

## FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 1-21

January 2006

**건물부재의 내화성능****(Fire Resistance of Building Assemblies)****1. 개요**

내화성능이란 어떤 구성요소 또는 부재가 지속적으로 화재에 견딜 수 있는 시간을 말한다. 내화성능은 구성요소 및 부재의 특성으로서 화재를 그 발생한 방화구획 내에 제한시키거나 별도로 주어진 구조적 기능을 수행하는 성능을 의미한다.

본 문서는 기존의 건물 구성요소 및 부재의 내화시간을 평가하는 지침과 주어진 내화성능의 건물부재를 만드는 데 필요한 정보를 제공한다. 대부분의 내화성능은 표 형태로 제시되어 있으므로 구체적인 내화성능에 대해서는 표를 참조하길 바란다. 이 원고에서는 내화성능을 결정하는 요인들에 대한 논의를 다루고자 한다.

본 data sheet에 수록된 건축 자재 및 부재는 다음과 같다.

가. 벽 : 한 면의 표준화재노출(ASTM E 119, Fire Tests of Building Construction and Materials)과 적절한 경우 호스 방수 시험이 필요하다. (벽이 비대칭 구조라면 양면의 등급이 다를 수도 있음)

나. 기둥 : 모든 면의 표준화재노출 시험이 필요하다.

다. 바닥-천장 또는 지붕-천장 : 밑면의 표준화재노출 시험이 필요하다.

라. 화재차단재 : 벽, 천장 및 바닥을 관통하는 전기 및 기계설비 주변의 마감에 대한 시험이 필요하다.

**2. 내열처리(Thermal Restraint)**

건물 자재의 화재시험에서 열로 인해 어떤 자재가 팽창하려는 힘이 자재 외부의 힘에 의해 제한되는 상태가 되면, 그 자재는 내열처리 되었다고 간주된다. 자재가 열로 인해 자유롭게 팽창하고 지지부로부터 이탈한다면, 내열처리가 되지 않았다고 간주된다.

일반적으로, 내열처리된 부재 또는 자재는 내열처리 되지 않은 동등한 자재보다 훨씬 뛰어난 내화성능을 나타낸다.

**3. 뿔칠 방식 내화코팅**

화재시 건물구조부의 온도를 제한하기 위해 다양한 피복 및 코팅이 적용가능하다. 막보호방법은 보호하고자 하는 구조와는 별도로 지지되는 구조물로 보호하는 것을 말하며, 직접보호방법은 보호하고자 하는 부재에 직접 적용하는 방식이다. 뿔칠 방식은 직접보호방식에 해당한다.

매우 다양한 뿔칠 방식 내화코팅이 존재하지만, 크게 다음의 3종류로 분류할 수 있다.

- 가. 광물섬유(Mineral fiber)
- 나. 시멘트질(Cementitious)
- 다. 팽창성물질(intumescent)

뿔칠방식 내화코팅을 적용하기에 앞서, 적용하려는 부재의 표면에는 먼지, 그리스(grease), 기름 및 흑피(mill scale) 분말이 묻어있어서는 안된다. 일반적으로 와이어브러쉬와 같은 도구를 사용한 청소 정도면 충분하다. 하도 도장(priming) 또는 예비 도장(pre-painting)은 요구되지 않는다. 실제로, 부적절한 도장으로 인해 뿔칠방식 내화코팅의 표면접착력이 약화될 수도 있다.

