

필로티 건축물 가연성 외장 시스템의 화재확산 방지를 위한 수직 불연띠의 효율성에 관한 연구

A Study on the Efficiency of Vertical Non-Combustible Blocking for External Fire Spread of EIFS with Combustible Insulation in Piloti Building

조경숙* · 채승언** · 최지훈*** · 조범연****

Cho, Kyungsuk*, Chae, Seungun**, Choi, Jihun***, and Cho, Bumyeon****

Abstract

The requirements for exterior finishing materials have been substantially established recently. After a fire at an apartment building in Uijeongbu City, fire safety requirements for exterior finishing materials used in the buildings that have six and more stories or are taller than 22 meters were specified in 2015, and three and more stories or are taller than 9 meters were specified in 2019. However, the buildings built before that may not accomplish the safety requirements and thus have fire safety problem. This study suggests a method for partially reinforcing the Exterior Insulation Finishing System (EIFS) of buildings to enhance the fire safety. EIFS specimens whose walls on the pilotis were reinforced with a mineral insulation material, were tested in accordance with BS 8414-1. The result showed that fire spread was delayed more than 9 min when compared with an EIFS specimen without reinforcement.

Key words : BS 8414-1, EIFS, Reinforcement of EIFS, EPS, Mineral Wool

요 지

각종 화재 사고로 인해 외부 마감 재료에 대한 기준은 강화되고 있는 추세이다. 의정부 대봉 그린 아파트 화재 이후 층수 및 높이에 대한 규정이 강화되어 2015년 이후 6층 이상 높이 22미터 이상, 그리고 2019년 이후 3층 이상 높이 9미터 이상을 대상으로 외부 마감 재료의 화재안전 성능을 제한하고 있다. 최근에 신축되는 건축물의 경우 강화된 규정을 적용받게 되나 기존 건축물은 현재 규정으로 본다면 화재 안전성에 문제가 있을 수 있다. 본 연구에서는 기존 건축물의 외부 마감 시스템의 일부를 보강하여 화재안전성을 강화하고자 하였으며, 필로티 상부 1개층 높이 단열재를 무기단열재로 교체하고 이를 BS8414-1 시험방법으로 성능을 검증하였으며, 보강하지 않은 일반 외부 마감 시스템과 비교하여 9분 이상의 지연 효과가 있는 것을 확인하였다.

핵심용어 : BS 8414-1, EIFS, 외단열 시스템 보강, EPS, Mineral Wool

1. 서 론

의정부 대봉 그린아파트 화재, 제천 스포츠 센터 화재

등은 필로티 1층에서 발생된 화재가 외벽 가연성 단열재로 화재 확대가 이루어져 인명과 재산상의 큰 손실을 야기한 대표적인 사례이다. 건축법은 3층 이상의 건축물에는 외부

*교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원(Tel: +82-31-369-0512, Fax: +82-31-369-0540, E-mail: kscho@kict.re.kr)
Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Fire Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원(E-mail: seungun.chae@kict.re.kr)

Member, Senior Researcher, Fire Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

***정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 연구원(E-mail: choijihun@kict.re.kr)

Member, Researcher, Fire Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

****정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 박사후연구원(E-mail: choby@kict.re.kr)

Member, Post-Doctor, Fire Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

마감재에 대해 준불연 이상의 자재를 사용하도록 규정하고 있으나 3층 미만의 건축물에 대해서는 법적인 제한이 없는 상태이다. 외부마감재 준불연 이상의 재료를 사용하도록 하는 규제는 2019년 8월 3층 이상으로 강화되었고 2016년까지는 6층 이상으로 규정되어 있었다. 그러나 기존 건축물 중 2016년 이전에 신축된 6층 이하의 경우 법의 소급 적용이 불가능하므로 그 위험성을 내재하고 있어 그에 대한 조치가 필요할 것으로 판단된다. 외부 마감재를 모두 철거하고 화재 안전성이 높은 자재로 교체하는 것이 바람직하나 이는 경제적으로 건물주의 부담이 커질 수 있다. 이에 본 연구에서는 기존 건축물 외부마감재의 화재안전성능을 경제적으로 향상시킬 수 있는 보강 방안을 도출하기 위하여 기존 건축물에 적용된 외단열 시스템 일부를 보강하는 안을 도출하고 이를 실험형 외장재 시험방법을 통해 검증하고자 하였다.

