

불연성 무기 단열재를 화재확산 방지구조로 적용한 외단열 마감시스템의 화재성능

Effect of External Thermal Insulation Composite System with a Non-combustible Calcium Silicate Based Mineral on The Mitigation for Reducing Fast Spread of Flame

이 종 찬^{1*}

박 종 철²

송 훈³

Lee, Jong-Chan^{1*}

Park, Jong-Chul²

Song, Hun³

BM tech, Ilsanseo-Gu, Goyang, 10387, Korea ¹

World wise wall, Gwonseon-Gu, Suwon, 16571, Korea ²

Energy & Environmental Division, Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, Jinju, 52851, Korea ³

Abstract

As a building energy saving standard strengthened, The number of building installed external thermal insulation composite system(ETICS) using EPS insulation increased. But frequent fire accident in the buildings installed EIFS using EPS led to strengthening of building fire safety regulation. This study is for fire property of EPS ETICS reinforced with noncombustible calcium silicate-based mineral insulation as a fire spread prevention structure(FSPS). Fire test for large scale wall by ISO 13785-2 was applied and results showed EPS EIFS with FSPS got 3~8 times superior fire safety than normal EIFS by visual investigation. Temperature and heat flux measurement results, which data of upside of specimen were lower than downside, also supported fire safety of EIFS with FSPS.

Keywords : non combustible mineral insulation, exterior insulation, fire spread prevention structure, large scale fire test

1. 서 론

건축물의 에너지 절약기준이 강화됨에 따라 단열성능이 우수한 외단열 공법의 적용이 증가 추세에 있다. 국내 외단열 공법에 적용되는 단열재는 대부분 유기계 단열재로 화재에 약한 단점이 과거부터 반복되어 지적되었으나, 우수한 단열성능 대비 저렴한 시공비용 등의 장점이 더 큰 관계로 계속 사용되었다.

그러나 2010년 부산 해운대 우신 골드스위트 화재 사고로 외벽의 화재확산 문제가 제기되어 관련 규정이 개정되었

고, 2010년 의정부에서 발생한 외단열 마감공법 적용 도심형 아파트 화재사고는 인명피해까지 발생하여 단열재를 포함한 외벽 마감재료의 화재성능 규정을 더욱 강화하기에 이르렀다.

물론 미국, 영국, 캐나다, 독일, 중국 등 국외에서도 외벽 화재사고가 발생한 사례가 있으며, 외벽의 안전 확보방안을 위하여 관련 규정을 두고 있는 것으로 알려져 있다[1].

강화된 국내 ‘건축법 시행령[2]’ 및 ‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙[3]’ 중 외벽 마감재 관련 규정을 보면, 외벽재료는 Table 1과 같이 바닥면적, 인접 건축물과의 거리, 그리고 높이 기준에 해당되는 건축물의 외벽은 불연, 또는 준불연 마감재료로 시공하도록 되어 있고, 특히 6층 이상 또는 22m 이상 건축물은 화재확산 방지구조를 선택적으로 설치할 수 있도록 규정하고 있다.

화재확산 방지구조는 2012년 9월 고시된 건축 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준[4]에서 Table 2와

Received : May 18, 2016

Revision received : July 12, 2016

Accepted : September 2, 2016

* Corresponding author : Lee, Jong-Chan

[Tel: 82-31-911-2689, E-mail: mcljc@naver.com]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

같이 규정하고 있으며, 외단열 마감공법의 화재확산 방지구조 적용은 2015년 2월 Figure 1과 같이 개정안이 행정예고 되고 의견수렴 단계를 거쳤으나, 아직 미결정된 상황이다.

Table 1. Exterior wall material regulation

Type of building	Requirement
- Commercial building	
· Floor total area used as public business $\geq 2000m^2$	- Non combustible or semi-non combustible material as finish material(involving insulation, paint, coating, and so on)
· Located distance < 6m from factory (exception for low fire risk building)	- If material is complex and is non combustible or semi-non combustible, insulation material can be flame retardant.
- High-rise building (more than 6 stories or 22m)	
- High-rise building (more than 6 stories or 22m)	- If fire spread prevention structure is installed, finish material can be flame retardant.

