

방 화 재 료



서 치 호 교수
전국대학교

1. 서 언

도시로의 인구집중, 대지이용률의 극대화과 제반 기술축적에 힘입어 건축물은 고층화, 대형화, 복합용도화 되고 있으며 이에 따라 건축물의 이용밀도는 높아지고 있다. 그러나 이러한 현실에 비해 건축물의 필수 성능인 안전성은 점차 저

하되고 있으며 특히 건축물 내부에 존재하는 화재로부터의 위험성은 날로 증가되는 경향을 보이고 있다.

따라서, 건축물의 안전성능과 관련하여, 화재로 인한 피해를 방지하거나 극소화하기 위한 방화대책이 매우 중요하게 인식되고 있다.

이와 더불어 다종다양한 새로운 건축자재가 속출하고 고도의 제조기술과 시공기술의 발달에 의하여 우수한 품질과 성능을 지닌 건축자재가 개발됨에 따라 무엇보다도 이들 건축자재가 적절히 사용되고 있는가에 관심이 모아지고 있다.

이것은 건축물의 실체가 곧 재료라는 관점에서 볼 때 건축물의 설계, 시공 그리고 생산자의 입장에서도 대단히 중요한 사항이며, 또한 이를 위하여 건축자재가 지닌 강도, 내구성, 내화성, 음향적 성질, 열적 성질 및 미관 등의 여러 성질을 파악하지 않으면 안 될 것이다.

통계에 의하면 우리나라의 화재발생건수에 대한 인명피해율은 선진국에 비해 매우 높고, 또한 화재발생시 사망자의 대부분을 차지하는 것은 연기에 의한 질식으로 나타나고 있으며, 대형화재에 의한 인명피해도 화재방지에 관한 종합적이고 체계적인 건축물 계획과 공법, 설비 등의 미비, 특히 건물의 내장재가 가연성 물질에 의한 것임을 감안할 때 건물내부의 불연화대책과 방화재료에 대한 적극적인 검토와 지속적인 연구개발이 요구된다.

이에, 이 글은 화재로부터의 보호를 근본 목적으로 하는 방화재료의 분류와 현재 규정되어 있는 방화재료의 등급 및 시험법을 제시함으로써 건물화재 예방과 화재안전성 확보 및 방화재료의 선정을 위한 기초자료를 기술하고자 한다.

2. 화재의 일반적 성상

건축물내의 화재는 일반적으로 성냥, 촛불, 전기 등의 열원에 의해서 가연물질이 착화함으로써 시작되며, 가연성 수납물이나 내장재의 물성과 배치상태 또는 화재실의 공간조건 등에 따라 연소확대 속도가 결정된다.

사무실, 거실, 교실 등과 같이 크기가 다소 한정된 건축물의 구획된 공간에서는 대형공간이나 자연상태의 화재에서 보다 연소확대가 급속하게 이루어지는데 이는 연소물질에 의해 생성되는 열이나 가연성기체가 외부로 방출되지 못하고 건물내에 축적되기 때문이다. 이 열이나 가연성 기체로 인하여 실내의 다른 가연물질이 짧은 시간내에 연소되고 또 계속되어 결국 그 실은 고열상태에 이르게 된다.

건축물 내에서의 일반적인 화재확대의 과정은 그림 1과 같이 시간의 경과에 대한 온도의 변화로 나타나고 있다.

