

## 4

글  
-  
채승언  
화재안전연구소 수석연구원

# 건축물 가연성 외부 마감 시스템의 화재성능 실험 방법 및 평가 기준 도입을 위한 비교 시험

## 들어가며

최근 국내외에서는 가연성 외장재로 화재가 급속히 확산되는 화재 사고가 증가하고 있다. 특히, 2017년 12월 제천 스포츠센터 필로티 주차장에서 발생한 화재는 건물 외벽의 인화성이 강한 가연성 외장재로 전파되었으며, 화재는 급속도로 확산되어 많은 인명 피해가 발생하였다. 또한 2017년 영국에서는 그렌펠 타워 내부에서 화재가 발생하여 건물 외부의 가연성 외장재(복합패널)로 전파된 후 건물 전체로 확산되어 인명 피해가 발생하였다.

이러한 외부 마감재로의 화재 확산 문제를 해결하기 위해 국내에서는 기존 건축물과 신축 건축물에 대하여 화재안전성능 강화를 위한 대책 방안을 마련하고 있다. 첫 번째 방안인 기존 건축물의 화재안전성능 강화 방안은 가연성 외장재를 일부 철거하고 화재안전성능을 확보한 보강 공법을 적용하는 것으로서 정부 주도로 교체 사업을 진행하

고 있다. 두 번째 방안인 신축 건축물에 대한 화재안전성능 강화 방안은 화재안전성능을 확보한 외부 마감 시스템을 설치하게 하는 것이다.

보강 공법과 새로운 외부 마감 시스템에 대한 화재안전성능을 검증하기 위해서는 기존의 100×100×50mm의 작은 시편으로 시험하는 콘칼로리미터 시험방법으로는 한계가 있다. 특히, 외부 마감에 사용되는 자재의 복합화와 다양한 시공 방식에 따라서 발생 가능한 화재 확산 위험성에 대한 평가에는 적합하지가 않다. 이러한 방안들을 수행하기 위해서 가장 필요한 부분이 화재안전성능을 검증할 수 있는 새로운 실험 방법과 평가 기준의 도입이다.

이 글에서는 외부 마감 시스템에 대한 실험 방법과 평가 기준에서 여러 시험 방법 중 국내 적용에 적합한 두 가지 시험 방법을 소개하고자 한다.



제천 스포츠센터 화재 사례 (2017)



중국 베이징 CCTV 빌딩 화재 사례 (2010)



영국 그렌펠 화재 사례 (2017)

그림 1. 국내외 화재 사고 사례

국내외 외부 마감 시스템의 실대형 시험방법 및 평가 기준 현재 국외에서 활용되고 있는 외장재에 대한 실대형 시험방법 중에서 대표적인 시험방법으로는 영국의 BS 8414 part-1 'Fire performance of external cladding systems. Test methods for non-loading external cladding systems applied to the face of a building'과 BS 8414 part-2 'Fire performance of external systems. Test methods for non-loading external cladding systems fixed to and supported by a structural steel frame', 미국의 NFPA 285 'Standard Fire Test method for evaluation of fire propagation characteristics of exterior wall assemblies containing combustible components', 그리고 국제 규격인 ISO 13785-2 'Reaction-to-fire tests for facades-Part2: Large-scale test' 등이 있다. 상기 실대형 시험방법 중에서 한국산업표준 부합화에 적합한 두 가지 방법에 대한 간략한 내용 비교는 표 1과 같다.

국내에서는 난연, 준불연, 불연의 3개의 등급으로 분류하고 있으며, KS F ISO 5660-1 및 KS F ISO 1182 기준의 콘칼로리미터를 이용한 시험방법을 사용하고 있다. 현재 적용되고 있는 시험 방법에 따른 시험은 복합자재 및 다양한 시공 공법에 대한 복합적인 화재안전성능 검증이 어려우므로 실대형 시험방법을 도입하여 복합자재 및 시공 방식에 따른 붕괴 및 화재확산 등에 대한 종합적인 화재안전성능을 검토하고자 하였다. 국제 표준은 평가 기준이 없지만 상기 두 시험방법에서 사용되는 시험체의 크기와 형태가

비슷하여 BS 표준에 있는 평가 기준을 적용하여 비교하는 것으로 하였다.

