건축물 외벽 마감재료의 수직화재 확산에 관한 실험적 연구

Experimental Study of Vertical Fire Spread of Exterior Wall Finishing Materials

권오상* · 유용호** · 김흥열*** · 민세홍****

Kweon, Oh Sang · Yoo, Yong Ho · Kim, Heung Youl · Min, Se Hong

Abstract

In this study, we have analyzed the full scale fire test from the fire accidents of finishing materials on the external wall of the buildings, and conducted the vertical fire experiment of finishing materials on the external wall of the buildings. As the ISO 13785-2 fire test, a international test standard, has been judged to be most appropriate as the test method that could figure out the fire performance of finishing materials on the external wall with the effect of external flame break-out due to the fire in the unit compartment among the real scale fire test methods, we have built up the experimental equipment for the full scale vertical fire experiment of finishing materials on the external wall of the buildings. As a result of the full scale vertical fire experiment, the fire has been spreaded up to 4m upwards within about 2 minutes at the point of 5 minutes when the external flame break-out was at maximum. The temperature was recorded as 897.7-987.7°C, and the test result showed that general aluminum composite panel was vulnerable against spread of the vertical fire on the openings due to external flame break-out.

Key words : Finishing materials on external wall, Spread of vertical fire, Real scale fire test, ISO 13785-2 fire test

요 지

본 연구에서는 건축물 외벽 마감재료의 화재 사고에 대한 안전성을 확보하기 위해 국내외의 실규모 화재 시험법에 대하여 분석하고 이에 따른 건축물 외벽 마감재료의 실대형 수직화재 실험을 실시하였다. 건축물 외벽 마감재료에 대한 실물화재 실험 방법 중에서 단위 구획실 화재에 의한 외부 화염 출화의 영향으로 외벽 마감재료의 화재 성능을 확인할 수 있는 시험법은 국제 시험 규격인 ISO 13785-2 화재 시험법이 가장 적절하다고 판단되어 ISO 13785-2 화재 시험법에 의한 실대형의 실물 화재 실험 장비 구축 및 일반 알루미늄 복합패널의 실대형 수직화재 실험을 실시하였다. 실대형 수직화재 실험 결과, 외부 화염 출화가 최고가 되는 시험 시작 5분을 시점으로 약 2분 안에 상부 4 m 지점까지 확대되었다. 온도는 897.7~987.7°C로 측정되었으며 실험결과는 일반 알루미늄 복합패널이 개구부의 외부 화염 출화에 의한 수직화재 확산에 취약함을 나타내었다.

핵심용어 : 외벽 마감재료, 수직 화재 확산, 실물 화재시험, ISO 13785-2 시험

1. 서 론

건축물의 마감재료에는 외벽 마감재료와 내부 마감재료가 있으며 일부 외벽 마감재료의 경우에는 내부 마감재료로도 사용되고 있으며 외벽 마감재료로 사용될 경우 재료의 종류에 따라 적용 가능한 외벽구조에는 커튼월, 바름벽, 쌍음벽, 붙임벽 등이 있다. 초기 건축물의 외벽 마감재료로 벽돌, 콘크리트, 페인트, 타일 등에서 석재, 금속패널, 콘크리트패널, 유리 등으로 변화 하였으며, 최근 고층화, 채광, 미관, 단열, 시공성으로 인해 금속패널과 유리가 외벽 마감재료로 많이 사용되고 있다(한국내화건축자재협회, 2011).

건축물 내장재 연소특성에 관한 연구는 소방법 및 건축법

에 의한 난연기준 제시에 따라 위험 기준들을 제시하고 있지만(박영주 외, 2001), 국내 외벽 마감재료에 대한 법적 기준은 건축법상에 방화지구안 또는 이외의 외벽 규정만이 있었으며, 부산 우신골든스위트 화재사고(2010) 이후 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙” 제24조 5항에 의해 외벽 마감재료에 대한 성능 기준이 신설되었다. 현행 규칙에서는 외벽 마감재료의 경우 불연재료 또는 준불연재료를 마감재료로 사용하고 국토해양부 장관이 정하는 고시에 의해 화재 확산 방지 구조 기준에 적합하게 설치되는 난연재료도 마감재료로 사용할 수 있게 정해져 있다.

