그라스울 샌드위치패널의 화재 안전 성능에 대한 실험적 연구

권오상[†] · 유용호* · 김흥열* · 민세홍**

서울시립대학교 재난과학과, *한국건설기술연구원 화재안전연구센터, **가천대학교 소방방재공학과

An Experimental Study on Fire Safety Performance of Glass Wool Sandwich Panel

Oh-Sang Kweon[†] · Yong-Ho Yoo* · Heung-Youl Kim* · Se-Hong Min**

Disaster Science, University of Seoul

*Fire Research Center, KICT

**Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

(Received April 4, 2012; Revised September 26, 2012; Accepted October 12, 2012)

요 약

본 연구에서는 그라스울 샌드위치패널의 연소특성을 판단하기 위하여 밀도와 두께가 다른 총 6종류(밀도: 48/64 K, 두께: 50/75/100 T)의 시편을 선정하여, KS F ISO 9705 시험법을 준용하여 실물화재 시험을 실시하였다. 실물화재 시험은 2.4(L)×3.6(W)×2.4(H) m 크기의 화재실 내부에 시험체를 설치하여 프로판 버너에 의해 시편을 화염에 노출시켜 연소특성을 판단하게 된다. 총 25분에 시험 시간 동안 프로판 버너는 100 kW(10분), 300 kW(10분)로 출력되며, 시험을 통해 열방출률, 열류량, 내부 온도가 측정된다. 실물화재 시험을 실시한 결과, 버너 열량을 포함하여 각 시편의 최대 열방출률은 333.2~365.5 kW, 최대 열류량은 12.4~12.9 kW/m²로 나타났으며, 최대 내부온도는 모든 시편에서 500 °C를 초과하지 않았다. 실물화재 시험 중에 플래시오버 현상은 발생하지 않았으며, 각 시편의 열방출률, 열류량, 내부 온도 측정 결과 시편의 밀도 및 두께에 따른 차이점은 나타나지 않았다.

ABSTRACT

A real A real scale fire test was performed in accordance with KS F ISO 9705 test method to investigate the combustion characteristics of glass wool sandwich panels. To do this, six kinds of specimens having different density and thickness were examined. The glass sandwich panels were installed inside the room, which had internal dimensions of 2.4 m wide×3.6 m deep×2.4 m high. also, combustion characteristic are determined through the exposure of specimens to flame by the propane gas burner has a capacity of 100 kW (10 minutes) and 300 kW (10 minutes) for total 25 minutes of test time. Results of the real sale fire test, it was found that maximum HRR of each specimen was 333.2~365.5 kW, maximum heat flux was 12.4~12.9 kW/m² And, maximum internal temperature for all specimens was not over 500 °C. During the real scale fire test, flash-over didn't occur and the difference by density and thickness of specimen was not found from the results of HRR, heat flux, and internal temperature measurement.

Keywords : Fire, Fire test, Glass wool, Sandwich panel, KS F ISO 9705

1. 서 론

샌드위치패널은 건축물 내·외벽 및 지붕구조에 쓰이고 단열성능이 우수한 단열재료 구성된 복합자재이다. 또한, 시공의 편리성 등의 이점으로 시장규모 및 사용량이 증가하고 있다. 샌드위치패널의 이러한 이점에도 불구하고 내부 심재의 화재 확대에 의한 씨랜드 화재사고(99'), 이천 냉동창고 화재사고(08') 등과 같이 많은 인명과 재산피해

를 발생하는 화재사고가 발생되고 있다. 샌드위치 패널의 구조적 특징(복합재료)에 의해 내부 심재의 연소 특성에 따라 화재 사고시 플래시오버(Flashover) 등과 같은 급속한 화재 확대가 발생되고 있으며, 이러한 화재 사고 시 취약점을 보완하기 위해 샌드위치 패널 내부 심재의 난연화 등 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히, 국내에서 사용되고 있는 그라스울 샌드위치패널의 경우 화염전파 속도가 느리고 유독가스 발생량이 적은 그라스울의 연소특성으로