BS 8414 시험방법에 따른 평가 기준은 다음과 같다. 점화 전 5분 동안 Level 1 외부 8개의 열전대에서 측정되는 평균온도를 시작온도( $T_s$ )로 측정하고 점화 후 Level 1 8곳에서 측정되는 온도가 시작온도( $T_s$ )+ 200°C 이상 되는 시점 Start time( $t_s$ )을 기준으로 Level 2의 외부 열전대의 온도가 15분 내에 어느 한곳이라도 600°C 이상에 도달하면 외부 화재 확산이 이루어진 것으로 판단한다. 또한, Level 2의 내부열전대에서도 600°C 이상 도달하는 시점을 기준으로 내부 화재 확산을 판단하게 된다. 그림 2는 BS 시험장치와 평가를 위한 열전대 측정 센서의 설치 위치를 보여준다.

### 외부 마감 시스템의 실대형 시험 표준별 비교 시험

본 비교 시험 분석에서는 비면의 한계로 모든 실대형 시험에 대한 평가와 비교 시험을 소개할 수 없어서 국내 도입에 가장 적절한 시험방법 중 두 가지 시험방법에 대해서만 언급하였다. 비교 시험 대상인 외부 마감 시스템의 실대형 시험방법으로는 BS 8414와 ISO 13785-2로 하였다. 시험체는 동일한 외부 마감 시스템을 각각 적용하여 비교 시험을 수행하였으며 비교시험을 통해 각 시험방법에 대해 국내 실정에 적합성을 검토하고자 하였다. 시험장치 제작과 동일 외부 마감 시스템을 적용하고 평가를 위한 측정 장비는 BS 표준에서 요구하는 평가 기준에 맞추어 시험을 진행하였다.

규격	ISO 13785-2 (국제)	BS 8414-1, -2 (영국)
시험체 크기	[주벽] 길이×높이 3.0×5.7 (m) [측벽] 길이×높이 1.2×5.7 (m)	[주벽] 길이×높이 2.6×8.0 (m) [측벽] 길이×높이 1.5×8.0 (m)
화원	프롤판 또는 목재 5.0±0.5MW	목재 3.0±0.5MW
성능 평가기준	현재 없음	화재확산 지연시간으로 분류 (Pass or Fail) 시험 시작을 기준으로 15분 이내에 Level 2의 내·외부 열전대 중 어느 한 지점에서 600°C를 초과하는 경우

표 1. 국외 외장재 실대형 시험 방법 및 평가 기준

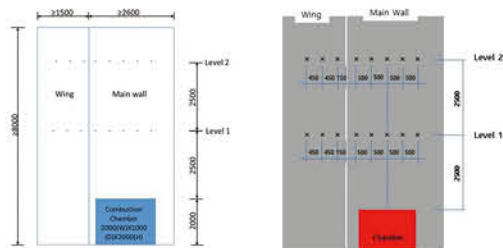


그림 2. BS 8414 성능 평가를 위한 열전대 설치 위치

BS 8414 시험을 위해 다음과 같이 시험 장치를 제작하였다. BS 8414는 바탕재가 조적으로 구성되므로 시멘트 블록을 이용하여 바탕재를 구성하였다. 또한 연소실은 규격에서 제시한 대로 2000×1000×2250mm로 구성하였으며, ISO 13785-2 시험체의 바탕재는 ALC 블록을 사용하여 제작하였다. 시멘트 블록의 경우 시험장치의 설치 한계로 인해 비슷한 재료인 ALC 블록으로 대체하여 사용하였다. 단 외부 마감 시스템 설치 시에는 동일한 방식으로 제작하였다.