Table 2. Fire spread prevention structure regulation

Item	Requirement
Definition	- Structure which filled with the following non-combustible materials more than 400mm in height between exterior finish and slab
Material	- Fire proof gypsum board over 12.5mm thickness by KS F 3504
	- Gypsum cement board over 6mm thickness by KS L 5509 or Plat fiber reinforced cement board over 6mm thickness by KS L 5114
	- Mineral wool insulation board over No. 2 performance by KS L 9102
	- Material with 15min flame block performance and under 120 K of outside temperature by KS F 2257-8

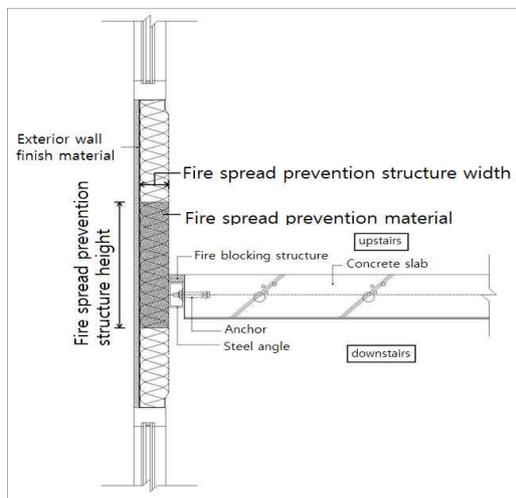


Figure 1. Example of the fire spread prevention structure

Table 2의 화재확산 방지구조 재료를 보면, 단열성능을 갖는 재료는 미네랄을 뿐으로 이외의 재료를 건축물의 외벽에 적용할 경우, 외벽의 단열성능을 저감시키는 문제가 발생한다. 따라서, 현재의 기준에 따르면 외단열 벽체의 화재확산방지구조로는 미네랄을 보온판 2호 이상의 것만 사용이 가능할 것으로 판단된다. 그러므로 외단열 시스템의 화재확산 방지구조에 적합한 단열성 및 불연성이 우수한 단열재 개발 및 적용이 요구된다. Table 2에서도 규정 재료 이외의 경우 KS 2257-8에 의한 시험에 의해 15분의 차열성 및 120 K 이하의 차열성을 갖는 재료는 사용할 수 있도록 되어 있으나, 상세 시험 및 판정 방법은 아직 없는 상황이다.

외국의 경우 외단열 공법을 포함한 외장재의 화재 시험방법이 다양하게 있으며, 국가별 규격이 아닌 국제규격으로는 ISO 13785 'Reaction to fire tests for facades-Parts 2: Large scale test'가 있다[1,5].

국내에서도 외장재의 실물크기 화재실험을 ISO 13785-2 시험방법에 준하여 2010년 수행한 바 있는데, EPS 외단열 마감공법의 경우 3분만에 소실되는 화재 취약성을 확인하였다[6].

본 연구에 앞서 무기질 경량 단열재를 사용한 습식 외단열 공법과 건식 금속패널 공법 적용 시험체를 제작, ISO 13785-2시험에 의한 화재성능을 평가하여 무기질 경량 단열재의 화재안전성 및 건식 금속패널 마감보다 습식 외단열 마감의 화재안전성이 우수함을 확인한 바 있다[7].

본 연구는 상기 연구에 대한 추가 연구로 무기질 경량 단열재를 화재확산 방지구조로 일반 EPS 마감공법에 적용하여 화재성능을 실물크기 화재시험인 ISO 13785-2에 의해 평가하고, 화재확산 방지구조로의 적용가능성을 확인하고자 수행하였다.

2. 시 험

본 연구에서는 일반 EPS 외단열 마감공법의 화재성능 향상을 위하여 규산칼슘계 불연성 단열재를 화재확산 방지구조로 적용한 EPS 외단열 마감공법의 화재성능을 확인하기 위하여 외벽체 대형 화재 시험방법인 ISO 13785-2에 의해 시험체를 제작하고, 화재시험 과정에서 시험체의 육안 외형 분석, 온도 및 열류량을 측정하여 화재안전성을 분석하였다.