현행 규칙에서 정하고 있는 불연/준불연재료의 마감재료 성능을 위한 시험 방법은 시험체 크기 10(W)×10(L)×5(H) cm

*정회원 · 서울시립대학교 재난과학과 박사과정(E-mail : oskwoen@kict.re.kr, 교신저자)

**한국건설기술연구원 화재안전연구센터 수석연구원

***한국건설기술연구원 화재안전연구센터 연구위원

****가천대학교 소방방재공학과 교수

로 단일 재료의 화재 성능을 평가 할 수 있지만, 커튼월, 알루미늄 복합패널 등과 같이 복합재료가 사용되는 외벽 마감 재료에 대한 화재 성능을 평가하기에는 무리가 있다고 판단 된다. 건축물 외벽 마감재료의 경우 화재가 수직으로 확산되는 위험성에 노출되어 있지만 기존의 화재 시험방법들에서는 이러한 수직화재에 대한 재료의 화재 위험성을 판단하기에는 제한적이다. 점차 다양해지고 복합화 되고 있는 건축재료의 화재 안전성을 확보하기 위해 국내·외적으로 실규모의 화재 실험들이 진행되고 있으며, 이에 따라 본 연구에서는 외벽 마감재료에 대한 국내·외 실험 화재 시험 방법들을 분석 해 보고 국내 실정에 맞는 건축물 외벽 마감재료의 수직화재 확산 실험 화재 실험 방법을 제시하고자 하였다.

2. 외벽 마감재료의 실험화재시험

2.1 국내의 실험화재시험 방법

국내 외장재 실험화재 수직화재 확산 성능 평가 시험 관련 규격은 KS F ISO 13785-1 “건축물 외장 구성재에 대한 연소 성능 시험 방법-제1부: 중간 규모 시험”이 2006 년도에 제정되어 있으며, Fig. 1에서는 시험체를 포함한 시험 장비의 개요도를 나타내고 있다. 시험 장치는 세 개의 벽이 “ㄷ” 자로 설치되고, 이는 시험체 지지벽과 2개의 측벽(바람막이벽)으로 구성된다. 측벽은 시험체 지지벽 양측에 직각으로 설치되며, 그 사이에 폭 0.6m의 시험체 지지측벽이 직각으로 설치되고 시험 장치의 전체 높이는 2.8 m이다. 화원은 프로판 가스를 원료로 사용하고 1.2(L)×0.1(W)×0.15(H)m인 버너를 이용하며, 시험은 초기 2분 동안 버너 출력 전에 데이터를 취득하고 2분 후 30분 동안 버너를 출력하여 시험을 진행하고 버너 출력은 10초 내에 100 kW로 조절한다. 시험동안에 시험체의 착화, 시험체 위로 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 m 및 2.4 m

높이까지의 화염전파, 시험체의 내부 공간에서의 외부 표면으로 화염 발생을 기록하며, 시험 중 1분마다 측정된 값의 총 열류량 및 온도의 평균을 측정한다.

미국 외벽 마감재료의 실험화재시험은 NFPA 285, “Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components 2006 Edition”으로 비재하 조건에서의 건축물 외장재 화재 확산 특성 분석 시험 방법이다. 이 시험 방법은 커튼월, 가연물로 제작된 구조물, 가연물의 조합, 불연성의 외장재 등과 같은 비재하 외벽체와 패널의 화재 확산 특성을 분석하기 위하여 제시되었다. 이 표준안은 비재하 건축물 외장재, 가연성 물질이나 구성품을 사용한 커튼월이 적용된 패널에서의 다음의 성능이 요구되는 화재확산 특성을 평가한다.

- 벽체의 외벽 마감은 화염 확산을 억제하는 능력을 가지고 있어야 한다.
- 벽체는 가연물의 화재원이나 화재 발생층에서 상부층으로의 수직 화염 확산을 억제하는 능력을 가지고 있어야 한다.
- 벽체는 벽체의 내부 표면에서의 수직 화염 확산으로 인한 상부층으로의 화재확산을 억제하는 능력을 가지고 있어야 한다.
- 벽체는 화재원의 인접한 구성품이나 공간의 수평적 화재 확산을 억제하는 능력을 가지고 있어야 한다.

Fig. 2에 나타나 있는 시험 장비는 건축물의 2층 규모 ($4.8\text{ m} \pm 25\text{ mm}$)의 높이로 구성되며, 각 단위 공간의 크기는 $(3.05\text{ m} \pm 13\text{ mm}) \times$ 너비 $(3.05\text{ m} \pm 13\text{ mm}) \times$ 높이 $(2.13\text{ m} \pm 13\text{ mm})$ 이다. 시험을 위해서 사용되는 화재원은 외부의 가스버너와 내부 1층의 가스버너가 있으며, 시험 동안의 가스 버너 출력은 외부에서 0~398 kW, 내부 1층에 0~904 kW를 제시하고 있다.