본 연구에 적합한 외부 마감 시스템은 화재확산구조가 있는 드라이비트 공법이다. 시스템에 대한 세부 사항은 표2 및 그림3, 4와 같다. 본 시험에 적합한 외장재 시스템의 단면 상세와 재료의 물성에 대해 명기한 자료이다. 외장재 시스템은 일명 “드라이비트”라 칭하는 외단열 시스템으로 바탕재 위에 단열재로 EPS와 Mineral Wool을 사용하였다. 여기서 EPS는 KS M 3808 에 의해 지정된 비드법 2종 단열판 3호로 두께 120mm를 적용하였고, Mineral Wool은 밀도 140K를 두께 120mm 높이 200mm으로 2400mm 간격으로 시공하였다. 바탕재와의 접착은 아크릴계 접착제를 떠 붙이는 방식으로 접착하였다. 단열재위에 단열재의 보강을 위해 유리섬유 메쉬를 부착하였으며 아크릴계 전용 본드를 이용하여 부착한 후 표면마감재를 흙손으로 마무리하는 방식으로 시공하였다.

상기 외부 마감 시스템에 대하여 다음과 같이 각각의 시험장비에 적용하여 시스템을 설치하였으며 화재안전성 평가를 위해 BS 8414의 기준에 따라 열전대를 설치하였

다. 열전대는 Level1과 Level2로 구분하였으며, Level 1은 개구부 상단에서 2500mm, Level 2는 개구부 상단에서 5000mm위치에서 설치하였다. Level 1은 외부 열전대 8개, Level2는 내·외부 열전대를 각각 8개씩 총 24개의 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다.

BS 8414 시험의 착화는 규격 상에는 저밀도 섬유보드를 백유에 5분 동안 침지시킨 후 점화를 하는 것으로 되어 있으나 국내에서 동일한 재료의 공급이 불가능하여 헵탄을 이용한 착화를 시행하였다. 365×325×50mm의 철제 사각팬 2개에 물 1ℓ와 헵탄 2ℓ를 각각 넣고 점화봉을 이용하여 시험 시작과 함께 점화를 시작하였다. 시험 방법에 따라 30분까지 관찰 후 시험체에 영향이 가지 않도록 연소실을 소화 호수를 이용하여 진화를 하였고, 이후 30분을 더 관찰하였다.

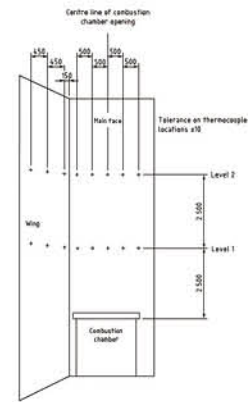


그림 3. BS 8414 열전대 설치 위치

Materials	Size(mm)	Details
EPS Board	120	KS M 3808(비드법 2종 단열판 3호) Density : 20 kg/m <sup>3</sup>
Bond (for Board)	-	Water, Acryl Emulsion, Silicon dioxide, Calicte
Mineral Wool	120	density : 140 K
Glass Fiber Mesh	3.2×3.2	weight : 145 g/m <sup>2</sup>
EDT Bond	-	Water, Acryl Emulsion, Dolomite, Silicon dioxide
Finishing	-	Water, Acryl Emulsion, Silicon dioxide, Dolomite

표 2. 외장재 시스템 재료 물성

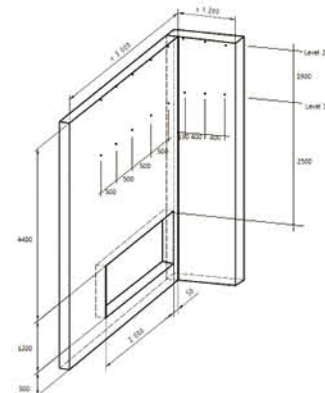


그림 4. ISO 13785-2 열전대 설치 위치



그림 7은 BS 8414 시험의 시간대별 연소상태를 나타낸 것이다. 시험 시작 후 약 1분 경과 후 개구부 상부로 화염이 출화되었으며, 2분 정도 경과 후 Level 1의 외부 마감재에 구멍이 뚫리면서 중앙부 내부로의 연소가 진행됨을 육안으로 확인되었다. 약 5분 정도 경과 후 좌측 측벽 외부로 화염이 전파되는 것이 관찰되었고 이후 Level 1 측벽 전체로 확산되었다.