2.1 시험재료

화재확산 방지구조로 사용되는 규산칼슘계 경량 세라믹 단열재는 규석과 시멘트, 생석회, 무수석고 등을 사용, 발포시킨 후 오토클레이브 양생 제조한 것으로 Table 3의 성능을 갖는 제품을 600×600mm 크기로 절단 사용하였다.

Table 3. Property of mineral insulation for fire spread prevention structure

Oven dry density	Thermal conductivity	Compressive strength	Combustibility
More or less 120kg/m ³	Less than 0.045W/mK	More than 0.3MPa	Non combustible

화재확산 방지구조를 제외한 재료는 일반 외단열 마감공법에 사용하는 EPS, 부착모르타르, 보강섬유, 코트마감재를 사용하였으며, 시험 바탕체의 특성상 모르타르 부착을 하지 못하여 100×100×2mm의 L형 강재 앵글을 단열재 적층 및 고정하기 위하여 사용하였다.

2.2 시험방법

ISO 13785-2 대형 화재 시험의 개요는 Table 4와 같고 외벽 시험체는 Figure 2와 같이 “┌” 형태로 정면 주 부위는 3.0(W)×4.0(H)m, 측면 날개 부위는 1.2(W)×4.0(H)m 크기로 세라믹울로 덮은 시험 바탕체에 설치한다.

Table 4. Outline of ISO 13785 parts 2 test method

Item	Content
Combustion chamber	20~100m ³
Specimen	Main wall : 3.0(W)×4.0(H)m Side wall : 1.2(W)×4.0(H)m
Opening	2.0(W) × 1.2(H)m
Ignition source	Propane burner fuel flow rate : maximum 120g/s
Test time	25min
Data report	Temperature, heat flux

외부 화염 출화를 위해서 20~100m³ 크기의 실내 공간을 구성하고 내부에서 프로판 버너에 의해 화염을 외부로 분출시켜 개구부 상단 외장재 부분의 화재확산을 유도한다.

총 25분 동안 시험체 틀에 설치되어 있는 K-type 열전대선과 열류량계로 온도와 열류량을 측정한다.

프로판 버너는 Figure 3과 같이 25분 동안 총 3 단계에 걸쳐 증가 및 감소가 되며 프로판 버너에 의해 개구부에 설치

되어 있는 열류량계 1, 7, 8에서는 55±5kW/m²의 열류량을 받고 시험체를 중앙에 설치되어 있는 열류량계 2에서는 35±5kW/m²의 열류량을 받는다. 또한 개구부 상부에 설치되어 있는 온도 측정선에 측정되는 온도는 프로판 버너 유량 2단계에서 800℃ 이상이 측정된다.

ISO 13785-2는 시험방법에 대해서는 설명되어 있으나, 시험결과에 대한 판단기준이 없는 상태이다. 따라서, 시험결과에 대한 판단 방법이 다양하게 나타날 수 있다.