[†]Corresponding Author, E-Mail: oskweon@kict.re.kr
TEL: +82-31-3690-546, FAX: +82-31-3690-540

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.5.021>

인해 화재 사고 초기에 화재를 억제 할 수 있는 이점을 가지고 있다. 현재 국내에서는 건축법 및 국토해양부 고시 등에 의해 건축물 마감재료의 연소성능을 평가하도록 되어 있으며, 시험방법으로는 “KS F ISO 5660-1:연소성능 시험-열방출, 연기발생, 질량감소를-제1부:열방출률(콘칼로 리미터법)”, “KS F ISO 1182:건축 재료의 불연성 시험 방법”, “KS F 2271:건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법” 등이 있다. 이러한 연소 시험을 바탕으로 건축물의 마감재료를 불연, 준불연, 난연재료로 구분하고 있지만 KS F ISO 5660-1 등과 같은 연소 성능 시험 방법은 소형 재료(10 cm×10 cm)에 대한 시험방법으로 실질적인 실규모의 화재 안전성능을 평가하기에는 상당히 미흡한 실정이다⁽¹⁾.

현재 국내에서는 소형 시편위주의 시험방법 이외에 샌드위치패널의 연소성능을 실물규모로 판단하기 위해서 KS F ISO 9705: “화재시험-표면 제품에 대한 실물크기 시험실 시험”, “KS F 2835:단일연소원에 의한 건축제품의 연소성능 시험방법”, “KS F 13784-1:건축용 샌드위치 패널구조에 대한 연소성능 시험방법-제1부:소규모실 시험”, “KS F 13784-2:건축용 샌드위치 패널구조에 대한 연소성능 시험방법-제2부:대규모실 시험”을 제정하였다.

샌드위치패널 연소특성은 내부의 심재의 종류(스티로폼, 우레탄폼, 그라스울 등)에 따라 다른 연소특성을 가지고 있으며, 밀도 및 두께에 차이에 의해 동일 심재에 따라 서로 다른 연소특성을 나타내기도 한다. 따라서 본 연구에서는 내부 심재의 연소 특성으로 인해 화재 사고시 화재안전성을 확보할 수 있는 그라스울 샌드위치패널의 연소 특성을 판단하기 위해 KS F ISO 9705: “화재시험-표면 제품에 대한 실물크기 시험실 시험” 방법을 준용하여 실물화재시험을 실시하였다.

2. 실물화재 시험 방법

2.1 그라스울 샌드위치패널 시편 제작

샌드위치패널의 형태는 일반적으로 일반형벽체형지붕형 등으로 나눌 수 있으며, 구성요소로 표면재, 심재, 고정조정재, 기밀재 및 마감처리재로 구성되어 있다. 그라스울은 유리의 원료를 녹인 유리액을 압축공기로 비산시켜 가는 섬유모양으로 만든 것이다. 그라스울의 최고 안전 사용온도는 300 °C 정도로서 비중은 0.1 이하, 인장강도는 200 kg/cm² 정도이며, 그라스울은 일반적으로 플라스틱제품의 보강용으로 주로 쓰이지만 단열재·방음재·보온재·전기절연재·축전기용 격벽재 등에 사용된다. 또한 그라스울의 경우, 난연1급 (KS F 2271) 또는 불연재료(국토해양부 고시 제2006-476호) 수준의 성능을 지니고 있다⁽²⁾. 본 연구에서는 실물화재시험을 통한 그라스울 샌드위치패널의 사양별 연소 특성을 판단하기 위하여 Table 1과 같이 그라스울 샌드위치패널의 심재의 밀도 및 두께에 따른 실물화재

Table 1. Real Scale Fire Test Scenario

Outside Material	· 0.4~0.5 mm Zinc galvanizing
Inside Material	· Glass wool
Thickness	· 50 mm, 75 mm, 100 mm
Density	· 48 K [kg/m ²], 64 K [kg/m ²]
Test Method	· KS F ISO 9750

시험 시나리오를 결정하였으며, 이에 따라 총 6건의 실물 화재 시험을 실시하였다.