영국은 BS 8414-1:2002, “Part 1: Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the face of the Building”에서 비재하 외벽 마감재, 건축물 외벽시스템과 외부 화재에 노출된 외벽 시스템 등에 대한 화재 성능 시험을 나타내고 있다. 시험은 외부의 화재원이나 단위 공간에서 발생한 화재가 성장하여 창문 등과 같은 개구부를 통해 외부로 출화할 경우의 마감재의 화재 특성을 판단한다. 하지만 이 시험은 창문 등과 같은 개구부의 성능을 평가하지는 않으며 또한, 커튼월, 유리패널의 기준을 나타내지는 않는다.

건축물 외장재의 수직화재 확산 성능을 평가하기 위해 온도와 열류량을 측정하기 위해서 Level 1(연소실 상부 2.5 m)과 Level 2(연소실 상부 5.0 m) 지점에 열전대선이 설치되며, 열류량계는 연소실 상부에서 1.0 m 지점에서 0.5 m 간격으로 3지점에 설치된다. 시험 시간은 총 36분이고 초기 5분 동안은 데이터를 수집하고 점화 후 30분 동안 실험이 진행되며, 시험체의 연소 상황에 따라 최대 60분까지 실험을 진행 할 수 있다. Fig. 3에서는 시험 장비의 열전대 설치 위치와 실험 사진을 나타내고 있다.

Fig. 1. KS F ISO 13785-1 Test

Fig. 2. NFPA 285 Real scale fire tester

Fig. 3. BS 8414-1 Real scale fire tester

앞서 나타낸 실물화재실험 이외에 ASTM E 119, NFPA 251, CAN/ULC-S101-07, KS F 2268-1 등에서 재료의 연소시험방법을 제시하고 있지만, 이러한 시험은 가열로 등을 이용하여 마감재에 직접 열원을 공급하는 방법으로 화재층에서 플래시오버 발생으로 인한 외부 화염 출화에 따른 화재상부층으로의 수직화재 확산 성능 평가 방법에는 적합하지 않는다고 판단된다.

2.2 ISO 13785-2 Real Scale Fire Test

ISO 13785-2(2002) “Reaction-to-fire tests for facades-Part 2: Large-scale test” 시험법(이하 ISO 13785-2)은 구획 화재로부터 열과 화염이 창문 등으로부터 출화되었을 때 건물 외벽 마감재료 등의 화재에 대한 반응을 결정하기 위한 시험법이다. Fig. 4에서는 ISO 13785-2에서 제시하고 있는 시험 시설 및 표준 점화원을 나타내고 있으며, 이 시험법은 외벽 마감재료의 수직화재 확산 성능은 화재실 개구부를 통하여 배출되는 화염을 외장구성재의 표면에 직접 노출시켜 평가하며, 구성은 단위 구획실과 90°의 오목한 코너를 갖는 시험체 틀이 있다. 시험체 틀에는 열류량과 온도를 측정할 수 있는 열류계와 열전대선이 설치되며, 시험 전 교정 단계와 시험 동안 계측이 진행된다. 연소실에는 프로판 가스를 사용하는 버너가 설치되고 프로판 가스의 0~120 g/s 유량으

1. 주 시험체 틀
2. 보조 시험체 틀
3. 연소실
4. 연소실 개구부
5. 프로판 버너

Fig. 4. ISO 13785-2 Standard ignition source

로 총 25분 동안 진행된다. 또한 외벽 마감재료가 설치되는 시험체 틀은 주 시험틀 4.0(H) × 3.0(W) m, 보조 시험틀 4.0(H) × 1.2(W) m를 가진다.

a. Propane gas flow rate

1. O, Heat flux measurement (1 to 8)
2. X, Temperature measurement (T1 to T7)

Fig. 5. Burner flow rate & measurement system

Fig. 5에서는 시험동안의 프로판 가스의 유량 변화와 외벽 시험체 틀에 설치되는 계측기를 나타내고 있다. 시험은 총 25분 동안 진행되고 초기 0~4분 동안 프로판 가스의 유량이 점차 증가한 이후 5~20분 동안 최대 유량인 120 g/s를 나타낸다. 또한, 20~25분 동안 가스 유량이 감소한 이후 시험은 종료된다. 이러한 가스 유량의 변화에 실제 외부에서의 열유량과 온도 변화에 대한 시험 전 교정 작업이 진행되며, 교정 작업에서 연소실 개구부 상단에 위치하고 있는 온도 측정 센서(T1, T2, T3)에서는 프로판 가스의 유량이 최대인 5~20분(총 15분, 유량 120 g/s) 구간의 온도는 평균 800°C 이상이 되어야 한다. 또한, 이 구간에서의 열유량은 1, 7, 8 지점에서 $(35 \pm 5) \text{ kW/m}^2$ 이 되어야 한다.