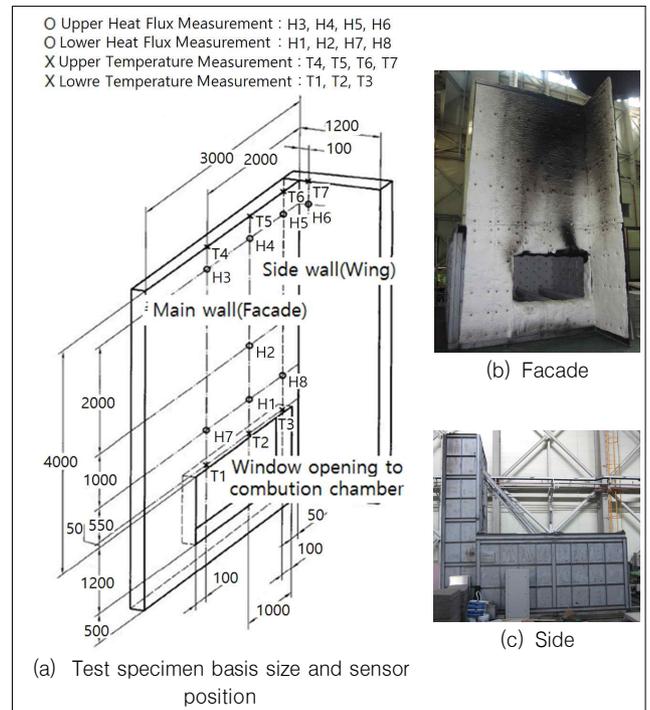


Figure 2. ISO 13785-2 test setup

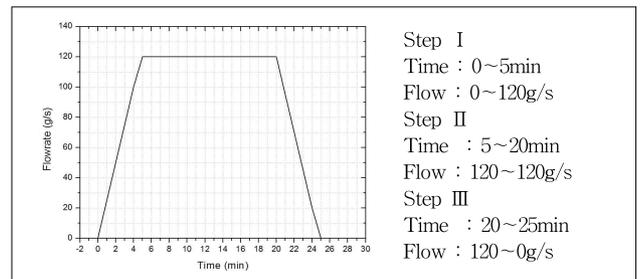


Figure 3. Propane gas burner flow

시험체는 ISO 13785-2 시험 바탕체에 직접 부착이 불가능하므로 Figure 4와 같이 강재 프레임을 설치하고, 여기에 L형 앵글을 용접한 후, 단열재를 L형 앵글에 고정하며 적층하였다. 단열재는 화염이 분출되는 개구부 상단에 화재확산

방지구조로 불연성 무기단열재를 2단 설치하고, 그 위 2단은 일반 EPS 단열재, 그 위 2단은 건축물의 층 높이를 고려하여 다시 화재확산 방지구조로 불연성 무기 단열재를 2단 설치하였다.

시험체의 구성 단면은 Figure 5와 같으며, EPS 및 무기질 경량 단열재는 2015년 8월 고시된 건축물의 에너지 절약 설계기준[8] 중 중부지방 단열재 두께 기준인 160mm에 적합하게 절단 및 L형 앵글로 고정하고, 최종 마감재로 마감하였다.