2. 관련 문헌 검토

2.1 기존 건축물 현황

건축물의 외부 마감 재료의 제한은 건축법 제52조 제2항에 따라 건축법 시행령 제61조 제2항에서 대상 건축물을 규정하고 있으며 상업지역 건축물과 6층 이상 또는 높이 22미터 이상인 건축물을 대상으로 화재안전성능을 규정하고 있다. 이 규정은 의정부 대봉 그린 아파트 화재 이후 고층 건축물에만 해당되었던 기준을 2015년 강화하였다. 법규 개정 이후 신축되는 건축물은 화재안전성능이 확보될 수 있으나 법 개정 이전의 건축물 중 고층 건축물(30층 기준) 이하의 법 예외 대상으로 현행 규정에서는 화재 안전성능이 확보되지 않고 있으며, 화재 발생 시 화재 확대의 우려가 클 것으로 판단된다. 특히 최근에 발생한 필로티 건축물 화재는 그 위험성을 더 크게 내포하고 있다.

2.1.1 실험형 외장재 관련 문헌

외부 마감 시스템의 화재 발생 요인은 3가지로 구분하여 설명된다. 첫째는 인접건물 화재로 인한 확산, 두 번째는 외부 마감 시스템과 인접한 위치에서 발생한 건축물 내 화재, 마지막은 건물 내부에서 발생한 화재가 외부로 출화되어 확대된 경우로 구분하고 있다(Kotthoff and Riemesch-Speer, 2013). 첫 번째 인접건물 화재로 인한 확산은 WTC 7이 대표적이다. WTC에 인접해 있어 붕괴 당시 파편(Debris)에 의해 화재 확산이 이루어진 경우이다(NIST, 2008). 두 번째의 경우가 의정부 대봉그린 아파트와 제천 스포츠 센터 화재와 같이 건축물 1층 필로티에서 발생한 화재가 외부로 확산된 사례로 볼 수 있다. 세 번째, 건물 내부에서 발생한 화재가 외부로 출화된 경우는 부산 우신 골든 스위트 화재가 대표적으로 4층 미화원 탈의실에서 전기 누전으로 발생한 화재가 외부 마감재로 확대된 경우로 볼 수 있다. Huang et al. (2013)은 External Thermal Insulation System (ETIS)의 화재안전성능을 강화하기 위해 Fire Barrier를

적용한 수직화재 확산 방지 효과를 BS 8414-1 시험방법으로 확인하였으며 EPS 단열재 ETIS에 300 mm Fire barrier (Rock wool)를 적용한 경우 수직 화재 확산 방지 효과가 있는 것을 확인하였다. Cho and Park (2018)은 건축물 외부 마감 재료 화재안전성 확보를 위해 실험형 시험방법의 국내 도입을 위해 BS 8414-1과 ISO 13785-1의 비교 실험을 수행하였으며, 이후 BS 8414-1 시험방법을 적용하여 외단열 시스템에 사용되는 단열재의 난연 성능에 따른 화재안전성을 비교하여 국내의 콘칼로리미터를 이용한 시험방법의 한계를 지적하였다. Choi et al. (2019)은 외단열 시스템에 적용하는 접착제의 종류에 따른 화재안전성을 BS 8414 시험방법으로 검증하였고, 단열재 뿐만 아니라 외부 마감 시스템에 적용되는 접착제의 종류도 화재안전성에 영향을 미치는 것을 지적하였다.

2.1.2 BS 8414-1 시험방법

이전 연구(Cho et al., 2017)에서 ISO 13785-2와 BS 8414-1 시험방법을 비교하였고, 화재확산 평가 기준이 있는 BS 8414-1 시험방법으로 불연띠의 효율성을 평가하고자 하였다. BS 8414-1 (2017)은 외부 마감 시스템 전체의 화재 확산 여부를 판단할 수 있는 시험방법으로 연소실을 포함하여 최소 8 m 이상의 높이에 마감재를 연속적으로 설치하고 연소실 위 2.5 m, 5.0 m 높이에 온도를 측정하는 열전대를 설치하여 시작온도와 화재확산 여부를 판단하는 시험방법이다. 이 시험방법은 건물내에 발생한 화재가 완전 성장 화재(Fully developed fire)로 개구부를 통해 출화되어 인접한 외부 마감 시스템으로 확대되는 것을 재현한 시험방법이다. 시험 규격에서 제시하는 화원은 완전 성장 화재를 재현하기 위해 50 mm × 50 mm 단면의 목재 크립 1,000 mm 150개, 1,500 mm 100개로 목재더미를 만들어 점화한 것으로 화원의 크기는 약 3.0 ± 0.5 MW 정도이다.

