

기 획

내장재 화재 안전성 평가 방법 선진화 동향

-ISO기준을 중심으로-

글_ 이 지 섭(방재설비부 선임연구원)

1. 개요

최근 건축기술의 진보로 새로운 재료, 구조, 공법 등이 접차로 개발되고 있다. 이들 신기술에 따른 방화성능을 적절하게 평가하여 그 보급의 확대를 꾀하기 위해 종래의 방화 시험법을 다시 평가하여 보다 적응성이 있으며 과학적이고 합리적인 시험법을 개발하려는 연구가 진행되고 있다. 또 여러 분야에서 WTO/TBT 협정에 따른 기술 장해 제거를 위한 국제조화가 요구되고 있어 현재 각국에 따라 정해진 방화시험법에 대하여도 해외의 시험법 예를 들면 ISO 등의 시험법과의 조화를 꾀하는 것이 중요한 과제가 되고 있다. 이를 위해 국내의 KS관련 기관에서도 국제적으로 받아들여지는 새로운 방화성능평가 시험 결과가 건축재료, 구조 및 설비의 실화재시의 특성에 대응될 수 있는 새로운 방화성능 시험법을 확립하는 것을 목표로 하여 2000년부터 한국산업규격(KS) 국제 수준화 사업을 추진하고 있다.

재료의 화재안전성능을 몇 단계의 방화재료로 등급분류(우리나라는 불연, 준불연, 난연재료로 분류함)하여, 각각의 등급이 어떤 조건의 건물에 이용되는가를 규정하는 형태의 화재안전성평가는 현재 세계 각국에서 널리 사용되고 있다.

재료가 어느 등급에 해당되는지는 그 재료의 시장 성격과 규모의 범위를 지배하는 중요한 조건이 되므로 화재안전규제의 대상이 되는 재료는 보통 어느 등급을 목표로 하는가를 미리 설정하여 재료 개발이 행하여지고 있다.

한편, 이러한 재료의 등급분류는 보통 시험에 의해서 행하여지고 있다. 재료의 화재안전성평가의 틀이 형성된 것은 주로 1950년대 유럽, 미국, 일본에서 고분자재료가 대량 사용, 그것도 화재안전성에 대한 의식 부족 상태로 가구나 건축재료로서 이용하기 시작되면서, 다수의 희생자를 발생시키는 화재가 빈번

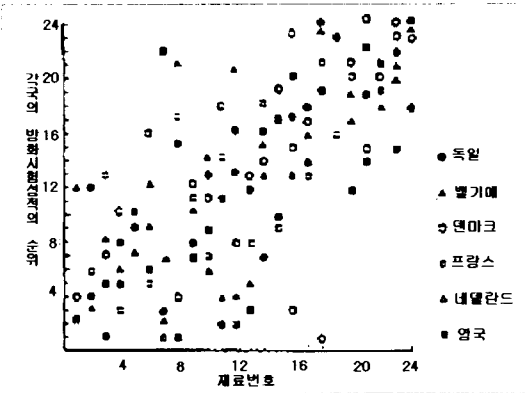
하게 발생하면서부터라고 할 수 있다. 이 이전에는 가연재료라고 하면 목재나 일부의 섬유제품이었으므로 시험으로 성능을 비교할 것까지 없었다. 그러나 고분자재료의 도입이 활발하여지면서 화재로 인한 사망자 발생을 억제하는 것이 급선무로 각국에서 점점 서둘러 시험법을 개발하였기 때문에 시험법도 국가마다 각기 다를 수밖에 없었다.

그 결과 같은 재료에서도 방화적으로 「좋은 재료」로 평가하는 국가도 있고, 「나쁜 재료」로 평가하는 국가가 있게 되었다. [그림 1]은 24종의 재료에 대한 유럽 각국에서 시험한 성적의 순위를 정리한 것이다. 국가에 따라서 재료의 성적 비교에 심한 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 원래 재료의 화재안전성평가는 건물의 방연 피난, 구조의 내화성능의 평가와는 꽤 성격이 다르다. 재료의 안전성평가는 시험에 의존하는 경우가 높을 뿐만 아니라(방연이나 피난 등은 계산으로 평가가 진행되고 있다), 그 시장의 국제화도 구조나 설계업무 등에 앞선다.