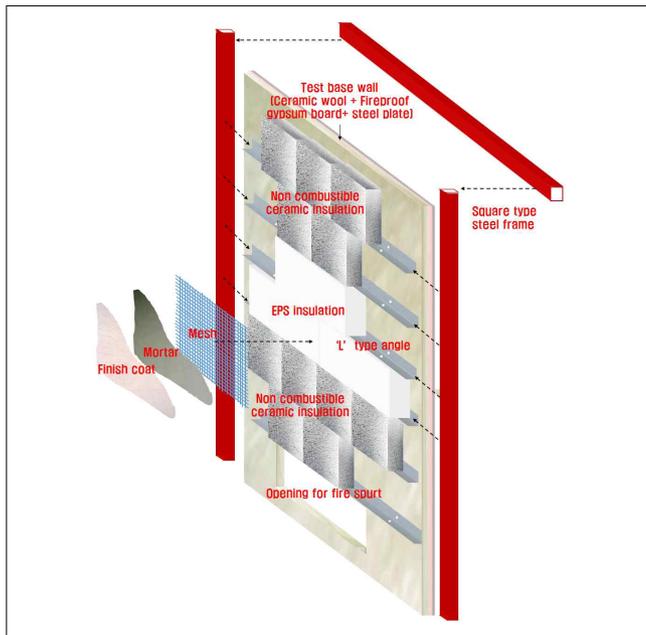


Figure 4. Test specimen component

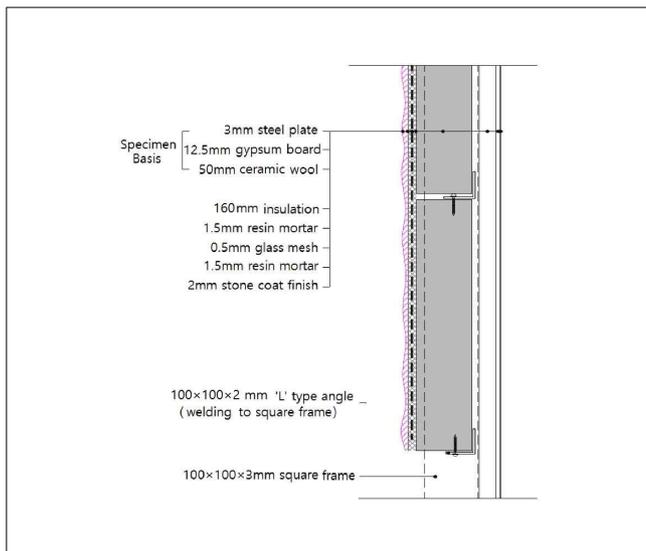


Figure 5. Test specimen section



(a) Insulation installation (b) Stone coat finish

Figure 6. Fire test specimen manufacture

본 시험체 제작에는 시험 바탕체의 특성상 L형 앵글만 이용하여 단열재를 고정하였으나, 현장에서는 L형 앵글 및 부착모르타르로 구조체에 부착 고정하므로 구조 안전성이 화재 시험체보다 훨씬 우수할 것으로 예상된다.

Figure 6은 시험체에 설치한 화재확산 방지구조와 최종 마감상태를 보여주고 있다.

3. 시험결과 및 분석

본 화재시험 결과는 시험 과정 중 육안에 의한 외형 분석, 시험체에 설치한 열전대를 통한 온도측정 분석 및 열류량계를 통한 열류량 분석으로 정리하였다.

3.1 화재시험 경과 시간별 시험체 외형 분석

Figure 7은 화재시험을 정리한 것으로 화재실험 시작 후 Table 4의 2단계가 시작되는 5분 경과 후 화염이 시험체 상단까지 닿을 정도로 커지기 시작하였고, 12분 경과시 우측 날개 중앙부에 부착된 EPS 단열재 부위 중 일부에서 착화되기 시작하여 중앙부 EPS 단열재까지 확산되었다.

17분 경과 후 전면부 EPS 단열재가 모두 화염에 소실되었고, 마감재 부분도 모두 탈락되었다. 20분 경과 후 3단계에 들어서면서 화염이 줄어들고, 25분 경과 후 종료시점에서는 EPS 단열재는 완전 소실되고, 유기계 마감재는 화염에 의해 연소되었으며, 무기 단열재는 탈락이나 소실되지는 않았으나 균열 및 변형이 발생된 것을 확인하였다.

기존의 동일한 시험 방법에 의한 EPS 외단열 마감재 화재 시험 연구[8]에서 3분만에 화염이 최상단 EPS 단열재까지 확산되어 소실된 결과와 비교하면, 본 연구에서는 EPS 단열재 착화시점이 12분 경과 시점이므로 최소 4배의 화재성능 향상을 갖는 것으로 판단되며, 화재확산 방지구조를 적용한 전체 외단열 시스템은 시험 종료 시점인 25분까지 EPS 단열

재 부위를 제외하고는 상단부까지 화염이 확산되지 않는 것으로 보아 최대 8배 우수한 화재확산 방지효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.



Figure 7. Fire test result as elapsed time

3.2 시험체의 온도측정 및 분석

온도측정결과는 Figure 2에서 표시된 위치인 화염 분출구 바로 상단에 설치된 T1~T3 부위 온도와 시험체 상단에 설치한 T4~T7로 구분하여 Figure 8, 9에 정리하였다.

화재 최성기인 Step II에서 하단 온도가 버너의 가열조건과 동일하게 비교적 일정한 온도가 유지되는 반면 상단부 온도 측정위에서는 EPS가 소실되기 시작하는 시간인 12분 정도에 온도의 변화가 급격하게 상승하는 특징을 보여주었다. 이는 EPS 단열재도 화재로 소실되기 전까지는 우수한 단열성으로 화재 온도를 저감하는데 기여하기 때문으로 판단된다.