3. 외벽 마감재료의 수직 화재확산 실험 시험

3.1 ISO 13785-2를 적용한 실물 화재 시험

본 연구에서는 건축물 외벽 마감재료의 수직 화재 확산 성

Fig. 6. Aluminum panel

a. Real scale test apparatus

b. Propane gas burner system

Fig. 7 ISO 13785-2 Fire test facility

능을 평가를 위하여 국제 시험 규격인 ISO 13785-2(2002) “Reaction-to-fire tests for facades-Part 2: Large-scale test”을 적용하여 실물화재 시험을 진행하고 향후 건축물 외벽 마감재료의 수직확산 성능 기준에 적용하고자 한다.

실물화재 시험을 위하여 국내에서 사용되고 있는 외벽 마감재료 중에서 2010년 부산 해운대의 주상복합건축물 화재 사고 시 외벽 마감재료로 사용된 일반 알루미늄 복합패널을 선정하였다.

Fig. 6에서는 부산 해운대의 주상복합건축물에 적용된 알루미늄복합패널을 나타내고 있으며, 이는 알루미늄 0.5 mm + 폴리에틸렌폼 3 mm + 알루미늄 0.5 mm로 이루어진 복합자재를 사용하였다(한국내화건축자재협회, 2011). 이러한 복합패널에 그라스울 50 mm로 구성된 구조를 앵글에 일체화 시키고 일체화된 구조를 콘크리트 슬래브 또는 벽에 고정시키는 시스템을 사용한 알루미늄복합패널 커튼월 구조로 이루어져 있다.

일반 알루미늄 복합패널에 대한 실대형 수직화재 확산 시험을 위해서 ISO 13785-2 시험법에 의한 시험 장비를 구축하였으며, 이는 Fig. 7에 나타내었다.

구획화재를 구현하기 위해 연소실과 외부 화염 출화를 발생하기 위한 연소실 내부의 버너 시스템이 구축되었다. 버너 시스템은 외부 화염 출화 조건 5~20분 구간에서 온도 평균 800°C이상, 열류량 (35±5) kW/m²를 만족하기 위해 연소실 외부에 공기팬을 설치하였다.

시험체 틀에는 시험방법에 의해 총 8개의 열류계와 총 7개의 열전대 선이 설치되었다. 시험체 틀에 설치되는 열류계는 시험체 벽면에 평면하게 설치되어 외벽 마감재료에 설치 시 마감재료와 열류계의 표면이 일치하도록 제작되었다. 실대형의 수직화재 확산 실험은 총 25분 동안 진행된다.

일반 알루미늄 복합패널의 실험을 Fig. 8에 나타내고 있다. 일반 알루미늄 복합패널은 주/보조 시험체 틀에 설치되었으며, 각 시험편에 높이는 4 m이다.

일반 알루미늄 복합패널의 실대형 수직화재 확산 시험은 가스유량의 변화가 1 단계(5분, 0→120 g/s), 2 단계(15분, 120 g/s), 3 단계(5분, 120→0 g/s)로 진행된다.

본 실물화재 시험 동안에 알루미늄 복합패널은 1 단계에서부터 시험체 하부에 화염이 착화되었으며, 프로판 가스가 최대값으로 증가되는 2 단계의 초기에서부터 화염이 최상부로 확산되었다.

Fig. 9에서는 실물화재 시험을 통해 측정된 온도의 변화를 나타내고 있다.

Fig. 9.a T1~3에서는 화재 시험동안 개구부에서 출화되는 화염의 온도를 측정하고 있으며, 구획 화재시 플래시오버를 구현하기 위한 프로판 가스 유량 2 단계 시점에서의 온도는 812~1021°C를 나타내고 있다. Fig. 9.b에서는 시험체 최상부에 설치되어 있는 T4~7에서의 온도 변화를 나타내고 있으며, 시험체틀의 모서리 부분인 T5~7에서 높은 온도를 나타내고 있으며 화염이 직접적으로 도달하지 않은 T4에서는 상대적으로 낮은 온도 변화를 나타내고 있다.

실물화재 시험 결과, 알루미늄 복합패널의 수직화재 확산은 시험 초기에서부터 급격히 온도가 상승하고 개구부 화염 출

Fig. 8. Photo of real scale fire test

Table 1 Maximum temperature & time

	T4	T5	T6	T7
Temp. [°C]	186.5	897.7	955.2	987.7
Time [sec]	382	426	436	436

화가 최대가 되는 2 단계 시점(300 sec)에서 급격히 온도가 상승하였다. 이는 외부 화염 출화에 대한 화재 확산 방지 효과가 없음을 나타내고 있기 때문에 화재 발생 시 급격한 수직화재 확산으로 인한 높은 화재 위험성을 보이고 있다.