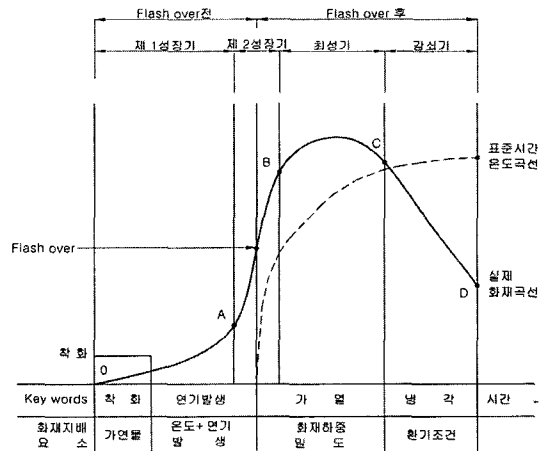


그림 1. 실내화재의 일반적 경과

그림의 「제1성장기」는 출화단계로서 철근콘크리트 구조 등의 건물에서 화재가 발생할 경우 화재실의 작은 화원을 중심으로 연소가 점차 확대되어, 연기가 실내에 가득 차게 된다. 이 시기는 실내평균온도가 비교적 낮아 화재실 또는 인접실로부터 피난이 가능한 시기이다. 이 단계의 지속시간은 화원, 착화물의 종류에

따라 다르며, 석유유출에 의하여 발화한 경우와 같이 위험물을 동반한 화재는 그 시간은 0에 가까우나, 방석, 매트리스 등이 담뱃불 등으로 인하여 착화하는 경우에는 수 시간 이상 경과하는 경우도 있다.

성장기가 지나면 화염이 벽이나 커튼 등을 타고 수직이동하여 연소하기 쉬운 천장으로 수평확대되며, 또한 화재실내의 모든 가연물질이 활발히 연소하기 시작하면서 온도가 급격히 상승한다. 이와 같은 현상을 Flash Over(FO)라고 부른다. 보통 목조건물에서는 가연물량이 많기 때문에 화재성장의 구간이 짧아 FO까지 10분도 걸리지 않으므로, 이 전에서 소화하지 않으면 큰 화재로 확대된다. 반면, 일반적인 내화구조 건물에서는 불연성 내장재 등의 사용을 권장함으로써 이 화재성장기의 구간을 최대한 연장하여 피난 및 소화활동에 있어 시간적 여유를 갖도록 하고 있다.

「최시기」구간은 화재가 절정에 이르는 시기로서 실내에는 화염이 충전되고 모든 가연물이 연소하게 된다. 이 시점은 온도가 매우 높아 구획벽의 관통, 구조물의 붕괴, 또는 인접건물로 복사열을 방출하는 등의 주변으로 화재전파를 가능하게 하는데, 이 기간의 길이는 창문의 크기나 실내의 가연물량 등에 의하여 결정된다. 이후 가연물의 대부분이 타버리면 화재도 쇠약해지기 시작하며 온도도 점점 하강하기 시작하는 「감쇠기」로 들어선다. 이후로는 미소화된 큰 목재 등의 숯더미가 바닥에 쌓이고 방치할 경우 그 부근에서 상당한 시간 동안 연소가 지속되기 때문에 실은 200~300°C의 높은 온도를 계속 유지하게 된다.

3. 재료의 화재특성 및 방화재료의 요구성능

3.1 재료의 화재특성

재료의 화재특성에 대하여는 이를 평가하기 보다는 이에 관한 물성을 어떻게 다루는가 중요하다. 이러한 관점에서 방화상 중요한 재료의 화재특성은 다음과 같다.

1) 발열성

재료의 발열성은 화재 시의 연소확대성상, 연기의 발생 및 유동성상 등에 직접 영향을 주는 열적 잠재력이며 방화대책을 고려하는 경우에 가장 기본적이며 중요한 요소라 할 수 있다. 발열성을 나타내는 지표에는 일반적으로 발열량이 사용된다. 발열량은 단위 중량의 재료가 완전 연소했을 때에 발생하는 열량으로 정의된다.

실제의 화재에서는 재료가 연소할 때 미연소 성분이 남으므로 재료의 실제 발열량은 앞서 정의한 발열량보

다 작으며, 가열조건이나 공기의 공급조건에 의존한다. 화재성상의 예측 등에는 발열량보다 발열속도, 즉 단위 시간당의 방출열량이 재료의 연소 특성치로써 유용하다.