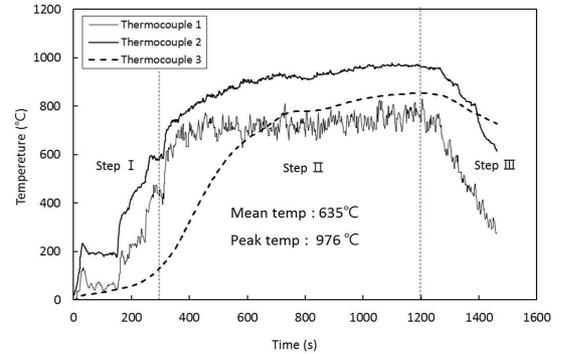


Figure 8. Temperature of lower side of the specimen

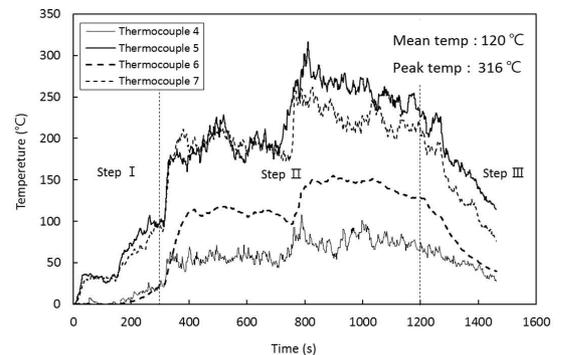


Figure 9. Temperature of upper side of the specimen

화재 발생 위치인 하단부 온도 측정위치인 T1~T3는 25분간 평균 온도 635°C, 최고온도는 T2 위치에서 시험 18분 시점에 976°C로 측정되었다. 반면 시험체 상단에 위치한 T4~T7 부위는 평균 온도 120°C, 최고온도는 T5 위치에서 시험 13분 시점에 316°C로 측정되었다.

시험체의 하단부는 화염 온도에 근접하고, 시험체 상단부는 무기 경량 단열재에 의해 보호되므로 두 위치의 온도차는 화재안전성과 관련이 있는 것으로 볼 수 있다. 최고온도는 상단부가 하단부 대비 660°C 낮으며, 67%의 온도저감율을 나타냈다. 또한 평균온도는 상단부가 하단부 대비 515°C 낮으며, 80%의 온도저감율을 나타냈다.

3.3 시험체의 열류량 측정 및 분석

열류량 측정결과는 Figure 2에서 표시된 위치인 화염 분출구 바로 상단에 설치된 H1, H2, H7, H8 부위 열류량과 시험체 상단에 설치한 H3~H6으로 구분하여 Figure 10, 11에 정리하였다. 열류량 측정결과는 온도 측정결과와 달리 화재 최성기인 Step II에서 EPS 소실 시작시간인 12분 경과시 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

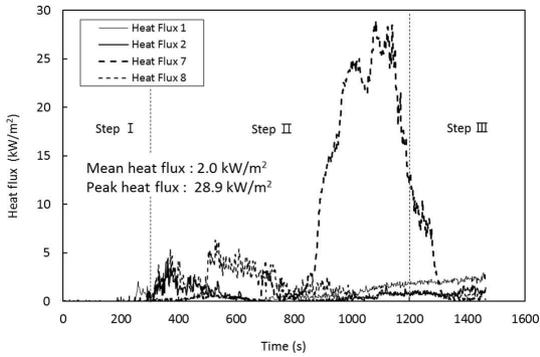


Figure 10. Heat flux of lower side of the specimen

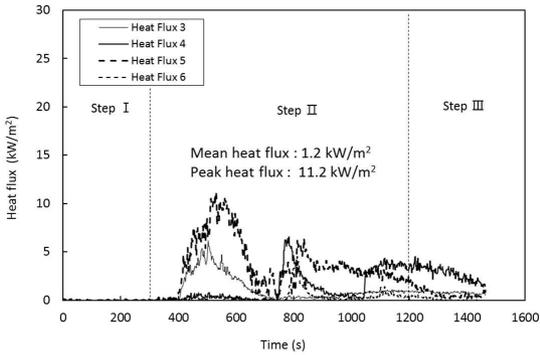


Figure 11. Heat flux of upper side of the specimen

하단부에 위치한 H1, H2, H7, H8은 25분간 평균 열류량이 2.0 kW/m^2 , 최고 열류량은 H7 위치에서 18분 시점에 28.9 kW/m^2 으로 측정되었다. 반면 시험체 상단에 위치한 H3~H6 부위는 평균 열류량이 1.2 kW/m^2 , 최고 열류량은 H5 위치에서 시험 9분 시점에 11.2 kW/m^2 로 측정되었다.

최고 열류량은 상단부가 하단부 대비 28.9 kW/m^2 낮으며, 61%의 열류량 저감율을 나타냈다. 또한 평균 열류량은 상단부가 하단부 대비 0.8 kW/m^2 낮으며, 40%의 열류량 저감율을 나타냈다.