시장의 국제화가 가능하게 되면, 국제시장을 의식하여 제품개발을 하려고 하는 일도 많아지지만, 재료의 평가가 국가에 따라서 다르므로 많은 국가를 상대로 제품을 개발하는 것은 어렵다. 국가에 따라 재료시험이 다르면 방화재료로서 인정을 받기 위해, 그 국가의 시험법으로 재료시험을 받아야 하므로 시험비용 등에도 부담이 된다.

따라서, 시장의 국제화에 대응하기 위해서는 방화성능평가시스템이나 시험법의 표준화를 꾀하는 것이 피할 수 없는 과제이다. [그림 1]에서 처럼, 국가나 시험법에 따라서 시험성적이 분산된다는 사안은 어떤 면에서는 각국에서 사용되는 시험법이 정말로 현실 화재위험을 설명할 수 있는 합리적인 것인가에 심각한 의문을 던지게 되는 것이다. 화재안전성의 허용레벨이 국가에 따라서 다르다 하더라도 놀라운 것

은 아니지만, 국가에 따라 재료가 연소하는 방향이 다른 것은 아니다. 그러므로 시험법이 과학적이고 합리적인 것이면, 국가나 시험법에 따라서 안전성의 순번이 크게 다르지 않다고 할 수 있을 것이다.



[그림 1] 24종의 재료에 대한 유럽 각국의 방화시험 결과(Emmons에 의함)

방화규제는 안전성을 근거로 재료를 사용해야 할지의 여부를 결정하는 것이므로, 합리성의 여부가 분명하지 않은 시험으로 안전한 재료가 그 시험법에 통과되지 않았다는 것만으로 시장에서 배제되어야 하는 것과 정말로 위험한 재료가 성능 이상으로 평가되어 시장에 나오는 것은 불건전한 것이다. 그렇다고 하면 본질적으로 중요한 것은 현실의 화재위험을 설명할 수 있는 과학적이며 합리적인 시험평가시스템의 개발을 통하여 국제적인 표준화를 달성하는 것이다. 따라서, 본고에서는 이런 문제점을 과학적이며 합리적인 시험방법을 통하여 객관적인 평가방법을 연구하고 있는 최근의 국제표준화기구(ISO)에서 추진된 방화재료 시험법 몇 가지를 소개하고자 한다.

2. 국제기준인 ISO의 재료 연소성 시험법에 대한 동향

원래 유럽 중심으로 움직이는 경향이 있는 ISO/TC92(SC1 : 화재에 대한 연소현상, 회원국의 40%가 EU 가맹국)에서 성능적인 재료의 연소성시험을 개발하여 국제표준화하려고 하는 움직임이 활발해졌던 것은, 유럽의 통합이 배경이었던 것이라 할 수 있다. 「성능적」이라고 하는 것은 재료의 연소성이라고 일컬어지는 것을, 일단의 착화, 연소확대, 발연 등 지배원리가 다른 요소성능으로 분해하여, 그 각각에 대하여 시험법을 개발한다고 하는 개념이다. 재료

시험에는 치수가 기껏해야 수십 센티미터의 소형시험체를 사용하는 것(이런 것을 보통 bench-scale이라 한다.)으로부터 실제의 실을 재현하는 실험규모에 가까운 것까지 존재하며, bench-scale과 실험의 중간에 위치하는 중간규모시험도 있다. ISO/TC92/SC1에서는 bench-scale시험을 이런 요소성능마다 원칙적으로 1종류씩 책정하여, 공법부위 등에 영향을 미치지 쉬운 문제는 bench-scale의 시험으로는 재현이 곤란하므로 실험 중간규모의 시험으로 평가하려고도 한다.