ISO 13785-2 시험은 시험시작과 함께 프로판 가스 밸브를 열어 점화를 시작하였으며 5분 동안 가스 유량이 최대 120g/sec가 되도록 조절을 하고 이후 15분 동안 최대 유량을 유지한 후 다시 5분 동안 가스 유량을 조절하여 소화하도록 하였다. 그러나 본 시험에서는 가스의 최대 유량을 유지하는 동안 화재 확산이 크게 발생하여 안전에 우려가 있어 시험 시작 후 약 14분경에 시험을 조기 종료 하였다. 그림 8은 ISO 13785-2의 시간대별 연소상태를 나타낸 것이다. ISO 13785-2는 시험 시작 후 약 2분 경과 후 측벽으로 화재가 확대되었으며, 3분 경과 후 측벽 상부에서 불꽃이 발생한 것으로 보아 측벽 내부의 가연성 물질로 연소가 이루어진 것으로 판단되며, 4분 경과 이전에 Level 1 이하의 외장재는 대부분 연소되었다. 이후 10분 정도 경과하여 Level 2 외부 마감재가 탈락되는 것이 관찰되었으며 13분 경과 후 연소 확대를 지연시킬 목적으로 설치된 Mineral Wool이 탈락되면서 안전을 고려하여 시험을 조기 종료 하였다.

### 외부 마감재 실험형 시험 규격별 비교 시험 결과

BS 8414의 Level 2의 외부 온도 데이터를 살펴본 결과 그림 9과 같이 온도 측정 위치에 따라 다소 상이하게 나타나나 대략 100~400℃ 사이에서 약 25분간 유지하다 온도가 감소하고 30분경과 후 100℃ 이하에서 유지되었다.

ISO 13785-2의 Level 2의 외부 온도를 분석한 결과 그림 10과 같이 Level 1에 비해 낮은 온도 수준을 나타내었으나 BS 8414의 Level 2의 외부 온도와 비교하여 상대적으로 높게 나타났다. 이는 온도 측정지점이 BS에 비해 약 600mm가 낮게 설치되어 나타난 현상으로 보이고 더불어 화재 확산의 정도가 BS에 비해 빠르고 크게 나타난 결과로 판단된다.

시험 종료 후 시험체별 연소상태에서는 BS 8414의 중앙부에 외장재 표면 마감재의 뚫림 현상이 관찰되었으며, 연소실 상부로 올라갈수록 연소의 범위가 줄어드는 양상을 보였다. 내부 단열재의 연소 상태를 살펴보기 위해 외장재 표면마감재를 제거한 후 내부 상태를 살펴보았다. Level 1의 단열재는 모두 연소하였으며, Level 2의 단열재는 높은 온도에 의해 중앙부 및 측벽의 약 2/3의 면적이 녹아내린 것으로 확인되었다.

ISO 13785-2는 기준에서 정하고 있는 25분이 도달하기 전에 조기 종료를 하였으며, 이후 연소가 완료된 시험체의 상태를 살펴보았다. 그림과 같이 외장재의 대부분은 연소되어 바탕재가 드러났으며, Level 1의 위치에 설치된 Mineral Wool도 시험 도중 탈락된 것을 확인하였다.