2.2 KS F ISO 9705 시험법

KS F ISO 9705 시험법에서는 Table 2에 나타난 바와 같이 화재실(2.4×3.6×2.4 m) 내부에 샌드위치패널을 설치하며, 모서리에 프로판 버너를 화원으로 이용하여 직접 불꽃을 노출시켜 샌드위치패널의 화재 거동을 평가한다. 화재 시험은 시험 시작 후 2분 동안 데이터를 수집하게 되며, 버너의 가열강도가 100 kW(10분 노출)에서 300 kW(10분 노출)로 증가하게 된다⁽³⁾. 또한 버너가 정지된 이후 3분 동안 열방출률 등의 변화를 측정 한 후에 시험이 종료되어 실규모 화재 시험은 총 25분 동안 진행된다. 버너의 출력값

Table 2. KS F ISO 9705 Fire Test⁽⁴⁾

Test room [meter]	· 2.4×3.6×2.4 (Opening: 0.8×2.0) · Material: Firebrick · Thickness: above 20 mm
Burner [Propane]	· Sand (2~3 mm), Gravel (4~8 mm) · 170×170×145(size)
Test Time	· Total Time: 25 minute · Burner: 100, 300 kW (10 minute)
Test Results	· HRR, Heat flux · CO, CO ₂ , Temperature

Figure 1. Measured heat release rate of propane burner test.

을 판단하기 위해 실규모 화재 시험 이전에 프로판 버너의 보정 시험을 실시하였으며, 이는 Figure 1에 나타내었다. 프로판 가스 유량은 산소소모법에 의해 측정되는 버너의 출력값을 100 kW 및 300 kW로 유지하도록 하였다.

3. 실물화재 시험 결과

3.1 그라스울 샌드위치패널 실물화재 시험

그라스울 샌드위치패널의 밀도 및 두께에 따른 연소 특성을 판단하기 위해서 KS F ISO 9705 시험 방법을 적용하여 실물 화재 시험을 실시하였으며, Figure 2에는 화재실에 각 시편이 설치되어 실물화재 시험이 진행되는 모습을 나타내고 있다. 시험은 시나리오에 따라 총 6건이 진행되었으며, 총 시험 시간은 플래시오버가 발생되지 않는 조건에서 총 25분 동안 진행된다. 플래시오버 조건은 다음과 같다⁽⁵⁾.

- 열방출률이 1 MW를 초과
- 바닥면 열류량이 20 kW/m^2 을 초과
- 연기층 평균 온도가 600°C 를 초과
- 문으로 화염이 출화
- 바닥면에서 복사열에 의한 종이의 발화

3.2 그라스울 샌드위치패널 실물화재 시험 결과

그라스울 샌드위치패널의 실물화재 시험 결과는 Figure

Figure 2. Comparison of fire behavior for the tested glass wool sandwich panels at $t=120 \text{ s}$.

3에 나타내고 있으며, 화재 시험동안 플래시오버가 발생하지 않아 초기에 시험의 종료없이 총 25분 동안 시험이 진행되었다. 그라스울 샌드위치패널은 화원에 대한 내부 심재의 착화 및 연소 반응이 발생하지 않았으며, 시험 종료 전에 내부의 가연 물질에 의한 소량의 화염이 발생되었지만 측정된 열방출률 등에는 영향을 주지 않았으며, 이내 소멸하였다. 이는 내부 심재의 접착재 등과 같은 가연성 물질의 연소 반응에 의해 발생한 것으로 판단된다.

실물화재 시험을 통해 산소소모법^(6,7)을 이용하여 열방출률이 계산되어지고 화재실 바닥에 설치되어 있는 열류량계에 의해서 열류량이 측정된다. 측정된 열방출률과 열류량은 Figure 4, 5에 나타내었다.