ISO/TC92/SC1에서는 1970년대 말 이후 여러 가지 시험법이 검토되어, 이제까지 ISO 1182(불연성시험), ISO 5657(착화성시험), ISO 5658(표면화재전파성시험), ISO 5659(Single chamber에 의한 발연성시험), ISO 5660(Cone Calorimeter시험), ISO 9705 (Room corner시험) 등의 시험법을 표준화시켰다. 이 중 ISO 1182, ISO 5659, ISO 9705는 일부 국가에서 이미 규제에 사용된 기준이나 기준안이 존재해 있던 시험법을 기본으로 국제기준화가 진행되고 있지만, ISO 5657, ISO 5658, ISO 5660 등은 연구적인 경향이 강한 측정장치를 원형으로 하여 실용적인 시험법으로 체인지업된 것이다.

예를 들면, ISO 1182는 영국기준(BS)안을 원형으로 ISO화된 시험법이지만, 일본 건설성고시에 의한 기재시험도 BS안을 원형으로 하기 때문에 ISO 1182와 기재시험의 시험장치는 비전문가 눈에는 구별할 수 없을 정도로 유사하다. 또한 ISO/TC92/SC3(화재시의 독성)에서는 화재시의 유해가스발생 상황 모델화, 화재생성가스의 화학분석방법의 표준화, 가스독성평가에 관한 가이드라인의 작성, 가스독성 예측 평가방법의 개발 등을 행하고 있다.

최근에는 세계적으로 동물을 이용한 실험을 실시하는 것이 곤란하게 되어 불에 타 사망한 사람으로부터 혈액을 채취하여 그 안에 있는 독성농도를 분석하여 자료화하려는 움직임도 있다. 또한 미국을 중심으로 할로젠계 성분의 독성평가를 정밀화하려고 하는 시도가 시작되고 있다. 할로젠은 유기재료의 난연성을 높이는 성분으로서 대량으로 사용되고 있어, 이들 재료가 연소할 때 독성의 강도 해석이 사회에 미치는 영향이 대단히 크다고 하는 것이 이 배경이다.

그러나 할로젠계 성분은, 재료를 최종적으로 소각 처분한 경우에 다이옥신 등의 독성물질을 발생시키기 쉬운 것으로 알려져 있어, 할로젠계 약제를 방화

성능의 향상을 위하여 인위적으로 이용하려고 하는 경향에는 역제가 가해지는 것도 생각할 수 있다.

ISO/TC92의 기본적인 약속의 하나는, 시험법(시험장치와 순서)은 표준화하지만 시험결과의 평가에 대하여는 가능한 한 참고 추정값 등으로 권고하고 각국의 판단에 맡겨두기로 하는 것이다. 이것은 안전성의 요구 수준이 국가나 지역에 따라서 다르므로 ISO에서는 영향을 끼치지 않으려는 의미이다.

그러나 시험법만이라도 국제적으로 표준화되면 [그림 1]에서 볼 수 있는 것처럼 국가에 따라서 재료 평가의 경향이 아주 다르다고 하는 것은 없어지게 되고, 국가별로 재료시험을 다시 고쳐야 한다는 불편함도 완화된다. 원래 시험법 자체의 합리성은 거의가 과학과 공학의 범위에서 토론되어 얻을 수 있는 것으로, 화재위험의 허용 수준 등이라고 하는 것은 문화나 사회상황에 크게 의존하므로 국제적인 합의를 피하는 것은 어렵다. 이런 것까지 표준화하려고 하면 시험법의 표준화의 속도는 어려워진다.

3. ISO/TC92/SC1에서 최근 개정된 시험방법

ISO/TC92/SC1에서 표준화된 방향으로 검토되어 진행된 주요한 과제는 재료의 총발열량 측정, 접점에 의한 착화시험, 질량감소, 모형상자시험, 샌드위치패널시험, 중간규모연소발열성시험 등이 있으며, 이와 같은 시험법은 같은 시험장치로 어느 정도 안정된 시험결과를 얻을 수 있는가를 나타내는 지표인 반복성과 다른 시험기관이 같은 시험을 했을 때 시험결과가 어느 정도 일치하는가를 나타내는 지표인 재현

4.1 불연성시험방법 (ISO1182)

약 750±5℃로 유지된 전기로 내에 시험체를 넣고 최고온도와 최종평형온도와의 상승치를 측정하

성에 따라 확인검증하여 기준으로 채택한다.

이 가운데, 개정 모형상자 시험은 일본 건설성고사에서 규정된 모형상 시험을, 화원을 목재에서 버너로 변경 개정하여, 일본에서 국제기준으로 제안한 것으로, ISO기준안으로 검토되었다.

