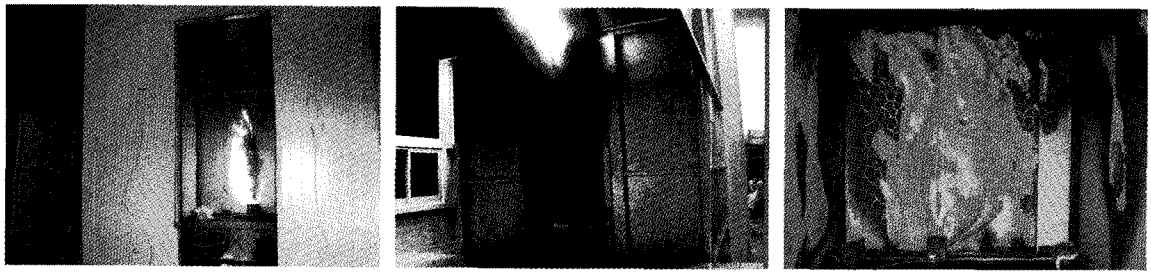

그림 5. ISO 13784-1 화재시험 모습(2008,방재시험연구원)

시험 중 측정된 시험체의 열방출율 중, 최대 열방출율을 해당시간(초)로 나눈 값을 화재성장지수(FIGRA)로 정의한다. 만약 시험 중에 플래시오버(급격한 화재확산현상, 이후 플래시오버로 표기)가 발생할 경우에는, 플래시오버 발생시의 열방출율을 최대값으로 산정한다. 또한, 플래시오버는 시험체 및 착화원의 합산 열방출율이 1 000 kW 발생시를 의미하며, KS F ISO 13784-1 및 KS F ISO 9705 시험시 착화원의 열방출율은 초기 10분간은 100 kW로, 추가 10분간은 300 kW로 가열함을 감안할 때, 초기 10분 중에 플래시오버 발생시 시험체에서 발생되는 최대 열방출율은 900 kW, 추가 10분 중에 플래시오버 발생시 시험체에서 발생되는 최대 열방출율은 700 kW 로 산정된다.

FIGRA = peak $HRR_{product}$ / t

여기에서, FIGRA : 화재성장지수(kW/s)

Peak $HRR_{product}$: 시험체에서 발생된 최대 열방출율(kW)

t : 시험체에서 발생된 최대 열방출율의 해당 시점(sec)

2.3.2 연기성장지수 (SMOGRA)산출

KS F ISO 13784-1 및 KS F ISO 9705 시험방법에 따른 측정된 시험체의 연기발생율 중, 최대 연기발생율을 해당시간(초)로 나눈 후 1 000을 곱한 값을 연기성장지수(SMOGRA)로 정의한다. 만약 시험 중에 플래시오버가 발생할 경우에는, 플래시오버 발생시의 연기발생율을 최대 연기발생율로 산정하며, 이를 바탕으로 연기성장지수를 산출하게 된다. 이때 착화원 자체에서 발생되는 연기량은 무시할 정도로 미미하므로 고려하지 않는다.

SMOGRA = 1 000 × peak SPR / t

여기에서, SMOGRA : 연기성장지수(m^2/s^2)

Peak SPR : 시험체에서 발생된 최대 연기발생율(m^2/s)

t:시험체에서 발생된 최대 연기발생율의 해당 시점 (sec)

2.5 시험 결과 및 분석

2.5.1 시험결과

총 15개 case의 시험 실시 결과를 화재성장지수(FIGRA), 연기성장지수(SMOGRA) 및 Flashover 발생여부 등을 기준으로 정리하면 표 1~표 3과 같다.

표 1. ISO 9705 실모형 화재시험결과(2007)

구분	EPS(100t)	PIR(100t)	PUR(75t)*주
	실내내장형	실내내장형	실내내장형
최대열방출율 (kW)	≥1000 (525초)	314.8 (756초)	≥1000 (760초)
플래시오버유무	Yes	NO	Yes
최대연기발생율 (m^2/s)	33.1 (522초)	2.13 (751초)	58.75 (760초)
FIGRA (kW/s)	1.71	0.12	0.92
SMOGRA ($m^2/s2$)	63.65	2.84	92.1

* 샌드위치패널의 화재안전성 연구(2008,한국내화건축자재협회)참조

표 2. I SO 13784 실모형 화재시험결과(2008)