Figure 4.a는 그라스울 샌드위치패널의 밀도가 48 K인 경우 패널의 두께 변화에 따른 열방출률 값을 나타내고 있고 Figure 4.b에서는 밀도가 64 K인 경우의 패널 두께 변화에 따른 열방출률을 나타내고 있다. 시험 결과에서는 두께 변화에 따른 열방출률 변화량이 낮은 것으로 나타내고 있다. Table 3에서는 측정된 열방출률값의 최대값을 나타내고 있다. 열방출률 측정값은 버너의 출력값을 포함하고 있기 때문에 최대 열방출률의 측정된 시점의 버너출력 (300 kW)의 값을 제외하면 측정된 최대 열방출률은 약 33.2~65.5 kW로 판단된다.

Figure 3. Real Scale fire test results.

Figure 4. Measured heat release rate of glass wool sandwich panels for KS F ISO 9705 fire tests.

Figure 5. Measured heat flux of glass wool sandwich panels for KS F ISO 9705 fire tests.

Table 3. Max. HRR Fire of Test Results (Including Burner HRR)

Thickness \ Density	48K	64K
	Max. HRR [kW]	Max. HRR [kW]
50 T	334.6	346.3
75 T	339.2	359.7
100 T	333.2	365.5

Table 4. Max. Heat Flux of Test Results (Including Burner HRR)

Thickness \ Density	48 K	64 K
	Max. H/F [kW/m²]	Max. H/F [kW/m²]
50 T	12.9	12.9
75 T	12.4	12.4
100 T	12.4	12.9

단위 공간에서의 플래시오버를 판단하는 기준은 복사열에 의한 열류량값을 사용할 수 있으며, 열류량값이 20 kW/m^2 를 초과하게 되면 플래시오버가 발생했다고 판단하게 된다. 본 시험에서는 화재실 바닥 중앙에 열류계를 설치하여 화재 시험동안의 열류량 변화를 측정하게 된다. 열류계는 약 50 kW/m^2 의 범위를 가지며, 열류량을 받는 감지부는 흑체로 코팅되어 있다. Figure 5에서 실물화재시험을 통해 얻은 열류량값을 나타내고 있다. 그라스울 샌드위치 패널의 실규모 화재시험 진행 중에 플래시오버의 판단 기준인 20 kW/m^2 를 초과하지 않아서 조기의 시험 종료 없

이 총 25분 동안의 화재 시험을 진행하였다. 측정된 열류량값은 모든 실규모 화재시험에서 최대 약 13 kW/m^2 를 초과하지 않았으며, 열방출률과 유사하게 밀도와 두께에 따른 차이점을 나타내지 않았다. Table 4에서는 각 시험에 따른 측정된 최대 열류량값을 나타내고 있다.

단위공간에서 측정되는 열류량은 복사열에 의해 내부 가연물에 화염이 착화되는 현상을 통해 화재의 성장이 급속히 증가되어 발생하는 플래시오버의 판단을 위한 척도 중에 하나이다. 본 화재 시험에서 측정된 그라스울 샌드위치 패널의 열류량은 측정된 열방출률의 데이터값과 비교하

Figure 6. Temperature measurement points.

있을 경우 그라스울 샌드위치패널의 가연성 재료에 의한 측정값이 아니라 프로판 버너에 의한 내부 온도 등의 증가로 인해 측정된 열류량값으로 판단된다. 그라스울 샌드위치패널의 실물화재시험에 의해 측정된 열방출률과 열류량의 결과값을 통해서 분석한 결과 프로판 버너의 출력에 의한 증가 추세가 발생하고 있지만, 밀도와 두께의 차이에 따른 차이점이 나타나지 않는다고 판단된다.

화재실 내부의 온도변화를 측정하기 위해서 화재실 입구 측면 모서리에 열전대선이 설치되며, 이는 Figure 6에 나타내었다. 열전대선은 수직으로 총 7지점에서 측정되며

바닥지점에서부터 670, 970, 1270, 1420, 1570, 1720, 2100 mm 지점에 설치된다. Figure 7에는 실물화재 시험을 통해 측정된 내부온도의 측정값에서 시편의 종류에 따른 상부 두지점 Channel 6, 7에 대해서 나타내었다. 단위공간에서의 연소 확대의 특성에 따라 천장부인 채널 7에서 가장 높은 온도값이 측정되었고 천장에서부터 측정 높이가 하강되면서 점차 낮은 온도값들이 측정되었다. 모든 시편에서 버너의 출력이 100 kW가 되는 시점(시험 시작 후 120초)에서 온도가 상승하는 추세를 나타내고 이후 버너 출력이 300 kW시점(시험 시작 후 720초)에서 다시 온도가 급격히 상승하는 추세를 나타내고 있다.