## 4. 보

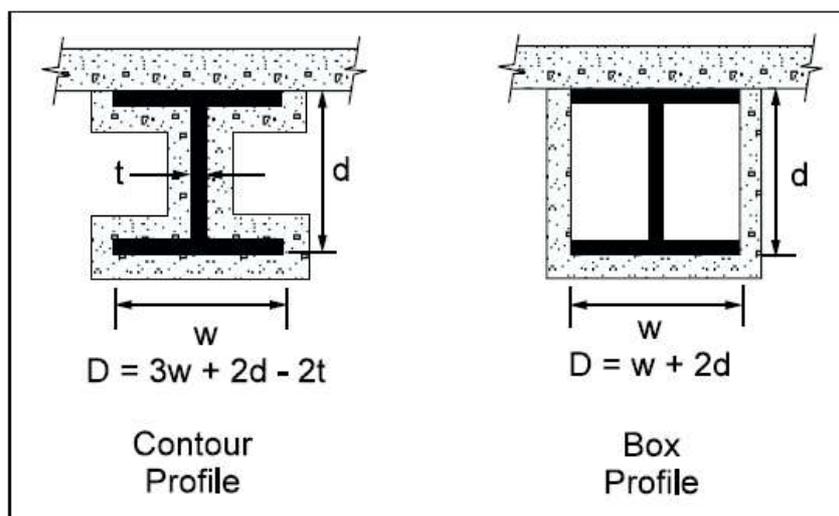
### 가. 철판보

철판보는 건물부재의 일부분으로서 또는 단독구조물로서(보만을 시험할 경우) 시험되고 평가될 수 있다. 특정한 경우 이러한 시험방법의 차이가 다른 결과를 도출할 수 있다. 보만을 단독으로 시험하는 경우, 좀더 평범한 지붕 또는 천장이 사용된다. 부재로서의 시험의 결과는 구체적인 지붕/천장의 유형에 맞게 나타난다. 등록된(listed) 설계와 다른 크기의 철판보가 사용되는 경우, 다음의 공식에 따라 대체 보에 요구되는 뿔칠방식 내화코팅의 두께를 계산한다.

$$h_2 = h_1 \frac{\frac{W_1}{D_1} + 0.036}{\frac{W_2}{D_2} + 0.036} \quad (\text{공식 1})$$

- 조건: 1.  $W/D \geq 0.022$  (SI 단위)  
 2.  $h \geq 3/8$  in. (9.5 mm)  
 3. 내열처리가 되지 않은 보의 내화성능  $\geq 1$  hr.

- 변수:  $h$  = 뿔칠된 내화코팅의 두께 (mm)  
 $D$  = 강철판보의 노출되는 둘레길이 (mm) (그림1 참조)  
 $W$  = 강철판보의 단위길이당 질량 (kg/m)  
 첨자 1 은 보과 코팅의 설계 사항을 의미한다.  
 첨자 2 는 설계와 다른 보와 코팅의 설계 사항을 의미한다.



[그림1] 고온에 노출되는 보의 둘레

## 나. 콘크리트 보

### (1) 철근 콘크리트 보

각각의 철근(steel reinforcing bar)을 둘러싸는 콘크리트 피복(cover)은 화재에 노출되는 보의 표면과 철근 표면간의 최소 거리만큼의 두께를 가진다. 여러 개의 철근이 사용된 보의 경우, 각각의 철근의 최소피복두께의 평균이 전체 콘크리트 피복두께가 된다. 각각의 철근 피복두께는 최소한 3/4 in. (19mm) 이상이어야 한다.

### (2) 프리스트레스트 콘크리트 보(Prestressed Concrete Beams)

각각의 프리스트레스트용 강재(tendon)를 둘러싸는 콘크리트 피복(cover)은 화재에 노출되는 보의 표면과 강재 표면간의 최소 거리만큼의 두께를 가진다. 여러 개의 강재가 사용된 보의 경우는, 각각의 강재의 최소피복두께의 평균이 전체 피복두께가 된다. 각각의 강재의 피복두께는 최소한 1 in. (25mm) 이상이어야 한다.

## 5. 기둥

철골 기둥(Steel Columns)의 철골 두께가 증가하고, 철골 콘크리트의 단면적이 증가할수록 내화성능은 증가한다. 그러나 철골 콘크리트의 경우, 내화성능은 철근을 둘러싼 콘크리트 피복의 두께에 따라서도 변한다.

