콘칼로리미터에 의한 외단열시스템의 방염 화재성능평가를 위한 연구

민세홍 · 선주석*† · 김상철** · 최용묵** · 이석기***

가천대학교 공과대학 소방방재공학과, *가천대학교 환경 · 디자인대학원 소방방재공학과,
한국건설생활환경시험연구원, *한국품질시험원

A Study on Fire Performance Evaluation of EIFS on Anti-Flaming Finish by Cone Calorimeter Test

Se-Hong Min · Ju-Seok Sun*† · Sang-Chul Kim** ·
Yong-Mook Choi** · Seok-Ki Lee***

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

*Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Graduate School Environment & Design, Gachon Univ.

**Korea Conformity Laboratories,

***Korea Quality Testing Institute

(Received May 14, 2012; Revised June 8, 2012; Accepted June 8, 2012)

요 약

본 연구에서는, 건축 외장재로 많이 사용되고 있는 외단열시스템에 대해 방염 효과를 확인하기 위하여 콘칼로리미터 실험을 적용하였다. 실험 결과, 방염제의 도포 형태나 농도에 따라 초기 착화 시점을 지연하는데 효과가 있었으나, 외벽 수직화재 발생 시 외단열시스템의 방염처리는 화재에 영향을 미치지 못할 것이라는 것을 확인하였다. 또한, 외단열시스템에 사용하는 고밀도와 저밀도 스티로폼의 밀도차에 의한 화재에 미치는 영향은 차이가 없음을 확인하였다. 실험 시 외장재의 착화는 40초 전후로 발생하였으며, 방출열량도 100초 이내에 약 90 %가 발생하는 것으로 나타나 다른 외벽재료와 비교하여 초기 화재 확산이 매우 빠름을 알 수 있었다. 외단열시스템 외장재 화재로 인한 화재 확산을 방지하기 위해서는 법적으로 외단열시스템의 적용 시 건물의 용도별로 사용을 제한하거나 화염전파를 차단할 수 있는 수직외벽 구획 등의 대책이 시급히 요구된다.

ABSTRACT

In this study, EIFS (Exterior insulating finish system) of exterior cladding was applied Cone calorimeter test to confirm the effect of flame retardant. As a results, the initial ignition points in accordance with the coated form and concentration of the flame retardant was delayed. But flame resistant treatment of EIFS cladding to control the fire will not affect confirmed that. In addition, EIFS that uses high-density and low-density due to difference in the density of the impact of the fire was no difference. The exterior of the ignition experiment occurred before and after 40 seconds, heat release rate to 100 seconds appears to occur about 90 % compared with the other exterior wall materials, the initial fire spread very fast was confirmed. EIFS cladding in order to prevent the spread of fire in the application of EIFS legally use is limited by the use of the building. And flame spread can be prevented, such as a vertical outer wall compartment measures are urgently needed.

Keywords : EIFS (Exterior Insulating and Finishing System), ISO 5660-1, EN 13823

1. 서 론

건축물의 고층화에 따른 자재의 경량화, 건축 비용의 절감, 건물외관의 미적요소의 부여, 결로현상 방지, 시공성, 에너지 절약 정책의 정부규제에 따른 영향 등으로 건축 부재가 다양화되었으며, 외장재 또한 이러한 흐름에서 자유

로울 수 없었다. 그에 따른 최근 발생한 일련의 화재들이 가연성 외장재에 의해 연소 확대된 것이다^(1,2).

본 연구에서는 가연성 외장재중 연소성이 뛰어난 외단열시스템(EIFS, 일명 드라이비트) 화재 시 위험성에 대하여 인지하고 연소확대 방지 또는 연소속도를 지연시킬 수 있는 방안의 하나로 외단열시스템에 대해 방염처리가 미

†Corresponding Author, E-Mail: sunju31@hanmail.net
TEL: +82-10-6340-3123, FAX: +82-22-6340-3179

치는 영향에 대해 연구계획하였으며, 화재 시 얼마나 오랜 시간 화염 확산을 지연시켜줄 것인지를 콘칼로리미터(ISO 5660-1)실험을 통해 그 타당성을 검증해 보려고 하였다. 이와 더불어 외단열시스템의 주요 구성품인 스티로폼의 저밀도와 고밀도가 화재에 미치는 영향도 확인하고자 하였다^(2,3).

외단열시스템은 단열재, 접착제, 유리망섬유 그리고 마감재의 4가지 요소로 이루어져 있고, 이러한 구성요소가 서로 유기적인 결합을 이루면서 외벽 단열 마감재 기능을 하고 있다⁽²⁾.