2) 착화성

재료의 착화성을 나타내는 대표적인 지표로 인화온도와 착화온도가 사용되나, 실용적으로는 가열조건에 따른 평가가 요구된다. ISO의 착화성 시험방법은, 재료의 표면에 규정된 방사열(1, 2, 3, 4, 5 W/cm²)을 가하면서 일정한 주기로 가스 불꽃을 가까이 대어 착화(착염)시켜, 이때의 착화시간으로 착화성을 평가한다. 착화시간은 불꽃이 없는 쪽이 당연히 약간 길어진다.

3) 연소생성가스의 유해성(발연성, 가스발생성)

재료로부터의 발연, 가스발생성상은 가열조건 등에 의해 크게 다르므로 각국에서 다양한 발연성의 평가법, 시험법이 쓰여지고 있다. 우리나라에서는 건설교통부령에 따라 KS F 2271에 규정되어 있는 방화재료의 시험방법 중의 표면시험으로 발연성을, 가스유해성시험에서 가스발생성을 평가하고 있다.

3.2 방화재료의 요구성능

방화재료는 성능상 불연, 준불연, 난연의 세가지로 구분되며, 이들 재료에 공통으로 요구되는 방화성능은 다음과 같이 요약할 수 있는데 이는 출화방지 및 피난시 인명의 안전을 확보하기 위함이다.

또한, 방화재료에 있어서 기본적으로 요구되는 성능은 화재 초기에 현저한 연소현상을 일으키지 않아야 하며, 심한 발열을 일으키지 않아야 한다.

그리고 점화되는 시간으로부터 연소가 최고에 달할 때까지 규정한 양 이상으로 연기를 발생하지 않아야 하며, 연기의 밀도가 높으면 높을수록 피난하는 시간이 지체되고 화재를 진화하는데 어려움이 있다.

방화재료는 연소시에 유해한 가스가 가급적 발생하지 않는 재료의 특성을 가져야 한다. 실제로 화재가 일단 발생하며 인명에 결정적인 해를 끼치는 것이 화재시의 유독성 가스이기 때문이다. 또한 방화상 유해한 변형이나 균열, 융해 등이 없어야 한다.

이처럼 방화재료에 요구되는 모든 성능은 규정된 시험방법(KS F 2271 ; 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법)에 의하여 판정되고 있으며, 이들 성능에 만족되어야 한다.

4. 방화재료의 분류

4.1 방화재료의 법규상 분류

방화재료는 불에 타기 어려운 정도, 연기 및 연소가스 등의 인체에 대한 위험정도에 따라, 건축법 및 건축법 시행령에 불특정 다수인이 거주하는 건축물의 내장재료는 불연재료, 준불연재료, 난연재료로 등급을 나누어 사용하도록 의무화하고 있으며, 각각에 대한 시험법을 건설교통부령에서 한국산업규격에 의한 것으로 규정하고 있다.

이들 재료를 소재로 구분하면, 무기질계의 재료를 주로 한 것이 불연재, 유기질계의 재료를 불에 타기 어렵게 처리한 것이 난연재가 된다.

건축법의 방화규정 중에서 방화재료와 관계되는 것은 주로 내부마감재 제한으로 초기화재의 성장을 지연시킬 수 있어 화재시의 피난에 크게 기여한다. 이 내장제한은 스프링클러 등의 설치에 의한 완화조치가 인정되고 있다. 현재 법령상의 방화재료에 대한 규정은 건축법 시행령 2조에 나타나 있다.

1) 불연재료

통상의 화재시의 가열에 대하여 연소되지 않고, 방화상 유해한 변형, 용융, 균열 기타 손상을 일으키지 않으며, 방화상 유해한 연기나 가스를 발생하지 않는 성능이 요구되는 재료로 방화재료 중에서 등급이 가장 높은 것이다.