내부온도 측정 결과에서는 측정 높이에 따른 채널(1~7) 별 온도값의 차이는 나타나고 있지만, 동일한 채널에서 각 시편에 따른 내부 온도의 차이점은 나타나지 않았다. 이는 앞서 나타난 열방출률, 열류량값과 유사하게 그라스울 샌드위치패널의 밀도와 두께에 따른 차이점이 실물화재 시험을 통해서 나타나는지 않는다고 판단된다.

그라스울 샌드위치패널의 실물화재 시험을 통해서 측정된 열방출률과 열유량에 대한 분석을 위해 밀도와 두께에 따른 그래프를 Figure 8에 나타내었다. Figure 8에서 실규모 화재시험을 통해 측정된 최대 열방출률과 최대 열유량을 나타내고 있으며, 측정된 최대값들은 플래시오버 판단 기준인 1000 kW(1 MW), 20 kW/m²를 초과하지 않는 일정 범위에서 유사한 값을 나타내고 있다.

3.3 화재성능 등급 분류

KS F ISO 9705 화재 시험 방법의 국제 시험 규격인 ISO 9705 화재 시험 방법의 화재성능분류 기준은 Table 5에서 나타내고 있는 호주의 Eufefic Research Program⁽⁹⁾를 통해 제시된 기준과 Figure 9에서 나타내고 있는 “BS EN 13501-1: 2007 Fire classification of construction products and building elements-Part1: Classification using data

Figure 7. Measured Temperature of glass wool sandwich panels for KS F ISO 9705 fire tests.

Figure 8. Comparison of maximum HRR and heat flux with fir scenario.

Table 5. Classification Criteria for Surface Products Tested to ISO 9705⁽⁹⁾

Class	Minimum time to flashover (min)	Heat release rate		
		Peak ^a (kW)	Peak ^b (kW)	Average ^a (kW)
A	20	300	600	50
B	20	700	1000	100
C	12	700	1000	100
D	10	900	1000	100
E	2	900	1000	-

a: Burner excluded./b: Burner included.

Table 6. Fire Classification Results of KS F ISO 9705

	Max. HRR [kW]	Time [sec]	Flashover	Class
48 K/50 T	334.6	1266	X	A
48 K/75 T	339.2	852	X	A
48 K/100 T	333.2	768	X	A
64 K/50 T	346.3	780	X	A
64 K/75 T	359.7	882	X	A
64 K/100 T	365.5	759	X	A

Figure 9. Classes of reaction to fire performance for construction product.

from reaction to fire tests”⁽¹⁰⁾ 기준이 있다. Table 5에서는 실물화재 시험을 통해 플래시오버가 발생하는 시간과 측정된 열방출률의 값을 통해 화재 성능 등급 분류를 하고 있으며, 열방출률의 경우 버너 열량 포함 유무, 평균값으로 구분된다.

Figure 9에서는 시간에 따른 열방출률의 변화에 따른 화재성능 등급 분류를 제시하고 있으며, 열방출률의 경우 버너의 열량을 포함시키지 않고 있다. 본 그래스울 샌드위치패널의 실물화재 시험에서의 결과값은 버너의 열량을 포함하고 있기 때문에 Table 5에서 제시하고 있는 화재성능등급 분류를 적용하여 시험체의 성능분류를 실시하였다.