3. 실험형 외장재 시험

3.1 외장재 시험을 위한 시험체

본 연구에서는 기존건축물 외단열 시스템의 화재안전성을 보장하는 방안으로 필로티 상부 1개층의 마감을 교체하는 방식을 선정하였다. 이는 기존 문헌에서 제시한 외부 마감 시스템의 두 번째 화재 발생 요인에 대한 대책으로 1층 필로티에서 발생하는 화재가 인접한 상부의 외부 마감 시스템으로 화재가 확대되는 것을 방지 혹은 지연하기 방안으로 Fire stop 혹은 Fire blocking을 가연성 외부 마감 시스템에 적용하여 화재 확대 지연 효과를 실험을 통해 검증해보고자 한다. 필로티는 1층이 개방된 형태로 화염은 상부로 올라오게 되고 그 불꽃 길이 정도를 불연 재료로 교체한다면 상부층으로 화재 확산을 방지 혹은 지연시킬 수 있을 것으로 판단하여 필로티 상부의 불연띠의 높이를 독립 변수로 하여 실험을 실시하였다. EIFS 시험체는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Details of EIFSs

EIFSs	Details
1	EPS (125 mm) + GFM + Finisher
2	EPS (125 mm) / Mineral Wool (125 mm, length: 1,000 mm) + GFM + Finisher
3	EPS (125 mm) / Mineral Wool (125 mm, length: 2,500 mm) + GFM + Finisher

* GFM: Glass Fiber Mesh

3.1.1 기존 건축물 실대형 시험

우선 기존 건축물을 재현하기 위해 등급 외 단열재를 사용한 외단열 시스템을 비교군으로 BS 8414-1 시험방법을 적용하여 화재안전성능을 시험하였으며, 시험체 단면은 Fig. 1과 같다. EIFS 1은 건축법에 제한되지 않은 외단열 시스템 공법을 적용하였으며 단열 기준 또한 기존 건축물의 열관류율 기준(2017년 개정 이전)으로 125 mm를 적용하였다.

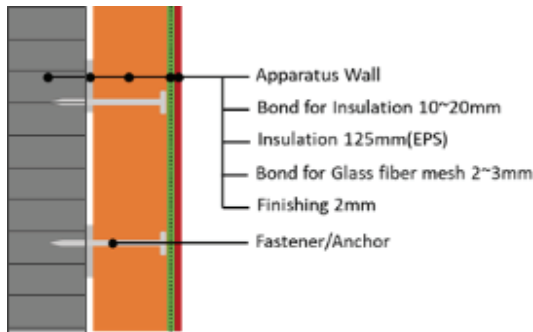


Fig. 1. Section of EIFS 1 (Insulation: EPS)

EIFS 1에 적용된 단열재는 KS F ISO 5660-1에 따라 열방출량을 측정하였으며 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. KS F ISO 5660-1 Test Results (EPS)

Specimens	THR (MJ/m ²)		Weight after test (g)
	5 min	10 min	
1	45.6	45.8	13.8
2	44.2	44.7	14.4
3	50.6	51.7	15.3

준불연 성능 등급 기준은 10분에서 총 열방출량이 8 MJ/m² 미만이어야 하나 본 시험체에 적용된 단열재는 44.7~51.7 MJ/m²로 측정되어 단열재에 의한 화재 확산에 따른 위험성을 내포하고 있는 것으로 판단된다. 콘칼로리미터 시험 후 시험체의 형상도 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 대부분의 시료가 전소한 것으로 확인되었다.