샌드위치패널은 영국에서 제안되어 기준화의 검토가 시작된 테마로 공장 등의 칸막이 외벽 등에 패널로 대량생산되는 건축제품의 화재안전성을 패널 전체로서 평가하기 위한 방화성능시험으로 실대와 축적모형에 의한 것 2가지가 검토되었다.

중간규모연소발열성시험은 미국에서 제안된 가스를 열원으로 한 방사히터(한 변이 1m의 정사각형의 벽상 패널)로 한 변의 시험체를 가열하여 그 연소발열성상을 측정하는 시험법이다. ISO 5660은 한 변이 100mm의 소형시험체를 사용하기 때문에 표면의 마감, 공법, 접합부 등을 재현할 수가 없지만, 이 시험법에서는 연소발열성상에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 이 외에도 연소성 시험은 아니지만 연소성 시험에 있어서 가열조건의 관리나 파악은 일반적으로 열류계로 하므로, 열류계의 정확한 사용과 성능 유지는, 연소성 시험의 정밀도, 재현성, 반복성 등을 확보하기 위한 가장 중요한 요소로 이런 측정 부속품에 대하여도 검토하고 있다.

4. 국제화의 성능규정에 근거한 ISO의 방화재료 시험방법

다음에 기술할 시험방법은 일부 국가에서는 규격으로 채택하고 있지만, 건축상 규제로 사용하고 있는 국가는 아직은 적다.

는 방법으로 시험장치[그림 2] 및 측정항목은 다음과 같다.

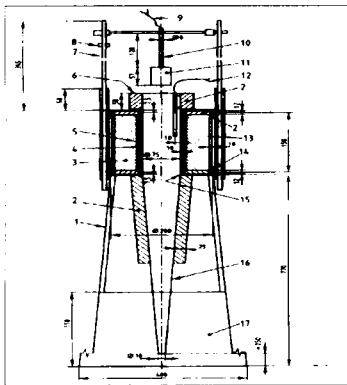
항 목	ISO 1182
시험체원기동형	지름 : 45mm, 높이 : 50mm
시험체수	5개
온도측정	로내온도, 시험체 표면온도, 시험체 중심온도
시험시간	30분 또는 안정되지 않을 때 5분간격으로
화염지속(잔염)시간	규정없음
기준값 구하는방법	최종 평형온도와 최고 로내온도의 차
평가방법	규정없음

4.2 착화성시험 (ISO 5657)

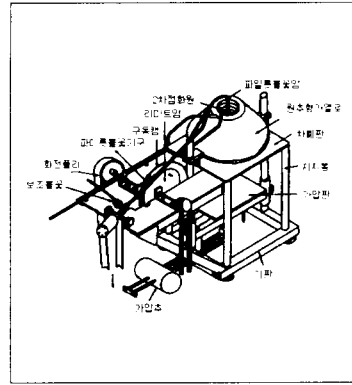
시험체를 수평으로 설치하고, 일정한 복사열(1~5 w/cm²)을 시험체 상부표면에 노출시켜, 점화원인 점화기구의 작은 불꽃을 시험체 중앙 위의 10mm지점

에 규칙적인 간격으로 점염하였을 때 재료의 지속적인 표면 착화특성(착화시간)을 평가. 성능과 판정, 시험장치[그림 3]는 다음과 같다.

항 목	ISO 5657
가열로	원추형가열로, 가열강도 50kw/m ² 까지
점화원	시험체 중앙 위 10mm에 위치, 화염길이10mm, 4초에 1회 삽입
시험체	가로×세로(165×165mm), 직경140mm 구멍을 뚫은 알루미늄호일로 시험체를 포장
시험체수	5개
평가방법	착화시간을 초시계로 측정(4초이상 연소하였을 때)
기타	변색, 발연, 4초이하의 섬광 등 관찰



[그림 2. 불연성시험기]



[그림 3. 착화성시험기]

4.3 화염전파성시험 (ISO 5658)

이 시험은 수직방향으로 설치된 시험체의 연소특성을 평가하는 방법으로 가스연소식 복사판넬에 의해 공급된 복사열에 노출시켜 연소의 진행에 따라 배기가스용 보정된 열전대로 밀리볼트 신호값을 측

정, 거리에 따른 불꽃의 착화 및 소화시간을 기록, 착화열, 연소지속열, 소화시임계열류량, 평균연소지속열, 전체방출열 및 최대방출열 등을 측정하는 시험으로 성능, 판정 및 시험장치[그림 4]는 다음과 같다.