외단열시스템의 구성요소중 단열재는 철근 콘크리트나 벽돌 등 이미 만들어진 구조체에 덧대는 것으로 외벽 단열을 위한 기본 자재다. 스티로폼이나 불연성 암면 그리고 난연성 발포 폴리스티렌 폼이 주로 쓰이는 소재이며, 최대 크기 600~1,200 mm의 스티로폼이 사용된다. 두께는 건축물의 용도나 상황 그리고 건축주의 요구에 따라 다르게 적용되는데 통상 20~150 mm까지 사용할 수 있다.

또한, 구성요소중 접착제는 100 % 순수 아크릴 수지로 강력한 접착성 및 방수, 방습 효과가 탁월한 도포제다. 알칼리성 및 투습 저항이 크고 시멘트, 벽돌 그리고 콘크리트 등 기타 단열재와의 접착력도 강하다. 섭씨 20 °C 그리고 습도 65 % 상태에서 4시간 동안 사용할 수 있으며, 포틀랜드 시멘트와 1:1로 혼합하여 사용한다.

유리망 섬유(MESH)는 외벽의 균열 방지 및 충격 보강 기능을 위해 100 % 유리섬유로 제작된 인장강도가 강한 망이다. 내구성 증대를 위해 알칼리 성분에 저항이 강하도록 특수 코팅 처리돼 만들어졌다. 사용하는 곳에 따라 표준 메쉬, 고강도 메쉬 그리고 초고강도 메쉬로 분류된다. 외단열시스템의 구성중 마지막으로 순도 100 % 아크릴 수지와 화학 품질 및 특수 규사의 합성으로 만든 무기·유기 화합물의 조합물을 마감재로 구성하고 있다. 이러한 구성으로 이루어진 외단열시스템은 화염에 취약하며 화재가 증가추세에 있다⁽⁴⁾.

소방방재청 통계 자료에 의하면 2007년 전체 화재발생

Figure 1. Fire example of EIFS⁽²⁾.

건수 47,882건 중 건축구조물의 외벽에서 발생한 화재가 1,629건으로 전체 화재의 3.4 %에 이르며, 2008년은 전체 화재발생건수 49,631건 중 외벽에서 1,897건 화재가 발생하여 전체 화재의 3.8 %로 외벽에서의 화재가 점차 증가함을 알 수 있다^(6,7).

Figure 1에 외단열시스템의 대표적 화재사례를 나타내었다. 2006년 서울○○아파트에서 발생한 EIFS화재로 1층 주차장에서 발화하여 주차장 내부 전체와 외부 벽면이 소실되었다. 화염은 EIFS를 연소하면서 화재가 확대되어 건물 외벽 피해의 주된 요인이 되었다. 또한, 2008년 미국 라스베이거스에 있는 ○○호텔에서 EIFS 외벽 화재가 발생하였다. 호텔 상부 층에서 화재가 시작되어 외벽으로 빠르게 화염이 전파되어 17명의 인명피해가 발생하고 약 110만 달러의 재산피해를 입었다⁽²⁾.

2. 방 염

가연성 물질이 착화되기 전에 화원을 제거하면 불꽃은 확산되지 않고 약해진다. 이처럼 불에 잘 붙는 물질에 불꽃이 확산되지 않도록 하는 방염처리는 화재발생초기 화재의 확대방지를 위해 큰 효과를 발휘할 수 있다.

2.1 방염처리 방법

커텐 등과 같은 직물류중 세탁을 요하는 소재는 섬유의 비결정 영역에 방염제를 고착시켜야 세탁을 하여도 방염성능이 유지된다. 합성섬유인 경우에는 원료의 공중합공정에서 방염제를 투입하여 방염처리를 하면 내구성 있는 방염성능을 가지지만 이는 대량 생산하는 경우에만 가능하며, 천연섬유의 경우에는 염색가공한 후에 방염처리를 한다. 공정은 방염액에 침지하여 짠 후, 오븐에서 180 °C 이상의 고온에서 열처리를 한다. 방염처리 직물은 표면에 부착된 불순물을 제거하기위해 수세하여 건조한다.

방염처리 방법은 가연물의 특성에 따라 다양하지만 합판, 목재의 방염처리는 합판이나 목재를 건축물에 설치한 후 방염도료를 스프레이 코팅이나 붓으로 칠한다.