### 가. 철골 기둥(Steel Columns)

#### (1) 뿔칠식 피복을 이용한 방호

뿔칠식 광물 섬유 또는 시멘트 내화 코팅으로 피복된 철골 기둥의 내화성능은 다음의 공식을 이용하여 계산한다.

$$R = \frac{C_1 \frac{17W}{D} + C_2}{25.4} \quad (\text{공식2})$$

변수: R = 내화성능(분단위)

h = 뿔칠된 내화코팅의 두께 (mm)

D = 철골기둥의 노출되는 둘레길이 (mm) (그림2 참조)

W = 철골기둥의 단위길이당 질량 (kg/m)

C<sub>1</sub> & C<sub>2</sub> = 내화재의 종류에 따라 달라지는 물질 상수

시멘트 내화 코팅에 대해, C<sub>1</sub> = 69 및 C<sub>2</sub> = 31

광물 섬유 내화 코팅에 대해, C<sub>1</sub> = 63 및 C<sub>2</sub> = 42

### (2) 석고 보드 막을 이용한 방호(Membrane Gypsum Board Protection)

석고보드로 보호된 철골 기둥의 내화성능은 다음의 공식을 이용하여 계산한다.

$$R = 1.6 \left[ \frac{hW'}{2D} \right]^{0.75} \quad (\text{공식3})$$

$$W' = W + 0.0008hD \quad (\text{공식4})$$

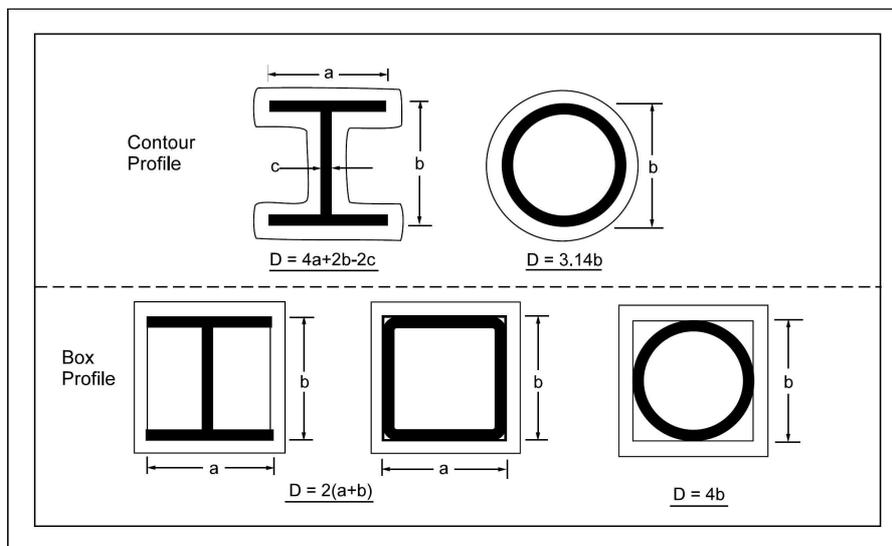
변수: R = 내화성능(시간단위)

h = 석고 보드의 두께(mm)

D = 철골기둥의 노출되는 둘레길이 (mm) (그림2 참조)

W = 철골기둥의 단위길이당 질량 (kg/m)

W' = 철골기둥과 석고보드 보호막의 단위길이당 질량 (kg/m)



[그림2] 기둥 윤곽 및 고온에 노출되는 기둥의 둘레길이

### (3) 콘크리트 피복된(encased) 철골 기둥

콘크리트 피복된 철골 기둥의 내화성능은 콘크리트 피복의 두께와 콘크리트에 사용된 골재의 종류에 따라 달라진다. 내화철골기둥의 경우, 4시간 이상의 내화성능이 요구되는 경우는 거의 없으며, 2 in. (51mm)보다 작은 두께의 콘크리트 피복은 거의 실용성이 없다.

**(4) 물이 채워진 튜브구조(Water Filled Structural Tubing)**

물이 채워진 튜브구조 또는 팽창성 도료로 도장된 튜브구조에 대한 일련의 시험결과는 [표 1]에 나와 있다. 화재시에는 결국 모든 물이 끓어 증발하게 된다.