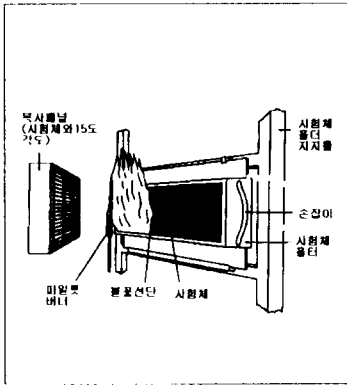
항 목	ISO 5658
가열로	가스복사로 300×500mm, 가열강도 약 50~0.2kw/m ² 시험체에 대하여 약15도 경사진 방향에 설치
시험체	폭155×길이800mm
시험체수	5개
교정방법	열류복사계로 50mm마다 측정하여 규정가열강도곡선을 얻을 것
평가방법	중앙부의 연소를 50mm마다 측정할 것, 최종화염도달시의 가열강도의 값을 구한다.

4.4 ISO 5659 (Single Chamber 시험법)

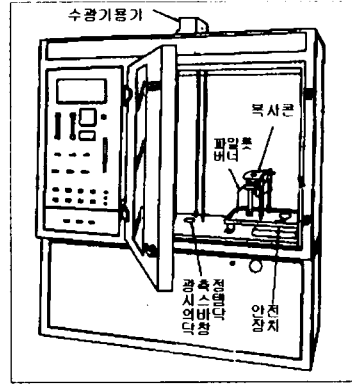
항 목	ISO 5659
가열로	원추형히터, 상부55mm, 하부110mm, 가열강도 10~50kw/m ²
점화원	파일롯 약10mm
집연상자	NIST연농도챔버와 동일
시험체	가로×세로(75×75mm), 두께 25mm이하
시험체수	최소 9개
측정방법	집연상자내의 상하에 보통 빛과 광전관으로 연농도를 측정
평가방법	가열강도25, 50kw/m ² 의 2조건, 불꽃유무의 2조건 이상에서 단위면적당의 발연계수로 평가

설정된 복사강도(25, 50KW/m²)와 파일롯 버너 유무에 따라 연소시켰을 때 재료에서 발생하는 연기

농도를 빛의 감쇄 정도로 측정하는 방법으로 시험장치[그림 5], 성능과 판정은 다음과 같다.



[그림 4. 화염전파성시험기]



[그림 5. Single Chamber 시험기]

4.5 ISO 5660 (Cone Calorimeter 시험법)

이 시험은 수평으로 놓인 시험체에 복사열(50KW/m²)을 노출시켜 재료의 열방출 특성을 연소생성물 흐름 속의 산소농도와 유속으로부터 유도된 산소소

비량을 측정하여 평가하는 방법으로 시험장치[그림 6], 성능과 판정은 다음과 같다.

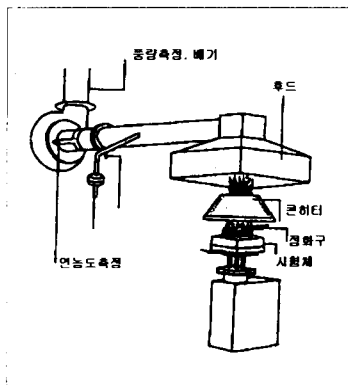
항 목	ISO 5660
가열로	원추형히터, 상부80mm, 하부197mm, 가열강도 10~100kw/m ²
점화원	스파크(5kV), 시험체 중앙에 위치
분체	가열로 상부에 집연후드와 배연덕트를 사용하여 도중에 가스 샘플링과 오리피스를 사용하여 배출유량 측정
시험체 및 개수	약100mm 정사각형, 3개
측정방법	산소농도와 질량유속으로 산소소비량을 산정하여 방출열량을 구한다. 또 착화한 시점에서 총발열량을 구한다.
평가방법	최고발열량, 착화후의 3, 5분간의 평균발열량, 착화시간 등
기타	중량감소, 연농도, CO ₂ , CO 등을 구할 수 있다.