2.2 방염시험 방법

방염성능을 측정하는 방법은 연소방향, 연소방법 및 측정항목에 따라 결정된다. 연소방향은 불꽃을 대는 방향에 따라 수평법, 경사법, 수직법으로 구분하고 연소원료에 따라 버너법, 알콜램프법, 메틴아민법, 담뱃불법, 성냥불법으로 나뉜다. 시험은 잔염시간, 잔진시간, 연소속도, 탄화면적, 탄화길이, 점염횟수, 발연량, 연기량, 산소지수 등을 측정하여 방염성능 여부를 결정한다.

우리나라에서는 45도 버너법과 메틴아민법을 채택하고 있으며 잔염시간, 잔진시간, 탄화면적, 탄화길이, 점염 횟수를 측정하고 있다.

Table 1. Kind of Article Flame Retardant Performance Standard

Cassification	Remaining flame time (s)	Retention time (s)	Carbonization Length (cm)	Carbonization Area (cm ²)	Flame contact (at time)
Carpet	ithin 20 s	-	within 10 cm	-	-
Thin sack	within 3 s	within 5 s	within 20 cm	within 30 cm ²	more than 3 times
Heavy sack	within 5 s	within 20 s	within 20 cm	within 40 cm ²	more than 3 times
Impreg	within 5 s	within 20 s	within 20 cm	within 40 cm ²	-
Plywood, fiber board lumber etc.	within 10 s	within 30 s	within 20 cm	within 50 cm ²	-

※ Retention time: Retention time of combustion without flame

2.3 방염성능 기준

소방법규에서 정한 방염물품, 종류별 방염성능기준을 다음과 같이 정리했다.

3. 방염처리한 외단열시스템의 화재안전 성능평가

방염처리한 외단열시스템의 화재안전 성능평가를 위해 콘칼로리미터(ISO 5660-1)의 실험조건 중 가열강도를 25 kW/m²로 설정하여 성능평가를 실시하였다.

3.1 시험소재 선정

현재 사용되고 있는 알루미늄복합패널 등 가연성 외장재로 분류되는 외단열시스템은 5층 규모의 공동주택, 학교 등 교육시설에 많이 사용하고 있는데, 8층 이상의 고층 건축물에도 많이 적용되고 있음을 현장조사와 공사납품실적 등으로 확인할 수 있었다^(2,3).

외단열시스템이란 단열 공업의 일종으로 철근 콘크리트나 벽돌 등으로 건축물 구조가 완성된 후, 그 외벽에 단열 등의 목적으로 덧시공된다. 보통 단열재, 접착물탈, 유리망 섬유, 마감재 등의 결합된 시스템으로 Figure 2와 같이 습식공법과 건식공법으로 구분된다⁽²⁾.

Figure 2. Structure of EIFS.

콘칼로리미터(ISO 5660-1)에 의하면 착화가 40초 전후이며 연소로 방출되는 열량도 100초 이내에 90 % 정도가 발생하는 것으로 나타나 다른 외벽재료와 비교하여 초기 화재확산이 매우 빠른 것이 특징이다^(5,9).

외단열시스템의 초기 화재특성이 취약한 것은 유기재료가 주 원료인 표면마감재의 영향으로 보인다. 따라서 외장재로 많이 사용되는 외단열시스템으로 인한 화재사고를 방지하기 위해서는 표면마감재에 대한 화재안전성 확보가 필요한 것으로 판단된다. 본 시험에서는 기존에 시공된 대상제품의 화재안전확보 방안을 모색하기 위하여 시중에 시판중인 방염제를 사용하여 방염처리를 하고 화재특성을 조사할 목적으로 실시하였다. Figure 3은 외단열시스템의 열방출률과 총열방출률을 나타낸 그래프이다.

3.2 시험방법 및 시험시편

실험 전 시편의 무게와 두께를 측정하였다. 시험조건은 아래와 같다.

[Conditions]

- 사용저울: 한성기계공업(주) HS30-1W (최소단위 1 g)
- 시편: A~E 고밀도 스티로폼, F~J 저밀도 스티로폼

Table 2. Comparative of Combustion Characteristics of Combustible Exterior Insulating

Cassification	Ignition time (s)	Heat release rate	
		Peak (kW/m ²)	at time (s)
EIFS	42	250	68
Aluminum Composite Panel (General)	527	420	600
Aluminum Composite Panel (Flame-retardant)	Non-Ignition	8	-
Metal Panel (Glass Wool)	Non-Ignition	10	-

<Heat Release Rate>

<Total Heat Release Rate>

Figure 3. Heat release rate property of EIFS.