Table 1에서는 T4~7의 최대 온도와 도달 시간을 나타내고

Fig. 9. Measured temperature by real scale fire test

있다. T7에서 987.7°C로 가장 높은 온도가 측정되었으며, 도달 시간은 436초이다. 모든 지점에서 약 7분 16초 내에 최대 온도에 도달하였으며, 연소실의 출화화염이 최대가 되는 시점인 5분을 고려하였을 경우, 모든 지점에서 플래시오버 발생 후 약 3분 이내에 수직화재 확산이 급속히 진행됨을 나타내었다.

4. 결 론

건축물 외벽 마감재료의 화재 사고에 대한 안전성을 확보하기 위해 국내 법규가 신규제정 되었지만 기존 시편 위주의 시험을 통한 마감재료의 성능 기준은 수직 화염 확산에 대한 정확한 위험성을 판단하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 건축물 외벽 마감재료에 대한 국내외의 실규모 화재 시험법에 대하여 분석하여 보고 이에 따른 국제 시험 규격인 ISO 13785-2 시험법에 의한 일반 알루미늄 복합패널의 실험을 실시하였다. 화재안전 분야에서 실규모의 실물화재 실험이 보편화되고 있고 국내에서도 많은 분야에서 실물화재 실험이 진행되고 있다. 건축물 외벽 마감재료의 경우 국내 기준은 KS F ISO 13785-1인 제정되어 있지만 단위 구획실에서의 외부 화염 출화에 따른 수직 화재 확산을 평가하기에는 시편 크기, 열원 등이 중규모 수준으로 제시되고 있어 미흡하다. 미국과 영국에서는 각국 실정에 맞는 시험법을 제정하고 있지만 각 시험법에 의한 시설을 구축하기에는 콘크리트 구조 등을 사용하기 때문에 시험 장비 및 시설 구축이 필요하다. 이러한 시험 설비 구축의 편리성, 단위 구획 화재 모사를 통한 수직화재 확산 성능 평가 가능 여부 등을 고려하여 국제 시험 규격인 ISO 13785-2 시험법에 의한 건축물 외벽 마감재료의 수직화재 시험을 진행하였다.

실험결과, 단위 구획실에서 외부 화염 출화는 개구부 상부에 설치되어 있는 열전대선에 의해 812~1021°C를 나타내어 시험법에서 제시하고 있는 800°C 이상을 충족시켰다. 일반 알루미늄 복합패널의 수직화재 확산 성능 시험 결과 외부 화염 출화가 최고가 시점인 시험 시작 5분에서부터 약 2분 내

에 최상부 지점(개구부에서 4 m지점)까지 수직 화재 확산이 진행되었다. 또한 최고 온도는 T7에서 987.7°C로 나타났으며, 이는 일반 알루미늄 복합패널의 수직화재 확산의 취약점을 나타내고 있다. 현재 본 연구에서는 일반 알루미늄의 실험실물화재 실험을 진행하였으며, 향후 국내 건축물 외벽 마감재료의 실물화재 실험을 통하여 이에 따른 화재안전 성능 및 화재확산 방지 구조 등과 같은 다양한 공법들에 의한 외벽 마감재료의 성능 평가 방법이 마련될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 “2010차세대핵심소방안전기술개발사업” 지원에 의한 결과임.

참고문헌

- 국토해양부 (2012) 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙, pp. 11-12.
- 박영주, 이해평, 김해령 (2001) 주택화재 감식을 위한 바닥재의 연소특성에 관한 연구, 한국방재학회논문집, 제11권, 제5호, pp. 197-206.
- 한국내화건축자재협회 (2011) 외벽 마감재료 조사·연구, pp. 1-13.
- KS F ISO 13785-1 (2006) 건축물 외장 구성재에 대한 연소 성능 시험 방법 제1부: 중간 규모 시험.
- BS 8414-1 (2002) “Part 1: Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the face of the Building”.
- ISO 13785-2 (2002) “Reaction-to-fire tests for facades-Part 2: Large-scale test”.
- NFPA 285 (2006) “Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components 2006 Edition”.

- ◎ 논문접수일 : 2012년 06월 01일
- ◎ 심사의뢰일 : 2012년 06월 28일
- ◎ 심사완료일 : 2012년 10월 15일