법령에 따르면 건축법시행령 제2조 1항 10호에 [불연재료라 함은 불에 타지 아니하는 성질을 가진 재료로서 건설교통부령 제 348조에서 콘크리트·석재·벽돌·기와·석면판·철강·알루미늄·유리·시멘트모르타르·회 및 기타 이와 유사한 불연성의 재료. 다만, 시멘트모르타르 또는 회 등 미장재료를 사용하는 경우에는 건축공사표준시방서에서 정한 두께 이상인 경우에 한하며, 산업표준화법에 의한 한국산업규격이 정하는 바에 의하여 시험한 결과 난연 1급에 해당하는 것을 말한다.]로 규정되어 있다.

2) 준불연재료

불연재료와는 달리 나무, 종이, 플라스틱 등의 유기 재료를 함유하고 있으나 재료의 대부분이 무기질 재료이므로 연소에 의해 화재를 확대시키지 않는 재료이다. 또한, 복합재료로는 난연재료와 불연재료를 적층한 석고보드+철판, 페놀폼+철판, 파티클보드+철판 등의 조합이 있다.

법령에 따르면 건축법시행령 제2조 1항 11호에 [준

불연재료라 함은 불연재료에 준하는 성질을 가진 재료로서 건설교통부령 제 348조에서 산업표준화법에 의한 한국산업규격이 정하는 바에 의하여 시험한 결과 난연 2급에 해당하는 것을 말한다.]로 규정하고 있다.

3) 난연재료

난연재료는 원래 불에 타기 쉬운 나무나 플라스틱 등에 특수한 약제를 가하거나 금속판으로 싸는 등의 처리를 하여 불에 타기 어렵게 한 것이다. 방화성능 상으로는 불연재료, 준불연재료의 다음에 위치하는 것이나, 불연성과는 별도의 난연성이라는 개념에 의해 정의된 재료로, 화재 초기에 연소가 현저하지 않으며, 피난상 지장을 주는 다량의 연기나 유해 가스의 발생, 방화상 유해한 균열, 변형, 용융 등의 거의 생기지 않는 재료이다.

법령에 따르면 건축법시행령 제2조 1항 9호에 [난연재료라 함은 불에 잘 타지 아니하는 성능을 가진 재료로서 건설교통부령 제 348조에서 산업표준화법에 의한 한국산업규격이 정하는 바에 의하여 시험한 결과 난연 3급에 해당하는 것을 말한다.]로 규정하고 있다.

4.2 방화재료의 구조에 의한 분류

방화재료를 재료의 구성에 의하여 분류하면 단재와 혼합성형판, 그리고 복합재로 구분할 수 있으며, 마감에 화장을 한 것과 화장을 하지 않은 것으로 분류되는데, 이는 다시 화장법에 의한 것과 바탕재에 의한 것으로 구분한다. 천연목단판을 이용한 불임에 의한 것과 도료를 이용한 도장에 의한 것, 질석을 이용하여 뿔칠 화장한 것 등이 화장법에 의한 단재로 분류되고, 석면시멘트철판, 합판, 석고보드, 목모시멘트 등이 화장한 바탕재에 의한 마감으로 구분된다. 또한, 마감중 화장을 하지 않은 것으로 무기질, 유기질 등의 결합재를 사용한 인조대리석, 펄프혼입석면, 시멘트계 인조대리석, 플라스틱 등이 있다.

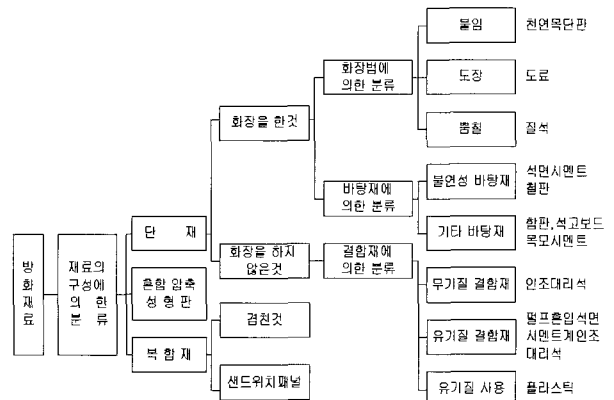


그림 2. 재료의 구조에 의한 분류

복합재는 겹쳐 만든 복합판과 샌드위치로 한 적층판이 있으며 이들의 구조를 분류하면 그림 2와 같다.