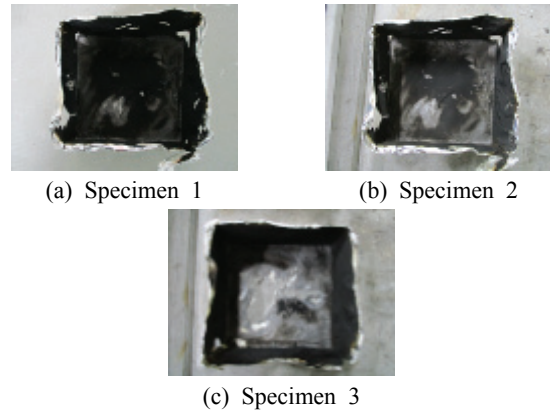


Fig. 2. EPS Specimens after Test

비교군인 EIFS 1의 실대형 시험을 위한 시험체는 Fig. 3과 같다.



Fig. 3. Elevation of EIFS 1

3.1.2 기존 건축물 외부 마감 재료 성능 보강 방안

EIFS 2는 EIFS 1과 동일한 조건에서 연소실 상부 1,000 mm를 철거한 후 무기 단열재인 미네랄 울로 보강 시공하였으며 단열재 이외의 모든 부착재료는 EIFS 1과 동일한 조건으로 시공하였고 그 단면 및 입면은 Figs. 4, 5와 같으며, 시공은 다음 Fig. 6과 같다.

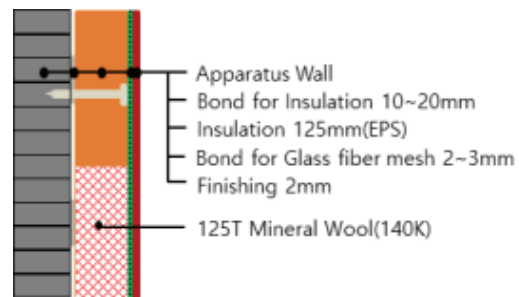


Fig. 4. Section of EIFS (Reinforcement: Mineral Wool)

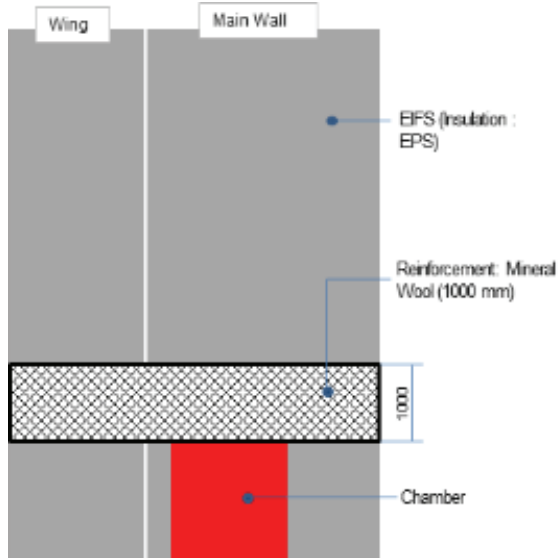


Fig. 5. Elevation of EIFS 2 (Reinforcement: Mineral Wool 1,000 mm)

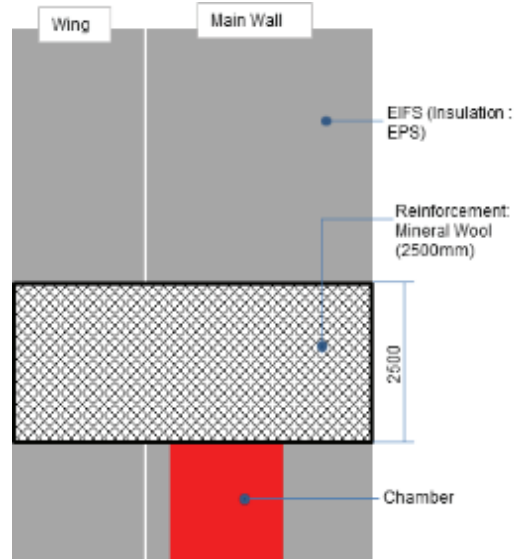


Fig. 7. Elevation of EIFS 3 (Reinforcement: Mineral Wool 2,500 mm)



(a) Demolishment of Existing EIFS (Length: 1,000 mm) (b) Reconstruction of Insulation with Mineral Wool



(a) Demolishment of Existing EIFS (Length: 2,500 mm) (b) Reconstruction of Insulation with Mineral Wool



(c) Installation of Glass Fiber Mesh on Insulation (d) Finish the EIFS

Fig. 6. Elevation of EIFS 2 (Reinforcement: Mineral Wool 1,000 mm)



(c) Installation of Glass Fiber Mesh on Insulation (d) Finished EIFS

Fig. 8. Fabrication of EIFS 3 (Reinforcement: Mineral Wool 2,500 mm)

단, 열관류율은 본 과제에서 고려하지 않았고 화재안전성능을 향상시키기 위해 미네랄울의 두께는 기존 EPS 단열재와 동일한 두께로 설치 시공하였다.