**(5) 콘크리트 충전된 중공 철골(Concrete Filled Hollow Steel)**

내부가 골재가 없는 콘크리트로 채워진 중공 철골 기둥(파이프 또는 튜브구조)의 내화 성능은 다음에 의하여 결정되어야 한다.

$$R = \left[ \frac{a(f'_c + 20)}{KL - 1000} \right] D^2 (D/C)^{\frac{1}{2}} \text{ (Eq. 5)}$$

변수: R = 내화성능(hr)

a = 기둥의 모양과 골재의 종류에 따른 상수

f'\_c = 콘크리트의 28일 압축강도 ksi (MPa)

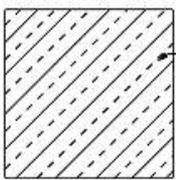
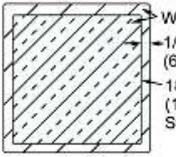
KL = 기둥의 유효 길이 (m)

L = 실제길이 (m)

K = 유효길이 변수. 알려지지 않았다면 양끝이 지지되는 기둥은 1.0, 캔틸레버 기둥은 2.0을 적용

D = 원형 기둥의 지름 혹은 직사각형 기둥의 가장 짧은 변의 길이(mm)

C = 알려지지 않은 동하중 및 사하중으로 인한 인장력 (KN)

Description of Construction		Column Size, in. (mm)	Fire Resistance from Test, minutes
	Steel column, water filled	10 × 10 × 1/4 (254 × 254 × 6)	30
	Steel column, water filled, with sleeve for improved circulation	10 × 10 × 1/4 (254 × 254 × 6)	43

[표 1] 물이 채워진 튜브구조의 내화성능 시험 결과표(일부)

이러한 공식의 사용은 다음의 제한조건을 갖는다.

1. 요구되는 내화성능이 2시간 이하일 것.
2. 명세된 콘크리트의 압축강도가 2.9 ksi (20MPa)이상 5.8 ksi (40MPa)이하일 것.
3. 기둥의 유효길이가 6.5 ft (2.0m)이상 13.0 ft (4.0m)이하일 것.
4. D값은 5.5 in. (140mm)이상이어야 하고 사각기둥의 경우 12 in. (305mm)이하, 원형 기둥의 경우 16 in. (410mm)이하일 것.
5. C값은 충전된 콘크리트의 설계 강도이하일 것.

**(6) 플라스터(Plaster) 피복된 철골 기둥**

보호 피복재의 최소두께는 플라스터 피복 또는 금속 라스(metal lath)의 경우에는 라스에서부터 바깥쪽으로 측정하고, 그 외 피복에 대해서는 기둥 표면에서부터 바깥쪽으로 측정한다.

**나. 콘크리트 기둥(concrete columns)**

새로 건축을 시작할 때, 철골 콘크리트 기둥의 가로방향 주 보강재의 콘크리트 피복의 최소두께는 골재의 종류에 관계없이 필요한 내화성능시간에 1 in. (25mm)를 곱한 값 또는 2 in. (51mm) 의 값 중에서 작은 값보다 작아서는 안 된다.

**다. 주철(cast iron) 기둥**

코팅이 없는 주철기둥은 화재에 노출된 후 살수가 이루어지면 파열될 수도 있으므로 확실한 내화성능을 위해서는, 주철기둥은 내화물질로 피복해야 한다.

**6. 벽과 칸막이**

가연재가 벽에 포함된 경우 내부의 가연재는 벽의 총 두께를 감소시키므로 내화성능이 감소할 때가 있다.

불연재는 피복내에 위치하는 경우 내화성능에 영향이 없지만 안정성에는 문제가 생길 수 있다. (*FM Data sheet 1-22, Criteria For Maximum Foreseeable Loss Fire Walls And Space Separation* 참조)

**가. 조적벽(Masonry wall)**

조적벽의 내화성능은 속찬(solid)벽인 경우 벽의 재질 및 두께와 관련이 있다. 속이 빈 재료도 있기 때문에, 등가 두께(equivalent thickness)란 용어를 사용한다. 등가 두께란 속이 빈 벽의 재료를 속찬(solid) 벽으로 만들었을 때의 두께를 가리킨다. 등가 두께는 다음의 공식을 사용하여 계산된다.

$$T_e = \frac{1000 V}{LH} \quad (\text{공식6})$$

변수:  $T_e$  = 등가두께 (mm)

$V$  = 순 부피 (빈공간을 제외한 물질의 부피) ( $\text{cm}^3$ )

$L$  = 조적 유닛의 길이 (mm)

$H$  = 조적 유닛의 높이 (mm)

속찬 구조의 비율이 알려진 경우 등가 두께를 계산하는 다른 방법은 조적벽의 실제 두께에 속찬 구조의 비율을 곱하는 것이다.