로 분류

- 방염 도포: 시공상 문제를 고려하여 1회 도포
- 스프레이건: 노즐 구경이 1.0 mm, 도료도 출량이 95 ml/min인 W-71-1S model을 적용했다.
- 건조 후 측정 결과: 1 g 증가. 따라서 $100 \times 5 \text{면} = 500 \text{ cm}^2$, 측 도막 두께는 $20 \mu\text{m}$ 가 된다.

또한, 본 연구에 적용한 방염제의 화학성분인 물질조성은 다음과 같으며, 농도는 Table 3의 1/4 농도인 12 %를

Table 3. The Chemical Composition of Flame Retardant

Total solid content	48%
Colloidal silicate	10%
Potassium silicate	10%
Sodium silicate	28%
etc.	water

Table 4. Heat Condition (Low-density)

Specimen (low-density)	Flame Retardant Condition	Heat Condition
DRY CONE25 A (BLK)	Untreatment	25 kW/m ²
DRY CONE25 B	Concentration 6%, Application with a brush once.	
DRY CONE25 C	Concentration 12%, Application with a brush once.	
DRY CONE25 D	Concentration 6%, Application with a air conditioner once.	
DRY CONE25 E	Concentration 12%, Application with a air conditioner once.	

Table 5. Heat Condition (High-density)

Specimen (high-density)	Flame retardant Condition	Heat Condition
DRY CONE25 F (BLK)	Untreatment	25 kW/m ²
DRY CONE25 G	Concentration 6%, Application with a brush once.	
DRY CONE25 H	Concentration 12%, Application with a brush once.	
DRY CONE25 I	Concentration 6%, Application with a air conditioner once	
DRY CONE25 J	Concentration 12%, Application with a air conditioner once	

적용했다.

사용된 시험방법은 콘칼로리미터(ISO 5660-1)이며, 가열조건은 외단열시스템의 화재특성을 고려하여 가열강도를 25 kW/m²로 착화시간이 100초가 되도록 하여 진행하였다. 시험시편은 시중에서 시판되는 방염제를 미장형의 외단열시스템 표면에 아래 Table 4와 같이 도포하고, 도포량에 따른 변화를 평가하도록 하였다. Table 4와 Table 5에 본 실험에 적용한 저밀도와 고밀도 외단열시스템 실험 소재에 대한 방염처리조건을 나타내었다.

3.3 시험결과 및 분석

콘칼로리미터 시험결과중에서 재료의 화재 및 연기 유해성에 관련된 항목들은 크게 다음과 같이 분류된다⁽⁸⁾.

- 최대 열방출률[kW/m²]
- 총방출열량[MJ/m²]
- 착화시간[s]
- 평균 열방출률[kW/m²]
- 평균 질량 감소율[g/s]
- 평균 비광소멸면적(Specific Extinction Area)[m²/kg]

- 평균 일산화탄소 생성률[kg/kg]
- 평균 이산화탄소 생성률[kg/kg]

외단열시스템의 화재특성중 취약한 부분은 빠른 착화와 초기 열방출 값이 높다는 것이다. 따라서 본 시험에서 핵심적인 부분은 방염제가 이러한 특성에 어떻게 작용하는지를 평가 분석하는 것이다. 착화시간과 열방출률 특성을 평가하였으며 Figure 4는 착화시간에 대한 결과를 나타내었다.

저밀도 외단열시스템의 경우 방염제 도포량에 대한 착화시간의 변화가 미미하여 방염제의 작용이 거의 없는 것으로 판단되지만, 고밀도제품의 경우 도포량에 따라 약 20 % 정도 착화시간이 지연되는 것으로 나타나 방염제가 착화시간에 어느 정도는 영향을 준 것으로 판단된다.

저밀도와 고밀도 모두 방염제 도포량에 대한 최대열방출률의 감소에 효과가 없는 것으로 보인다. 하지만 최대열

Figure 4. Ignition time.

Figure 5. Maximum heat release rate and time.

Figure 6. Total heat release rate and mean heat release rate.

방출률이 나타나는 시간은 고밀도 제품에서는 방염 미처리 제품이 109초, 방염처리제품에서 131초로 나타나 방염 처리 정도에 따라 약 20 % 정도의 효과가 있는 것으로 나타났다. Figure 5에 최대열방출률과 시간을 나타내었다.

총방출열량은 저밀도제품과 고밀도제품 모두 방염은 하지 않은 시료와 비교했을 때 거의 변하지 않는 것을 볼 수 있었다. 또한 평균 열방출률에 있어서도 저밀도 제품에서는 방염처리 정도에 따라 감소하는 것으로 나타났지만, 고밀도제품에서는 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

Cassification	Specimen before experiment	Specimen after experiment
A	DRY CONE25 A1
B	DRY CONE25 B1
C	DRY CONE25 C1
D	DRY CONE25 D1
E	DRY CONE25 E1
F	DRY CONE25 F1
G	DRY CONE25 G1
H	DRY CONE25 H1
I	DRY CONE25 I1
J	DRY CONE25 J1

Figure 7. Result of combustion test.