5. 방화재료의 시험법

5.1 방화재료의 등급 및 시험항목

건축에 사용되는 재료는 법에서 정한 방화성능에 의해 불연재료, 준불연재료, 난연재료의 3종류로 구분하여 방화재료로 칭하고 있다.

표 1. 방화재료의 등급별 시험항목

방화재료	난연등급	시험항목
불연재료	1급	기재시험, 표면시험
준불연재료	2급	표면시험, 부가시험, 가스유해성시험
난연재료	3급	표면시험, 가스유해성시험

이들 방화재료의 성능을 평가, 확인하기 위한 방화성능시험방법에는 기재시험, 표면시험, 부가시험, 가스유해성시험의 4종류가 KS F 2271에 규정되어 있으며, 이 시험결과에 의한 재료의 등급은 다음과 같다.

5.2 기재시험

1) 시험체

시험체의 재료 및 구성은 실제로 사용하는 것과 같은 것으로 하며, 다만 표면에 부가된 도장 및 그 밖의 치장 마무리층을 제거한 것으로 할 수 있다.

시험체의 크기는 높이 50±3mm, 다른 2변을 40±2mm로 하고 공시재료에서 3개를 채취한다.

시험체는 제조 후 통풍이 잘 되는 실내에서 약 1개월 이상 방치한 것을 35~45℃의 건조기 안에서 120시간 이상 건조한 후, 데시케이터 안에서 24시간 이상 방치하여 양생한 것으로 한다.

2) 시험장치

가열로는 아래의 그림3과 같은 구조로 750±10℃에서 30분 이상 계속 가열할 수 있는 것으로 한다.

3) 가열시험

가열시험은 시험체를 넣은 후 20분 동안 가열하여야 하며, 가열은 시험체를 삽입하기 전에 미리 규정과 동일한 표준 시료를 삽입하여, 노내 온도가 2개 열전대의 각 눈금이 750±10℃로 20분 이상 안정되도록 가열로를 조정후 시험을 실시한다.

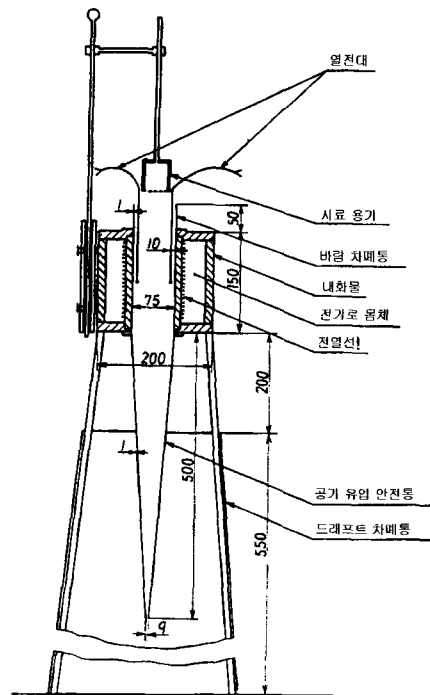


그림 3. 기재시험의 가열로

4) 판정

3개 시험체의 각각에 대하여 한 가열 시험에서 시험체 삽입후의 노내온도가 조정된 온도보다 50℃를 초과하여 상승하지 않는 경우를 합격으로 한다.

5.3 표면시험

1) 시험체

시험체는 실제 사용하는 것과 같은 것으로 3개를 대상으로 하며, 시험체의 크기는 가로세로 각각 220mm로 하고, 두께는 실제의 것과 같은 것으로 한다. 시험체의 양생방법은 앞의 기재시험과 동일한 방법으로 한다.