기존의 벽의 내화성능에 대한 보수적인 현장평가에서는, 표면층(face shell)의 두께의 두 배 값을 등가 두께로 사용할 수 있다. 골재가 무엇인지 알지 못한다면, 규토질 자갈(siliceous gravel)이라고 가정한다. 만약 플라스터가 벽의 한쪽면 또는 양쪽 면에 칠해져 있다면, 벽의 등가 두께에 플라스터의 두께를 더함으로써 추가의 내화성능을 반영할 수

있다. 한쪽 면에만 플라스터가 칠해져있다면, 플라스터가 칠해진 벽면 측에서 화재가 발생한 경우에만 등가두께(Te)에 플라스터의 두께를 더하여 내화성능을 결정한다.

나. 철근 콘크리트 벽(Reinforced Concrete Wall), 속찬 칸막이(solid partitions), 중공 칸막이(hollow partitions)의 내화성능은 [표 2]에 제시되어 있다.

다. X형 석고보드(Type X Gypsum board)

순수한 석고는 칼슘 규산염(calcium silicate) 결정 구조내에 약 20%의 수분을 함유하고 있다. 화재에 노출되면, 점진적으로 수분이 방출되면서 화재에 견딜 수 있도록 한다. 수증기가 방출되고 나면, 석고보드는 강도가 약해진다. 석고보드의 강도를 유지하고 내화성능을 향상시키기 위하여, 유리섬유보강재가 특정 석고보드에 함유되기도 한다. 미국에서는 이러한 석고보드를 X형 석고보드라고 한다.

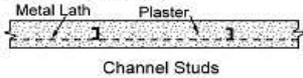
라. 프리캐스트 콘크리트 벽(Precast concrete wall)

프리캐스트 벽의 내화 성능은 구조적인 측면보다는 온도 상승에 의해 좌우된다. 즉, 이전에 논의한 벽 구조처럼, 내화성능은 골재의 종류와 등가 두께(Te)에 따라 변한다.

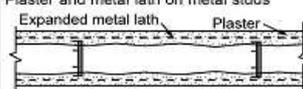
프리캐스트 콘크리트 패널(panel)은 보통 중심부의 단열재로 분리된 두개의 콘크리트 와이드(wythe)로 구성되어 있다. 단열재로는 발포 폴리스티렌(EPS)이 구조적으로 안정적이며 가격이 저렴하여 가장 널리 사용되는 재료이다. 상대적으로 낮은 녹는점의 열가소성 재료의 존재는 장점보다는 단점으로 작용한다. 그러므로 발포 플라스틱 단열재를 사용한 프리캐스트 콘크리트 샌드위치 패널의 내화성능은 콘크리트만의 등가 두께로만 평가되어야 한다.

Reinforced Concrete Walls		
Aggregate Material	Actual Thickness, in. (mm)	Fire Endurance Rating, hr <sup>1,2,3</sup>
Unknown aggregate	7½ (190)	4
	6½ (165)	3
	5½ (140)	2

Solid Nonbearing Partitions			
Construction	Material and Thickness	Fire Endurance, hour	Added Resistance, Both Sides Plastered <sup>1</sup> , hour
Solid Partition, steel frame. Metal lath on ¾ in. (19 mm) steel channels 	1½ in. (38 mm) perlite gypsum	1	-
	2 in. (51 mm) fibered gypsum plaster	1¾	
	2 in. (51 mm) sanded gypsum 1:1½	1½	
	2¼ in. (57 mm) fibered gypsum plaster	2	
	2 in. (51 mm) Cement plaster	½	
	2½ in. (64 mm) sanded gypsum 1:1½ perlite or vermiculite	2	
	2½ in. (64 mm) fibered gypsum	2½	