EIFS 3은 EIFS 2와 동일한 방법으로 높이만 2,500 mm를 보강하는 방법으로 시공하였다(Figs. 7, 8).

3.1.3 성능평가를 위한 온도 측정

BS 8414-1 시험의 성능은 BRE에서 제시하는 방법으로 평가하였다. 평가 기준은 온도를 측정하며 열전대 위치는 다음 Fig. 9와 같다.

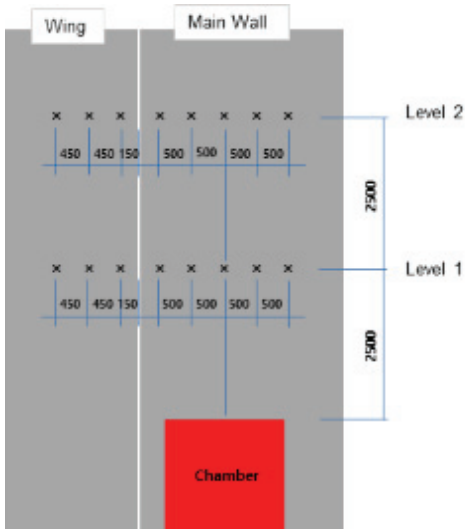


Fig. 9. Location of Thermocouples

열전대는 K-type 열전대를 사용하였으며, 온도 측정을 위한 열전대는 Level 1 (연소실 상부 끝단에서 2,500 mm)과 Level 2 (연소실 상부 끝단에서 5,000 mm)에 설치된다. Level 1은 총 8개소로 main wall에 5곳, wing에 3곳이 설치되며 시험체 외부의 온도를 측정한다. Level 2에는 외부 열전대와 내부 열전대로 구분되며 Fig. 10과 같이 내부는 단열재 단면의 중앙부에 설치되고 외부는 Level 1과 동일하게 시험체 외부에 설치된다. 따라서 열전대는 Level 1에 8곳, Level 2에 16곳 총 24곳이 설치된다.

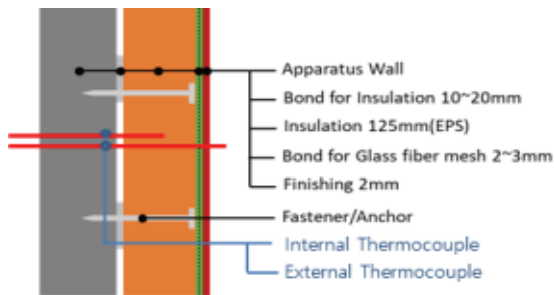


Fig. 10. Location of Thermocouples in Level 2

3.2 BS 8414-1 시험 결과

3.2.1 성능 평가 기준

평가 기준은 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 판단하고, 내부 열전대도 600 °C 이상 도달되는 시점을 기준으로 내부 화재 확산을 판단한다.

3.2.2 시험 결과

시험체의 BS 8414-1 시험방법과 평가 기준에 따른 결과는 다음 Table 3과 같다.

Table 3. BS 8414-1 Test Result

Specimens	t_s , Start Time (min: sec)	Internal Fire Spread Time	External Fire Spread Time
1	1:51	6:59 (8:50)	7:09 (9:00)
2	2:12	- **	- **
3	2:13	Pass	Pass

Note: * () is time from Ignition

** Fire extinguished before 600 °C for safety reasons

EIFS 1은 Fig. 11과 같이 점화 후 1분 51초에 Start Time에 도달하였으며, Start Time을 기준으로 6분 59초, 점화시간을 기준으로는 8분 50초에 내부 화재 확산이 이루어졌으며, 10초 뒤인 9분에 외부 화재 확산이 이루어져 이후 소화를 진행하였다. 점화 시간을 기준으로 약 6분 20초에 Debris가 발생되기 시작하였으며 6분 42초에 시험체 상부에서 불꽃이 시험장비 상부로 화염이 확대되면서 내부 단열재의 연소로 인해 검은 연기가 다량 발생하였다.