4.6 ISO 9705 (Room Corner 시험법)

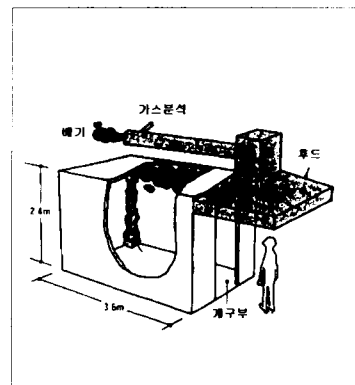
실규모의 공간에서 착화원으로부터 멀리 떨어진 가연물 및 표면마감재의 화염전파 및 이들 재료의 연기발생에 따른 농도, 가스독성 등을 규정된 열량을

내는 버너를 사용하여 측정하는 방법으로 시험장치 [그림 7], 성능과 판정은 다음과 같다.

항 목	ISO 9705
장치본체	안치수 폭2.4×길이3.6×높이2.4m의 실내를 갖는 연소실 경량콘크리트블럭 개구부는 폭0.8×높이2m
배연장치폭	3.0×3.0m의 집연후드와 직경0.4m이상의 배연덕트를 갖고 도중에 가스샘플링과 배출유량을 측정할 수 있는 것
화원	약300mm의 정사각형 프로판버너로 점화 후 10분간은 100kw, 나머지 10분간은 300kw로 한다.
시험체	옹벽과 측벽 1면, 천장면의 1부를 내장하는 것으로 제안하고 있음
측정방법	ISO 5660과 동일하게 산소소비법으로 발열량을 측정
평가방법	Flashover를 발생한 시간을 구한다. 현재는 1MW를 초과한 시간으로 하고 있음
기타	실내온도, 천장온도, 바닥온도, 개구부 압력, 연농도 등을 측정



[그림 6. Cone Calorimeter 시험기]




[그림 7. Room Corner 시험기]

5. 맺는말

최근 화재에 있어서의 평가는 건물의 용도 및 규모에 따라서 결정된 획일적인 사양을 가지고 규정하는 목적에 대한 구체성 및 명확성이 없이 다분히 경험적인 것에 의존하여 획일적인 기준을 요구하는 사양위주의 평가에서, 건물의 용도나 특성에 적합한 안전 목표의 수준을 명확하게 결정하고 이에 도달하기 위한 기본적인 요구사항을 제시한 후, 이를 해결하기 위한 구체적인 성능기준을 도출하도록 하는 성능위주의 평가방법으로 전환되고 있다. 따라서, 이를 달성하기 위해 요구되는 성능수준을 결정하여 최종적으로 요구되는 성능수준에 적합한 평가방법이 제시되어야 한다. 그런데, 이 시스템을 원활히 운영하기 위해서는 고도의 과학과 공학적 기술이 뒷받침되어야 하는 것이 필수적이다.

따라서, 이러한 고도의 과학과 공학적 기술을 적용하기 위해 어느 경우에 화재가 발생하는지, 화재는

얼마나 빨리 성장하는지, Flashover현상은 어떤 경우에 발생하며 발생시기는 언제인지, 화재에 노출된 건물부재는 어떤 성능을 어느 정도 확보해야 하는지 등의 성능판정을 위한 재료의 연소현상 및 특성, 화재 전파의 메커니즘 및 제어, 연소생성물 등을 이해하고 분석 평가하는 과학적, 공학적 이론 정립이 선행되어야 하며 지속적인 연구가 필요하다고 할 수 있다.

또 무역 자유화로 물품의 자유로운 국가간의 왕래가 빈번하여지고 있다. 이런 차원에서, 지역적 시험법만을 고집한다는 것은 국제사회에서 고립을 초래할 것이다. 따라서, 우리도 국제화에 맞설 수 있는 시험법의 적용과 이를 국제사회에 제안할 수 있는 기술력을 축적하여야 할 것이다. 



방재시험연구원