2) 시험장치

(1) 가열로

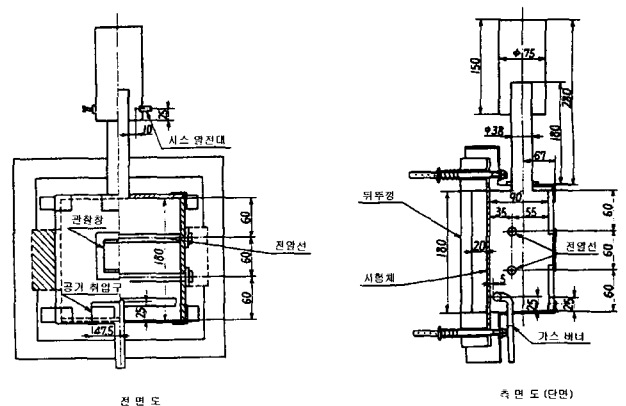


그림 4. 표면시험의 가열로

가열로의 구조는 다음의 그림 4와 같으며 가열로는 표준판을 사용하여 10분 동안 가열하였을 때 다음의 표2에 표시한 배기 온도를 20℃ 이내의 오차로 재현할 수 있는 것으로 한다.

표 2. 배기온도

경과시간(분)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
배기온도(℃)	70	80	90	155	205	235	260	275	290	305

(2) 연기포집상자

발연량을 측정하기 위하여 아래의 그림 5와 같이 직육면체 연기 포집상자를 설치하고 연기 교반 장치 및 광량 측정 장치를 갖춘 것으로 한다.

광량 측정 장치는 연기 포집 상자의 중앙 부분 천장면으로부터 30cm 아래쪽 위치에서 연기를 매분 약 15ℓ의 유량으로 흡입하여 측정하는 장치를 갖고, 광원 및 수광부에는 연기입자의 부착을 방지하는 장치를 갖춘 것으로 한다.

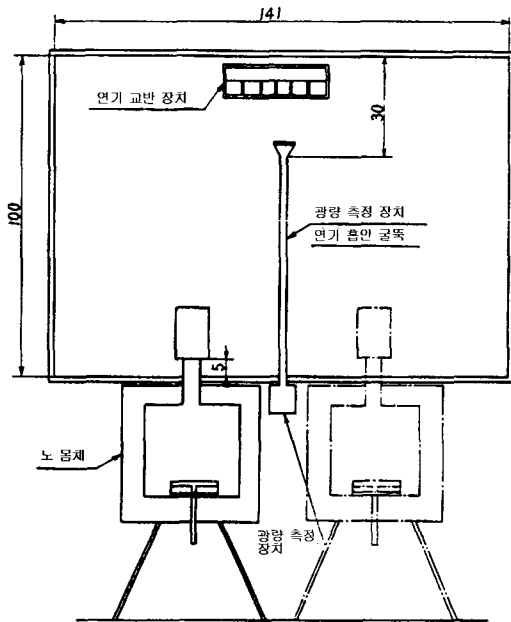


그림 5. 연기 포집 상자

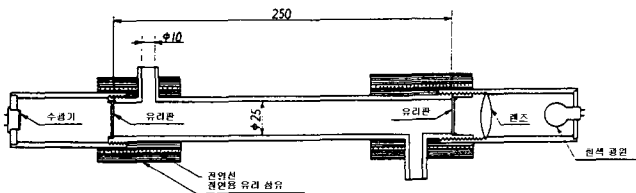


그림 6. 광량 측정 장치

3) 가열시험

가열시험은 시험체의 수열면의 크기를 가로세로 각각 18cm로 하고 난연등급에 따라 다음의 표3과 같이 가열한다.