Table 6에서는 KS F ISO 9705 화재 시험을 통해 나타난 그래스울 샌드위치패널들의 화재성능등급을 나타내고 있다. 모든 시험체에서 시험동안 플래시오버가 발생되지 않았으며, 최대 열방출률은 600 kW를 초과하지 않았다. 이러한 시험 결과를 통해 그래스울 샌드위치패널들의 화재안전 성능 등급은 모든 시험체에서 Class A를 만족하는 결과를 나타내었다. 따라서 그래스울 샌드위치패널의 실규모 화재 시험 방법인 KS F ISO 9705를 통해 내부 심재의 밀도 및 두께의 변화에 따른 화재성능 등급에는 차이점이 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 그라스울 샌드위치패널의 연소 특성을 판단하기 위해 KS F ISO 9705: “화재시험-표면 제품에 대한 실물크기 시험실 시험” 방법을 준용하여 실물화재시험을 실시하였다.

- 그라스울 샌드위치패널의 실물화재 시험을 통하여 연소 특성을 판단하기 위하여 밀도와 두께별 총 6가지의 시편을 선정하였다(밀도: 48, 64 K, 두께: 50, 75, 100 T).

- 실물화재 시험을 통하여 열방출률, 열류량, 내부온도가 측정되었다. 산소소모율법을 이용하여 열방출률을 측정하고 열류량은 화재실 바닥 중앙에 설치되어 있는 열류량계에 의해 측정된다. 또한, 내부 온도는 화재실 입구 모서리에 높이에 따른 7 Channel의 열전대선에 의해서 측정된다.

- 총 6가지의 그라스울 샌드위치 패널의 실물화재 시험 열방출률 측정 결과는 버너에 의한 열방출률 값을 제외하면 모든 시편에서 최대 열방출률은 약 33.2~65.5 kW 값을 나타내었다. 또한 총 시험 시간 25분(버너출력 100 kW(10분), 300 kW(10분)) 동안 유사한 증가 추세를 나타내었다.

- 최대 열류량값은 12.4~1.29 kW/m² 범위에서 측정되었으며, 최대 내부 온도값은 500 °C 내에서 측정되었다.

- 그라스울 샌드위치패널의 실규모 화재 시험에서 측정된 결과값을 통해 화재안전성능등급 분류기준에 적용하여 각 시험체간의 등급 분류를 실시한 결과 모든 시험체에서 성능등급 Class A를 만족하는 결과가 나타났다.

후 기

본 연구는 소방방재청 “2010차세대핵심소방안전기술개발사업” 지원에 의한 결과임.

참고문헌

1. O. S. Kweon, Y. H. Yoo and H. Y. Kim, “An Experimen-

- tal Study on the Warehouse Mock-up Fire Test”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 47-54 (2010).
2. KFBMA, “The Study on Fire Safety by Sandwich panels” (2008).
3. O. S. Kweon, Y. H. Yoo and H. Y. Kim, “A Study on the Fire Safety of Expanded Poly-Styrene Foam Panel”, Proceeding of 2009 Spring Annual Conference of KIFSE, pp. 513-519 (2009).
4. Korean Agency for Technology and Standards, “Fire Tests-full-scale Room Test for Surface Products”, KS F ISO 9705(2009).
5. National Fire Protection Association, “Standard Methods of Fire Tests for Evaluating Room Fire Growth Contribution of Textile Coverings on Full Height Panels and Walls”, NFPA 265 (2002).
6. Y. H. Yoo, O. S. Kweon and H. Y. Kim, “The Real Scale Fire Test for Safety in Apartment Housing”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 57-65 (2009).
7. V. Babrauskas and S. J. Grayson, “Heat Release in Fires”, Elsevier, pp. 31-48 (1992).
8. Korean Agency for Technology and Standards, “Fire Safety-Vocabulary”, KS F ISO 13943 (2002).
9. V. P. Dowling, et al., “Recent Approaches to Regulating the Fire Performance of Materials In Building”, pp. 24-29, research paper 1 of fire code research program, Chapter 4, CSIRO Division of Building Construction and Engineering, Australia (1995).
10. EN 13501-1:2007(E). “Fire Classification of Construction Products and Building Elements-part 1: Classification Using Data from Reaction to Fire Tests”.