구분	EPS(100t)		PIR(100t)		PUR(100t)	
	골조형	자립형	골조형	자립형	골조형	자립형
열방출율 (kW)	≥1000 (589초)	≥1000 (384초)	518 (795초)	527 (760초)	≥1000 (815초)	≥1000 (787초)
플래시오버유무	Yes	Yes	NO	NO	Yes	Yes
최대연기발생율 (m^2/s)	71.34 (559초)	22.5 (354초)	8.12 (1169초)	36.39 (1169초)	78.98 (785초)	78.61 (757초)
FIGRA (kW/s)	1.53	2.35	0.28	0.29	0.86	0.89
SMOGRA ($m^2/s2$)	127.63	63.55	6.95	31.13	100.61	103.85

표 3. ISO 13784 실모형 화재시험결과(2003)

구분	EPS(75t)		PIR(75t)		PUR(75t)	
	골조형	자립형	골조형	자립형	골조형	자립형
열방출율 (kW)	≥1000 (590초)	≥1000 (450초)	438 (830초)	434 (700초)	≥1000 (850초)	732 (749초)
플래시오버유무	Yes	Yes	NO	NO	Yes	NO
최대연기발생율 (m^2/s)	22.84 (530초)	40.15 (480초)	14.5 (1200초)	47.99 (810초)	58.75 (800초)	41.5 (650초)
FIGRA (kW/s)	0.89	2	0.06	0.14	0.61	0.52
SMOGRA ($m^2/s2$)	26.56	53.2	1.67	31.29	31.07	49.92

2.5.2. 결과분석

앞서 언급한 바와 같이 초기 피난의 안전성을 중요시하는 플래시오버의 발생 경향과 화재성장지수 및 연기성장지수에 근거하여 샌드위치패널의 두께별, 설치형태별(내장설치형, 골조조립형, 자체조립형) 차이를 비교하면 다음과 같다.

1) 동일조건의 샌드위치패널 두께가 75 mm에서 100 mm로 증가함에 따른 화재성장지수와 연기성장지수 모두 거의 대부분 증가하였다. 다만 고난연우레탄폼(PIR)패널의 자립형은 연기성장지수가 거의 차이를 보이지 않았으며, 추후 검토가 필요한 사항으로 판단된다.

2) 샌드위치패널 설치조건에 따른 화재성장지수는 대체적으로 골조조립형<실내내장형<자체조립형 순서로 증가하였다. 다만 우레탄폼(PUR)은 골조조립형<자체조립형<실내내장형 순서로 나타났으나 이는 참고문헌 인용한 시험데이터의 시험체 제작사양의 차이로 추정된다. 또한 연기성장지수는 설치조건과의 상관성은 나타나지 않았으며, 이에 대한 추가 연구가 필요한 사항으로 판단된다.

샌드위치패널은 일반 내장재와는 달리, 설치공법 즉 조립공법에 따라 화재성장과 연기발생에 차이가 나타나고 있어 실제 화재시의 위험을 반영 평가하기 위해서는 설치공법 적용이 가능한 ISO 9705 또는 ISO 13784-1과 같은 실모형 화재시험을 적용하는 것이 타당하다고 판단된다.

참고적으로 미국, 일본 등의 선진국 건축법령 등에서 내장재 실모형 화재시험방법을 선택적으로 적용할 수 있도록 하고 있어 다양한 재료에 대한 화재위험성을 효과적으로 평가할 수 있는 시스템을 갖추고 있다.

참고문헌

1. ISO 13784-1, Reaction to fire tests for sandwich panel building systems-Part 1:Test method for small rooms, ISO(2002)
2. ISO 9705(Fire tests-Full scale room test for surface products)
3. EN 14390, "Fire Test-Large scale room reference test for surface products", CEN, Brussels(2007)
4. V. Babrauskas, "Heat release rate in fires", Chapter 4, V. Babrauskas and S. J. Grayson Eds., Elsevier Applied Science, New York(1992)
5. B. Sundstrom et al., "Results and Analysis from Fire Tests of Building Products in ISO 9705, the Room/Corner Test", SP(1998)
6. B. Sundstrom, "European Classification of Building Products", Proceedings of the 8th International Fire Science & Engineering Conference (Interflam '99), Edinburgh, Scotland(1999)
7. 샌드위치패널의 화재안전성 연구(한국내화건축자재협회, 2008)
8. International Building code(미국통합건축법, 2006), ICC