Hollow Nonbearing Partitions		
Construction	Material and Thickness (each side)	Fire Resistance, hr
Plaster and metal lath on metal studs 	1 in. (25 mm) neat gypsum	2½
	1 in. (25 mm) perlite gypsum	2
	1 in. (25 mm) sanded gypsum 1:1½	2
	¾ in. (22 mm) sanded gypsum 1:1½	1½
	¾ in. (22 mm) portland cement 1:2-1:3	1
	¾ in. (19 mm) neat gypsum	1½
	¾ in. (19 mm) sanded gypsum 1:2	1
¾ in. (19 mm) portland cement 1:2-1:3	½	

[표 2] 철근 콘크리트벽, 속찬 칸막이, 중공 칸막이의 내화성능 표(일부)

※ 이음부(joint)

벽 패널간의 이음부는 방호되어야 하며 몇몇 빌딩코드에서는 방화문의 내화성능이 방화벽에 비해 약간 낮을 수 있다는 논리로 벽 패널간의 이음부에도 벽 패널의 3/4 수준의 내화성능을 허용하기도 한다. 그러나 개구부에 낮은 내화성능이 허용되는 이유는 개구부에 사람 또는 차량이 지나다니기에 그 주변에 가연물이 없다고 간주할 수 있기 때문이다. 이러한 논리는 패널간의 이음부에는 적용될 수 없다. 벽 패널간의 이음부 직근에는 얼마든지 가연물이 적재될 수 있다. 그러므로 FM Approvals 에서는 이러한 논리를 부정하며 이음부를 벽 패널과 동일한 수준의 내화성능을 갖도록 방호할 것을 권장한다.

화재시험 결과, 이음부의 내화성능은 이음부의 형태, 이음부의 마감처리, 이음부 폭, 그리고 패널 두께에 따라 변하는 것으로 나타났다.

마. 인증내화유리(fire rated glazing)

유리는 방화문(창 또는 투시창)과 방화벽(창문)에 자주 사용되고 있으며, 본 데이터 시트와 관련한 인증내화유리는 3가지 형태가 있다.

(1) 망입유리(wired glass)

최소 1/4 in. (6mm)의 연마 망입유리(polished wired glazing)는 방화문 및 인증 내화 칸막이에서 일상적으로 사용된다. 철망의 모양은 정사각, 직사각, 다이아몬드형 혹은 육각형일수도 있으며, 철망은 보통 유리의 중심부에 있다. 망입유리는 약 45분간 구조적 안정성을 유지할 수 있는 내화성능을 갖는다. 단열재로서의 기능은 없다.

ASTM E 119의 표준 시간-온도 곡선을 사용한 시험에서는 시작 후 몇 분안에 유리가 갈라졌다. 철망이 갈라진 유리조각들을 제자리에 고정시켜 화염이나 가스가 통과하는 것을 막았다. 약 45분 후에는, 실험용 로의 온도가 1600 °F (870 °C)를 초과하였고 유리가 용융되어 창틀사이로 흘러내렸다.

(2) 내화유리(fire resistant glazing)

내화유리에는 봉규소 유리(monolithic borosilicate glass), 또는 칼슘 실리카 강화 유리, 세라믹 유리와 복층유리(laminated glass)가 있으며 이러한 유리에는 철망은 없다. 이들 유리는 제3의 시험기관에 의해 20~90분의 내화성능을 가진 것으로 인정될 수도 있지만, 망입유리의 경우와 같이 ASTM E 119(NFPA 251, UL 263)의 온도상승제한을 충족시키지는 못한다. 그러므로 유리의 내화성능은 오로지 화염 속에서 견디면서 개구부 생성 방지 기준을 충족하는 능력을 의미한다.

(3) 단열 내화유리(Insulating Fire Resistant Glazing)

단열 내화유리는 일정수준의 단열 효과를 얻기 위해 사용된다. 스틸 스페이서에 의해 분리된 두 겹의 유리로 구성된 제품이 사용된다. 두 겹의 유리 사이는 중합체 물질로 채워져 있으며, 이러한 제품들은 시험결과 ASTM E 119는 물론 ASTM E 163, Methods of Fire Tests of Fire Window Assemblies의 허용기준을 충족시켰다. 그러므

로 단일 내화유리를 면적제한 없이 동등한 내화성능의 벽체에 사용할 수 있으며 최대 2시간 내화성능의 제품이 나와 있다. 만약 온도가 5 °F (-15°C)아래로 떨어지거나 104 °F (40°C)를 초과한다면 유리가 흐려지거나 불투명해질 수도 있으므로 단일 내화유리를 외벽에 사용한다면, 유리의 온도를 적정하게 유지하도록 하는 추가 보호조치가 필요할 것이다.