4. 결 론

불연성 무기단열재를 화재확산 방지구조로 적용한 EPS 외단열 마감시스템의 대형 화재시험에 의한 화재성능을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 일반 EPS 마감시스템은 대형 화재시험에서 3분 만에 상단까지 화염이 확산된 기존 연구와 비교하면, 본 연구결과에서는 중앙부에 설치된 EPS 단열재가 착화된 시점이 12분이고 최종 25분까지 상단에 설치된 무기

경량 단열재가 소실되거나 탈락되지 않고, 유지되는 것으로 보아 기존 EPS 외단열 마감시스템보다 최소 3배에서 최대 8배 우수한 화재확산 방지효과를 갖는 것으로 판단된다.

- 2) 시험체에 설치한 7개의 열전대 및 8개의 열류량계를 이용하여 온도 및 열류량 변화를 측정된 결과, EPS의 화재 소실은 열류량 측정결과보다 온도측정결과와 상관성이 높은 것으로 판단된다.
- 3) 화염에 가까운 하단부 대비 외단열 마감시스템에 의해 보호되는 상단부의 온도 저감율은 최고 온도 기준 67%, 평균온도 기준 80%인 것으로 나타났고, 열류량 저감율은 최고 열류량 기준 61%, 평균 열류량 기준 40%로 화재확산 방지효과가 있음을 확인하였다.

요 약

건축물의 에너지 절약기준이 강화됨에 따라 단열성능이 우수한 외단열 공법의 적용이 증가 추세에 있으나, 빈번한 화재사고로 외단열 화재확산 방지를 위한 규정이 강화되었다. 따라서, 기존 EPS 외단열 시스템의 단열성능을 확보하면서 화재안전성을 향상하기 위하여 불연성 단열재를 화재 확산 방지구조로 적용한 EPS 외단열 시스템의 대형 화재시험을 ISO 13785-2에 의하여 수행하였고, 그 결과, 시간에 따른 시험체의 외형분석에서 EPS 단열재만 사용한 외단열 공법보다 우수한 화재확산 방지효과가 있는 것으로 판단되었고, 온도 및 열류량 측정결과에서도 하단부보다 상단부의 온도 및 열류량이 낮게 측정되어 차열효과가 있는 것으로 판단되었다.

키워드 : 불연성 무기 단열재, 외단열, 화재확산 방지구조, 대형 화재시험

Acknowledgement

This research was supported by a grant(15TBIP-C076162-02) from Land, Infrastructure and Transport Technology Commercialization Support Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Nathan W, Michael D. Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components, Final report 22 Feb 2013–01 Jun 2014, The Fire Protection Research Foundation (US): 2014, 136 p. Report No.: EP142293.
2. Enforcement Decree of the Building Act [Internet]. Sejong Metropolitan Autonomous City: Korea Ministry of Government Legislation; 2010 [cited 2016 May]. Available from: <http://www.law.go.kr/>.
3. Regulation on Building Evacuation and Fireproof Structure [Internet]. Sejong Metropolitan Autonomous City: Korea Ministry of Government Legislation; 2010 [cited 2016 May]. Available from: <http://www.law.go.kr/>.
4. Incombustibility and fire spread prevention structure of building finish materials (notification No 2012–624) [Internet]. Sejong Metropolitan Autonomous City: Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2013 [cited 2016 May]. Available from: <http://www.molit.go.kr/>.
5. Edith A. Fire safety of etics with EPS material properties and relevance for fire safety during transport, construction and ubder end use conditions in external thermal insulation component [Internet]. EDP Science; 2013 Nov [cited 2016 Apr 28].4p. Available from:<http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130902008>.
6. Min S,H. A Study on Fire Risk of Multi–family Apartment Houses Constructed with the Exterior of the EIFS. Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering. 2013 Jun;27(3):60–5.
7. Lee JC, Park JC. Fire Property of Exterior wall applied Exterior Insulation System with Mineral Multi Pore Type Lightweight Insulation. Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2015 Jul;31(7):75–82.
8. Building energy saving standard (notification No 2015–1108) [Internet]. Sejong Metropolitan Autonomous City: Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2013 [cited 2016 May]. Available from: <http://www.molit.go.kr/>.