Fig. 11. Test Result (EIFS 1)

Figs. 12, 13을 살펴보면 Level 2에 설치된 내외부 열전대에서 측정된 온도가 점화 후 6분까지 온도가 상승하여 약 400도를 초과하다 상부로 불꽃이 출화된 시점에 온도는 전체적으로 떨어지는 현상이 나타났으며 약 2분 후에 급격하게 온도가 상승하여 1,000 °C까지 상승하였다.

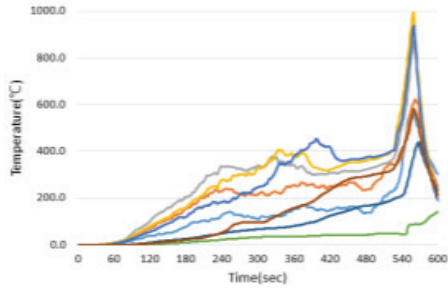


Fig. 12. External Temperature Elevation at Level 2 (EIFS 1)

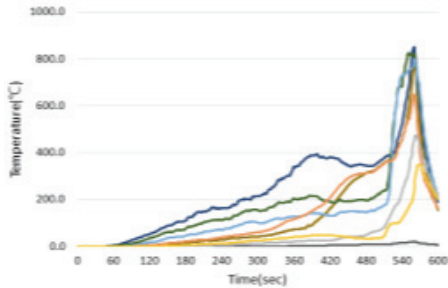


Fig. 13. Internal Temperature Elevation at Level 2 (EIFS 1)

이러한 현상은 외부 열원에 의해 내부 단열재가 용융되면서 가연성 가스가 시험체 내부에 쌓이다가 표면마감재가 탈락됨으로 인해 상대적으로 낮은 외부 공기가 시험체 내부로 유입되면서 일시적으로 온도가 하강하나 다량으로 유입된 산소로 인해 일시적으로 폭발적인 연소로 나타난 현상으로 판단된다. 이러한 현상은 비교적 낮은 온도에서 액체 상태로 변하는 가연성 단열재에서 주로 나타나는 현상이다. Fig. 14는 시험 종료 후 단열재 및 마감재 연소 상태로 대부분의 단열재와 마감재가 10분 내에 전소된 것을 보여주고 있다.



(a) Specimen 1's front view after test
(b) Specimen 1's detail view after test

Fig. 14. Fire Damage (EIFS 1)



(a) Ignition
(b) Start Time (1:51)



(c) Fire Flame over Apparatus (9:18)
(d) Extinguishment (9:48)

Fig. 15. Test Result (EIFS 2)

EIFS 2는 점화 후 2분 12초에 Start time에 도달하였으며, 점화 기준 8분에 시험체 상부로 검은 연기가 다량 발생하였으며 9분 18초에 상부로 화염이 발생하였고 이후 화염의 크기가 커져 안전 및 장비 손상의 우려로 9분 48초에 소화를 진행하였다. 소화 시점이 빨라 Figs. 16, 17과 같이 온도 측정 데이터로는 600 °C를 확인하지 못하였다.

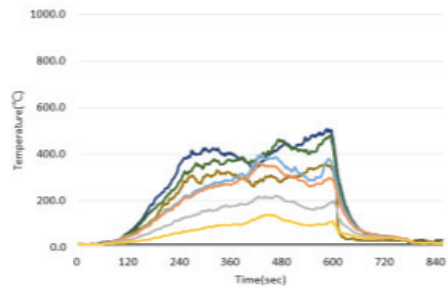


Fig. 16. External Temperature Elevation at Level 2 (EIFS 2)