## 7. 화재차단재(fire stops)

화재차단재는 전기적 또는 기계적 설비가 방화벽 또는 바닥을 관통하는 부위의 개구부를 마감하여 보호하기 위한 것이며, 개구부가 있는 벽 또는 바닥의 내화성능을 유지하기 위해, 화재차단재료 또는 화재차단설비가 벽 또는 바닥의 최소 내화성능 이상의 내화성능을 가지는 것이 매우 중요하다.

관통부 충전을 위한 코크(caulk), 퍼티(putties), 필로우(pillow), 매스틱(mastics), 보드(board), 실리콘 폼, 시멘트 슬러리 등의 다양한 화재차단재 제품이 있다. 이런 물질들은 (1) 연소하면서 숯(char)을 생성하여 그 후면에 있는 재료에 열 차단 및 방호를 제공하거나, (2) 열을 흡수하면서 수증기를 방출하는 기능을 하거나, (3) 충분히 높은 온도에 노출되면 팽창하거나 부풀어서 초기 부피의 2~10배까지 부피가 늘어나기도 한다.

화재차단재의 종류, 관통부의 숫자 및 그 크기와 유형, 관통된 방화벽의 두께와 충전된 화재차단재의 두께를 포함한 여러 가지 요인들이 관통부에 충전된 화재차단재의 내화성능을 결정한다.

ASTM E 814, Standard Test Method for Fire Tests of Through-Penetration Fire Stops 기준은 F 등급(내화염등급)과 T 등급(내고온등급)의 두 가지 등급을 제시한다. F 등급 인증을 받으려면, 화재차단재는 화염 및 고온가스와 그에 따른 호스 방수에 견뎌야 한다. 호스 방수 시험은 필요한 등급시간의 1/2만큼(그러나 1시간 이하)만 화재에 노출시킨 화재차단재에 대하여 수행되지만 시험보증인(test sponsor)이 화재에 노출시키지 않은 샘플을 사용하도록 결정할 수도 있다.

T 등급을 받으려면, 화재차단재가 F 등급의 기준을 상회하는 기준을 충족시켜야 할 뿐 아니라, 화재에 노출된 면의 반대쪽 면의 온도상승 제한 조건을 충족해야 한다. ASTM E 119에서처럼, ASTM E 814에서 온도는 바닥 또는 벽 및 화재차단재와 관통하는 물체의 표면의 여러 지점에서 측정된다. T 등급은 화재노출면의 반대쪽 면의 어느 한 지점의 온도가 초기온도에서 325 °F (181°C)이상 상승하는 데 걸리는 최소 경과시간을 의미한다.

어떤 등급을 사용해야하는 지에 대한 일치된 의견이 없으므로, FM Approvals는 승인된 화재차단재의 시간단위 등급을 위의 T 기준에 맞추어 적용하되, 관통하는 물체의 표면에서 열전대(Thermocouple)로 측정된 온도는 무시한다. 제한 온도는 화재차단재의 비화재 노출면에서 관통하는 물체에 근접한(일반적으로 1in.[25mm]떨어진) 지점에서 측정된다. 이러한 접근법은 ASTM E 814의 부록에서 논의된 것이며, T 등급보다는 유연하지만 F 등급보다는 강력한 기준을 제공하므로 적절한 접근이라고 여겨진다.

만약 화재차단재가 벽 또는 바닥에 대칭으로 적용되었다면, 등급은 양방향 모두에 적용된다. 그러나 비대칭으로 적용된 경우에는 등급은 노(furnace)에 노출시켜 시험한 쪽에만 적용된다.

---

출처 : FM Global\_Property Loss Prevention Data Sheets 1-21

번역 및 정리 : 위험조사부 사원 안승일