표 3. 표면시험의 가열시간

난연성 급 별	처음의 부열원만에 의한 가열 시간(min)	부열원 및 주열원에 의한 가열시간(min)	가열 시간의 합계(min)
난연1급	3	7	10
난연2급	3	7	10
난연3급	3	3	6

4) 판정

- (1) 시험체 전체 두께에 걸친 용융, 시험체 뒷면에 대한 균열, 그 밖에 방화상 현저하게 해로운 변형 등이 없을 것.
- (2) 가열 종료후 30초 이상 잔류 불꽃이 없어야 한다.
- (3) 시험결과의 배기온도곡선은 가열시험 중 표준온도곡선을 초과하지 않을 것. 다만, 난연2급 또는 난연3급은 시험이 시작하여 3분이 경과한 후는 ④의 조건 범위내에서 초과할 수 있다.
- (4) 배기온도곡선이 표준온도곡선을 초과하고 있는 부분의 배기온도곡선으로 둘러싸인 부분의 면적(단위 ℃×분)이 난연2급은 100이하, 난연3급은 350이하이어야 한다.
- (5) 단위 면적당 발연계수(CA)는 난연성의 급별에 따라 표 4의 수치를 초과하지 않아야 한다.

$$C_A = 240 \log_{10} \frac{I_0}{I}$$

여기서 I₀ : 가열 시험 개시시의 빛의 세기(Ix)

I : 가열 시험중의 빛 세기의 최저값(Ix)

표 4. 난연급별 발연계수

난연성 급별	단위 면적당 발연계수(CA)
난연1급	30
난연2급	60
난연3급	12

5.4 부가시험

1) 시험체

표면시험에 사용한 시험체를 사용하여 그림 7과 같이 시험체의 표면에서 뒷면으로 관통하는 지름 25mm인 구멍을 3개 뚫은 것으로 시험체의 수와 양생방법은 표면시험체와 동일하다.

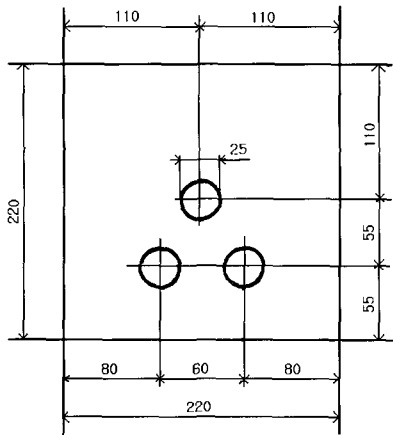


그림 7. 부가시험의 시험체

2) 시험장치

표면시험의 시험장치와 동일한 것으로 시행한다.

3) 가열시험

가열시험은 표면시험과 동일하게 시행하며, 시험체 뒷면에 표준판을 밀착하여 노내에 장착하고 표 3에 규정한 난연 2급의 가열을 한다.

4) 판정

가열시험의 결과 각 시험체가 표 5의 수치를 초과하지 않는 것을 합격으로 한다.

표 5. 부가시험의 판정기준

표준온도곡선을 넘는 온도시간면적(°C분)	단위면적당 발연계수(CA)	잔류불꽃 시간 s
150	60	90

5.5 가스유해성 시험

1) 시험체

시험체는 표면시험의 시험체 제작방법에 따르며 시험체 개수를 2개로 한다.

2) 시험장비

가열로는 표준판을 사용하여 가열을 실시한 경우에 표6의 배기온도를 10°C 이내의 오차로 재현할 수 있는 것으로 한다.

표 6. 가스 유해성 시험용 가열로의 배기온도

경과시간(분)	1	2	3	4	5	6
배기온도(°C)	70	85	100	140	170	195

가스유해성 시험 장치는 다음의 그림8과 같다.