바탕재 설치



단열재 시공 완료

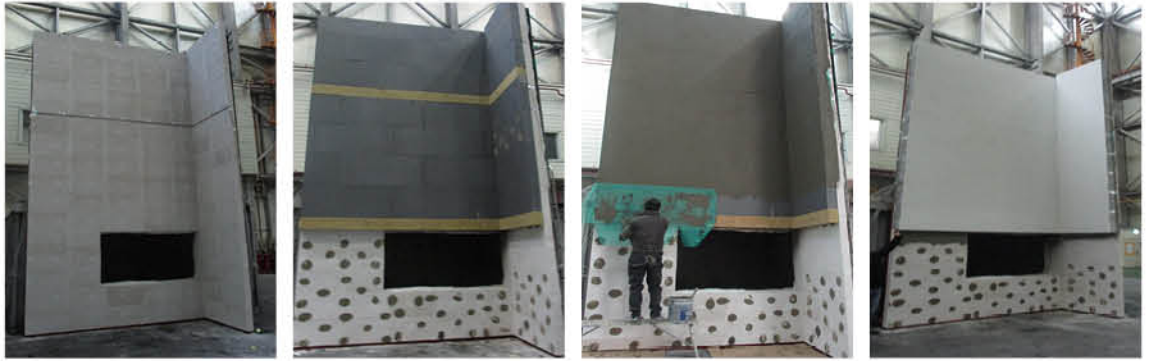


1차 미장 및 매쉬 시공



2차 미장

그림 5. BS 8414 외부 마감 시스템 설치 예시



바탕재 설치

단열재 시공 완료

1차 미장 및 매쉬 시공

1차 미장

그림 6. ISO 13785-2 외부 마감 시스템 설치 예시



0min

5min

10min

14min

30min

그림 7. BS 8414 외부 마감 시스템 실물 화재 실험



0min

5min

10min

14min

30min

그림 8. ISO 13785-2 외부 마감 시스템 실물 화재 실험

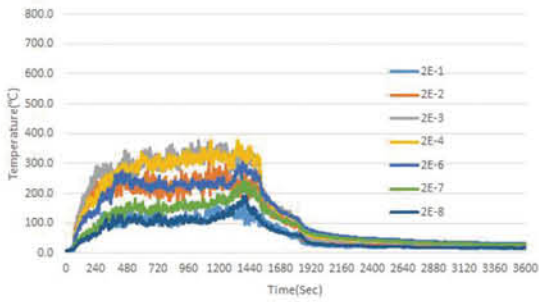


그림 9. BS 8414-1 의 Level 2 외부 온도 측정 결과

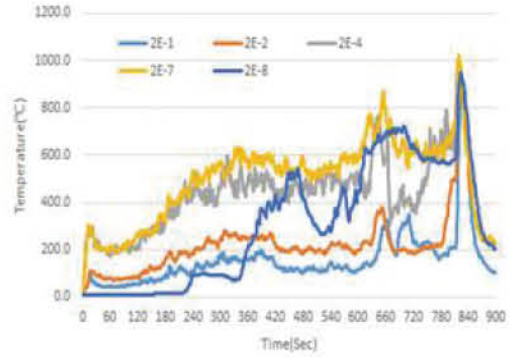


그림 10. ISO 13785-2 의 Level 2 외부 온도 측정 결과

### 맺음말

국외 실대형 시험 방법을 비교 분석한 결과 ISO 13785-2 시험방법의 경우 사용하는 국가가 한정적이며 평가 기준이 명확히 통일되지 않았다. 또한, ISO 13785-2 시험방법은 유럽 몇몇 국가에서 공동으로 제정하였으나 제정을 추진한 국가에서도 이 시험방법을 도입하지 않고 있다. 이후 ISO TC 92 SC1에서 다시 개정 논의가 되고 있으나 합의에 이르지 못하였다. 따라서 본 규격은 불완전한 상태로 개정이 중단된 상태이므로 국내의 시험기준으로 도입하기에 시기상조인 것으로 파악되었다. 이에 반하여 영국의 BS 8414는 시험방법은 ISO 13785-2 시험체와 비슷한 시험체를 통한 시험을 수행하고 있으며 평가 기준을 가지고 있다. BS 표준은 2002년 제정된 이후로 영국 등에서 지속적으로 시험 수행을 하고 있다. 또한 상기 두 시험방법을 비교 시험한 결과와 이외의 여러 비교 시험 결과를 고려하면 ISO 국제표준 시험방법은 국내 외부 마감 시스템에 대한 평가 변별력이 떨어지는 것으로 분석되었다.

현재 외부 마감 시스템 화재성능 시험방법 도입을 위해 BS 8414 표준을 국내 실정에 적합하게 변경하여 한국산업표준으로 도입 중에 있다. 외부 마감 시스템에 대한 한국산업표준이 제정되면 국토부 고시에서는 필요한 외부 마감재에 대하여 한국산업표준 실대형 시험 방법으로 화재안전성능을 확보될 수 있도록 개정 예정이다. ☒