Figure 6은 총방출열량과 평균 열방출률을 나타낸 것이다.

Figure 7은 시편별 실험 전과 실험 후, 본 연구에 대한 이미지를 정리한 것으로 A~E는 저밀도 소재에 도포를, F~J는 고밀도 소재에 도포를 하고 가열강도를 25 kW/m^2 로 최대열방출 시점을 지나 약 300초 가량을 연소시킨 후의 이미지이다.

타고 남은 시험체에는 외장재료는 남아있지 않고 외단열시스템 구성을 위해 자재를 접착시키는데 바른 접착제의 접착제 성분만 일부 남아 지속적으로 연소하고 있었다.

4. 결 론

외단열시스템(EIFS)으로 인한 화재 확산의 방지를 목적으로 방염처리 유용성을 확인하기 위하여 콘칼로리미터 실험을 한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 외단열시스템은 표면처리방법과 사용되는 단열재 모두 화재에 취약한 것으로 나타났다. 특히 다른 제품에 비하여 착화시간이 현저히 빠르고, 방출되는 열량은 발화 후 100초 전후에서 최대치를 보이고 있어 작은 화원에서도 대형 화재로 확산될 가능성이 높은 것으로 판단된다.

2) 방염처리로 인해 착화가 지연됨을 확인할 수 있었다. 하지만 화재확산의 주(主) 요인인 열방출특성에서는 큰 효과가 없는 것으로 판단된다. 이에 현재 생산하여 판매되는 방염제로 외단열시스템의 화재안전을 개선하기에는 어려울 것으로 판단된다.

3) 외단열시스템으로 인한 화재 확산을 방지하기 위해서는 법적으로 외단열시스템의 적용 시 건물의 용도별로 사용을 제한하거나 화염전파를 차단할 수 있는 수직외벽 구획 등의 적극적인 대책이 시급히 요구된다.

4) 현재 국내에서 생산되는 방염제는 소방법에서 정한 방염성능을 만족하기 위해서 주로 섬유, 목재, 플라스틱재료의 방염성을 확보하기 위하여 사용되는 것으로 작은 화원에서는 큰 효과가 있지만, 고온에서는 큰 효과가 없다는 것을 확인할 수 있었다.

5) 따라서 기존 외단열시스템 공법 건축물의 화재안전개선을 위해서는 방화나 주변화재로 인한 화원에서도 효과가 있는 방염제 개발이 필요할 것으로 판단되며 이에 대한 보다 심도있는 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 소방방재청 2010차세대핵심소방안전기술개발사업 지원에 의한 결과임(사업단; 한국소방산업기술원).

참고문헌

1. S. H. Min and J. E. Yoon, "A Study on the Modeling of Vertical Spread Fire of Exterior Panel by Fire Dynamic Simulation (FDS)", Journal of the Korea Safety Management & Science, Vol. 11, No. 2, pp. 77-85 (2009).
2. S. H. Min and M. S. Kim, "A Study on the Fire Risk Assessment of EIFS by Cone Calorimeter Test & Single Burning Item Test", Journal of the Korea Safety Management & Science, Vol. 12, No. 1, pp. 1-9 (2010).
3. S. H. Min, J. E. Yoon and M. S. Kim, "An Experimental Study on Combustion Characteristics of Aluminum Composite Panels for Flame Retardant and General Materials", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 2, pp. 105-111 (2012).
4. S. J. Lee, "An Improvement of Exterior Finishes in Building Remodeling (Focused on Exterior Insulation and Finishing)", DongGuk University, Academic Thesis (2003).
5. G. L. Christensen, "Full scale Fire Test of Various Exterior Wall System, Development, Use and Performance of Exterior Insulation & Finish System (EIFS), ASTM STP1187, Mark F. Williams and Richard G. Lampo, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia (1995).
6. A yearbook about fire statistics (2007 · 2008), Homepage data of National Emergency Management Agency (2010).
7. 2007~2008 Disaster Reports of Fires, Archives of National Emergency Management Agency (2010).
8. KS F ISO 5660-1 Fire Tests for Combustion (Cone Calorimeter Test), Korea Standard Association (2009).
9. KOFEIS 1001 Article 4. "Flame Resistance Performance Criteria".