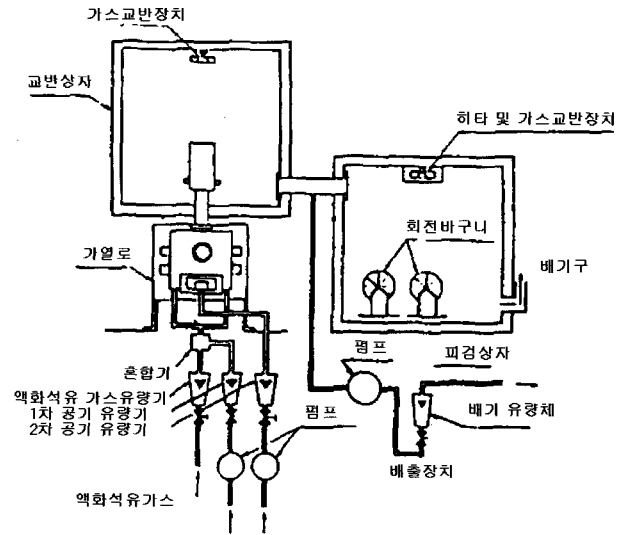


그림 8. 가스 유해성 시험 장치

3) 가열시험

가열시험은 시험체의 열을 받는 면의 크기를 가로, 세로 각각 180mm로 하고, 부열원 3분 가열 후, 주열원으로 3분간을 가열하며, 피검 상자의 배출장치에 의해 매분 10.0 l의 기체를 배출한다. 가열시험을 시작할 때 피검상자 내의 온도는 30°C로 하고, 실험용 쥐는 1마리씩 넣는 회전 바구니에 넣어 8개를 피검상자 내에 넣어야 한다.

표 7. 실험용 흰쥐의 조건

계통	주령	체중
DD계 또는 ICR계 암쥐	5주	18 ~ 22g

가열은 시작 후 15분간 개개의 실험용 흰쥐마다 실시하며 행동정지시간을 자동 기록장치를 이용하여 측정한다.

4) 판정

시험체 2개에 대한 가열시험 및 행동정지시간 계산 결과 시험체 각각의 흰쥐 평균 행동정지시간의 값이 9분보다 클 경우 합격으로 한다.

6. 결 언

이상과 같이 화재로부터의 보호를 근본목적으로 하고 있는 방화구조에 대하여 살펴본 바 오늘날 건축물

의 대형화와 다기능화에 따라 날로 증가하는 건축물의 화재로 인하여 인명 피해와 재산상의 손실은 더욱 크게 나타나고 있다. 또한, 인명피해는 대부분 질식사여 원인이 있음을 볼 때 건축물의 가연성 내장재를 불연화하는 것은 방화에 있어 최우선책이라 하겠다. 따라서 건축물의 불연화와 방화재료와는 불가분의 관계에 있음은 명백한 사실이므로 방화성능이 우수한 재료의 생산없이 건축물의 불연화는 어려운 과제라 하겠다.

최근 선진각국의 많은 연구기관에서는 건축방화에 대한 다각적인 연구가 활발히 진행되고 있는 반면, 아직까지 국내에서는 건축방화에 대한 전문적인 기관이 적고, 깊이있는 연구 또한 부족한 실정이었다. 이에 우리나라에서도 건축방화에 대한 활발한 연구가 이루어지기 위해서는 화재실태에 대한 정확한 조사분석을 토대로 건물의 방화계획, 화재시 연기의 거동 및 유동성, 방화재료의 성능개발 등에 대한 깊이 있는 연구가 이루어져야 하겠다.

따라서, 방화구조재료의 성능개발을 위한 연구개발과 함께 적절한 방화재료의 사용과 관리가 이루어져야 할 것이며, 이에 대한 제도적 개선이 요구되어진다.

참 고 문 헌

1. KS F 2271 ; 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험방법, 1998.
2. 대한건축학회, 건축학전서 건축재료, 2000.
3. 대한건축학회, 강구조 건축물 내화설계기준 및 기법에 관한 연구, 1995.
4. 서치호, 방화재료의 성능, 대한건축학회지 36권 6호, 1992. 11.
5. 일본건축학회, 방화재료·시험(Fire Performance Materials & Tests), 지인당, 1996.
6. 장동찬, 건축제법규, 기문당, 2003.