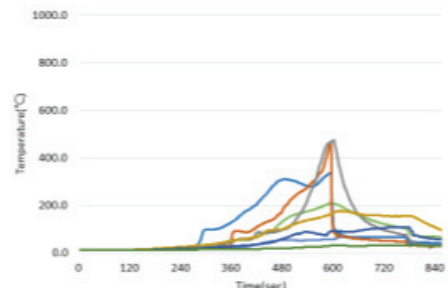
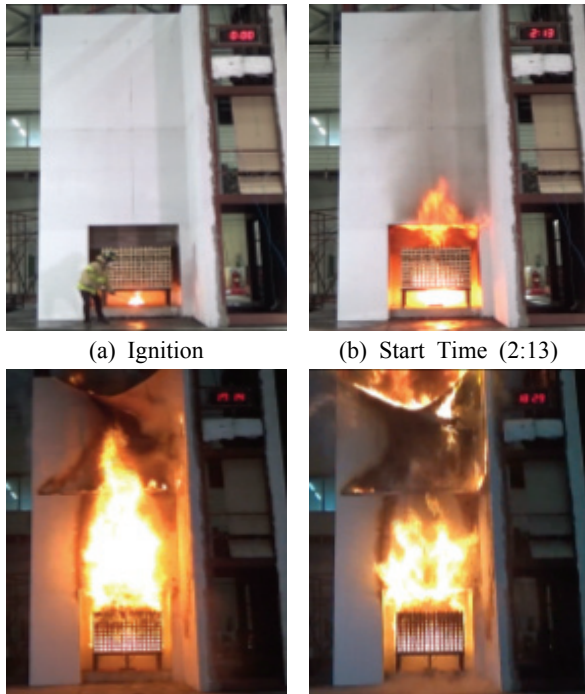


Fig. 17. Internal Temperature Elevation at Level 2 (EIFS 2)

EIFS 1과 비교해볼 때 상부로 검은 연기가 다량 발생하는 시간은 약 3분의 지연 시간이 발생한 것으로 파악되었다. 이후 지속적인 온도상승은 약 8분까지 지속되다 약 1분가량 온도는 다시 하락하다가 급격히 상승하는 것으로 나타났다. 온도 상승도 EIFS 1과 비교하여 약 2분의 지연이 확인되었다. EIFS 1의 외부 화재 확산이 이루어진 시점(600 °C 이상)에 온도를 비교해 보면 EIFS 2는 동일시점의 외부 온도는 486 °C를 나타내었다. 시험 종료 후 시험체 상태를 관찰한 결과 Fig. 18과 같이 보강부위는 표면마감재만 연소되고 불연띠는 연소하지 않았으나 상부의 EPS 단열재는 대부분 전소하여 1,000 mm는 지연 효과가 낮은 것으로 확인되어 이를 기준 건축물에 적용하기에는 무리가 있는 것으로 판단 된다.



(a) Front view after test (b) Undamaged finisher
Fig. 18. Fire Damage (EIFS 2)



(a) Ignition (b) Start Time (2:13)
(c) 15min after start time (17:13) (d) Suppression (18:28)
Fig. 19. Test Results (EIFS 3)

EIFS 3은 점화 후 2분 13초에 Start time에 도달하였으며 이후 15분 동안 600 °C에 도달하지 않아 BR 135 기준에 따라 통과된 것으로 평가되었다. 그러나 15분 경과 후 점화기준 18분경에 상부 마감재 탈락으로 인해 화염이 크게 발생되어 소화를 진행하였다. 소화 완료 후 시험체의 연소 상태를 Fig. 20과 같이 살펴본 결과 EIFS 2와 같이 불연띠로 보강한 2,500 mm는 양호하나 상부의 EPS 단열재는 연소하였다.



(a) Front view after test (b) Detailed view
Fig. 20. Fire Damage (EIFS 3)

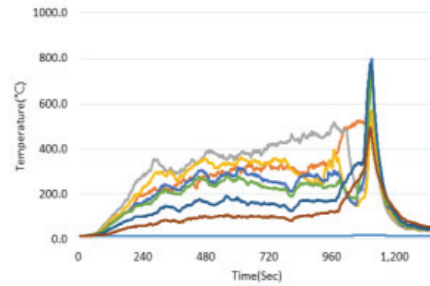


Fig. 21. External Temperature Elevation at Level 2 (EIFS 3)

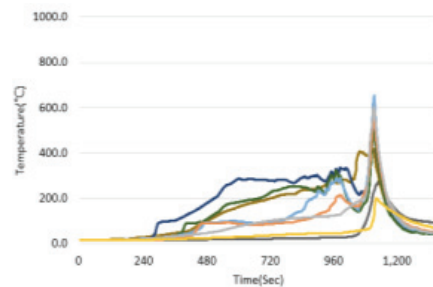


Fig. 22. Internal Temperature Elevation at Level 2 (EIFS 3)

Level 2의 내외부 온도를 Figs. 21, 22를 분석해 보면 외부의 경우 Main wall 중앙부 온도를 제외하고 점화 후 15분까지는 400 °C 이하로 측정되고, 내부의 경우 300 °C 수준에서 측정되는 것으로 분석된다. 그러나 15분이 경과된 직후 급격히 내외부의 온도가 약 100 °C 이상 급격히 떨어지다 다시 상승하여 800 °C로 상승하는 것은 EIFS 1 시험체에서 나타난 현상과 동일하다. 다만 이러한 급격한 화재 확산을

EIFS 1과 비교하여 9분 이상의 지연 효과가 있는 것을 확인하였다. 이는 실내에 발생한 성장기 화재가 플래시 오버되어 개구부로 화염이 출하되는 경우 일반적으로 개구부 위 2 m 이상 확대되는데(Colwell and Baker, 2013) 개구부 위 2,500 mm가 불연재로 시공됨으로 초기 화재 확대를 지연시켜 9분의 지연 효과가 있었던 것으로 판단된다.

4. 결론

기존 건축물의 외부 마감재의 화재 확산 방지를 위한 보강공법으로 수직 불연띠의 높이별 지연 효과를 실험을 통해 살펴보았으며 결론은 다음과 같다.

건축법 규제를 벗어나는 건축물의 난연 등급외 단열재가 적용된 EIFS는 화재 안전성의 위험성을 크게 내포하고 있는 것으로 확인되었다. 이를 경제적으로 보완하기 위해 적용한 무기단열재의 일부 교체는 화재 확대 지연에 효과가 있는 것으로 확인되었다. 개구부 상단 1,000 mm를 보강한 경우 약 2분의 지연효과가 있었으며 한층 높이인 2,500 mm 적용한 경우 EIFS 1과 비교해 9분 이상의 화재 확산 지연 효과가 있는 것으로 확인되었다.

본 연구를 통해 1층 필로티가 있는 6층 이하 가연성 외부 단열 시스템을 적용한 건축물은 가연성 단열재로 인한 화재 확대 위험을 마감재 전면 교체 방식이 아닌 필로티 상부 2,500 mm 일부 교체로 경제적인 화재 보강 방안이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원 (19AUDP-B100356-05)에 의해 수행되었습니다.

References

BS 8414-1. (2017). *Fire performance of external cladding system - Part 1: Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building*. British Standards Institution (BSI).

Cho, K.S., and Park, J.W. (2018). BS 8414-1 Fire safety tests for external cladding systems using insulating materials of different fire ratings. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 2, pp. 185-191.

Cho, K.S., Chae, S.U., Choi, J.H., and Kim, H.Y. (2017). A study on comparison test for application of a full-scale fire spread test method of external cladding system of building. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 3, pp. 1-10.

Choi, J.H., Cho, K.S., and Chae, S.U. (2019). Combustion extension of expansion architectural bond for EIFS with BS 8414. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 1, pp. 153-159.

Colwell, S., and Baker, T. (2013). *Fire performance of external thermal insulation for walls of multistorey buildings* (3rd ed.). Bracknell, United Kingdom: IHS BRE Press.

Huang, X., Ni, Z., Peng, L., and Zhuo, P. (2013). Experimental study of fire barriers preventing vertical fire spread in ETISs. *MATEC Web of Conference*, Vol. 9, Article No. 04003. doi:10.1051/mateconf/20130904003

Kotthoff, I., and Riemesch-Speer, J. (2013). Mechanism of fire spread on facades and the new technical report of EOTA "Large-scale fire performance testing of external wall cladding systems". *MATEC Web of Conference*, Vol. 9, Article No. 02010. doi:10.1051/mateconf/20130902010

National Institute of Standards and Technology (NIST). (2008). *Final report on the collapse of World Trade Center Building 7*. NIST NCSTAR 1A, WTC Investigation.

Received	November 26, 2019
Revised	December 3, 2019
Accepted	April 16, 2020