

A-12

복사열원에 의한 건축용 바닥마감재 화재시험방법에 관한 연구

임홍순, 육근성*

방재시험연구원, 산업자원부 기술표준원*

A Study on Fire Test Method for Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source

Keun-Sung Yook, Hong-Soon Im*

Agency for Technology and Standards, *Fire Insurers Laboratories of Korea

1. 서론

국내산업 발달과 소득수준의 향상으로 거주자의 쾌적한 공간에 대한 요구가 높아지면서 주거공간은 물론 대형 오피스건물, 상업시설 등 모든 건물에서 내장 마감재가 다양해지고 고급화되고 있다. 이중 사용이 급증한 건축 내장재가 바닥재로서 현재 국내 시장규모가 약 7-8천억원에 이르며, 매년 수요가 급성장하고 있다.

이와 같은 건축용 바닥재제품의 증가는 기능성, 미관등 다양화된 소비자의 욕구를 충족하고 있으나 PVC, 우레탄, 목재 등과 같은 가연성 재질이 많이 사용됨에 따라 건물 화재시 인명피해 및 재산손실 위험이 증가하고 있다.

행정자치부의 최근 10년간('92-'01년도) 국내 화재통계에 따르면 화재발생건수, 사망자 및 재산피해액은 년평균 각각 8.7%, 0.3%, 20.9%씩 증가하였다. 또한 통계 분석자료에 따르면 최근 씨랜드사건이나 인천호프집 화재사건 등과 같은 대형 화재사건의 경우, 발생건수는 크게 증가하지 않았으나 년평균 사망자는 30.7%, 재산손실은 178.6%로 크게 증가한 것으로 나타났다.

이렇게 대형화재에서 인명피해가 많은 것은 화재가 순식간에 건물 전체로 확대되어 대피할 시간적 여유가 없기 때문으로, 화재초기의 건물 내장재의 착화 등 위험도 있지만 화재실이 일단 고온복사열을 축적하고 나면 바닥재 등 내장재의 급속한 연소로 화재확대 및 연기확산, 맹독성 가스가 급격히 증가하여, 많은 인명 및 재산손실에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 더우기 바닥재는 주로 화재고온 복사열에 직접 노출되어 통로 등의 연소확산 매체가 되며, 바닥재의 PVC 등은 급속한 연소확산과 아울러 연기발생이 심하며, 맹독성 가스가 많이 발생하는 재질로서 화재위험경감측면에서 충분한 안전성 검증이 필요하다. 그러나 국내에서 바닥재는 국내 건축법상 내장재 불연화의 법적 규제대상에서 제외(벽재와 천정재만 대상)되어 있고, 소방법에 의한 방염성능(초기불꽃 착화연소 등)만 요구하고 있는 실정으로 바닥재 화재로 인한 연소확대 위험에 취약한 실정이다.

이미 미국(ASM), 영국(BS), 독일(DIN), 유럽규격(EN)과 중국(GB/T)에서 규격화되어 사용되고 있으며, 최근 국제규격인 ISO FDIS 9239-1, 2에서 바닥재 마감재에 대한 화재시험방법의 최종안을 규정하고 있는 상태이며, 선진 각국은 소방 및 건축법 등에 바닥재 화재 성능을 규정하여 건축물에서의 화재안전을 도모하고 있다. 따라서 이 논문에서는 국제적으로 통용되는 바닥재화재시험방법의 특징을 조사하고, 국내 도입논의에 따른 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 바닥재 화재연소확대 성상

바닥재가 화재시 연소확산과정을 보면 fig.1과 같이 화재 불꽃은 1차적으로 벽과 천장을 타고 올라가 천장 상부층에 뜨거운 가스층을 형성하며, 점차 뜨거워진 가스층은 다시 2차적으로 바닥면으로 고온복사열을 방출하여 바닥재를 연속적으로 연소시키게 된다. 따라서 바닥재의 연소확대는 실내에 형성되는 복사열강도(열류량)에 의해 결정되며, 아울러 이때 기류는 출화원쪽으로 역기류를 형성하게 되며, fig.2에 나타난 바와 같이 복사열류량이 증가하면 화염전파확산속도는 급격히 증가한다.

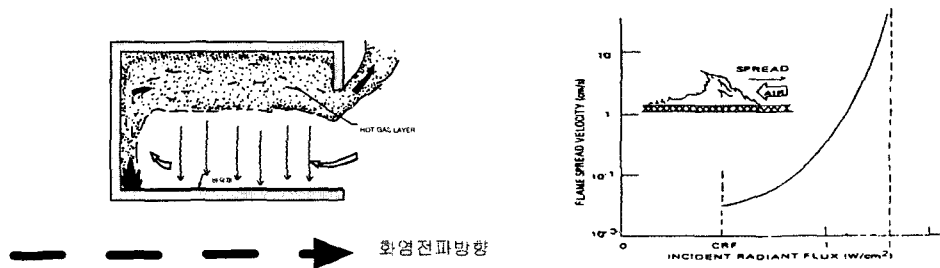


fig. 1. 바닥재연소확대 개요

fig. 2. 복사강도(열류량)에 따른 바닥재의 연소속도

3. 복사열원을 이용한 바닥재 화재시험방법 및 성능분류기준 동향

복사열원을 이용한 바닥마감재 화재시험방법은 실제 건물화재에서의 바닥마감재의 연소확대 특성을 감안한 Quintiere해석이론에 근거하고 있으며, 1974년 미국 표준연구소(NIST)에서 처음 규격화한 것으로 기본적인 원리는 복사열 화재조건하에서 재료가 화염전파를 지속시키는 데 필요한 최소의 복사열류량 즉, 임계복사량을 측정하는 것으로 고온복사열에 노출되는 바닥재 표면에서 불꽃연소확산이 정지할때의 임계복사량(CHF; Critical Heat Flux, kW/m²)과 연속발생 연기량을 측정하는 절차로 구성되어 실제 건축물에서의 복도등 연결통로등으로 연소확산특성을 파악하는 데 합리적인 방법으로 인정되어 왔다.

이미 국제표준화기구(ISO)는 1994년 바닥재에 대한 화재시험방법(ISO 9239)을 처음 입안하여 Part1에서는 11kW/m² 미만의 복사조건하에서 화재특성을 파악하는 것으로 하였으

며, 피난복도 및 경사로등 바닥부분에 폭로되는 복사열은 이보다 훨씬 높게 나타날 수 있는 것으로 조사되어 25kW/m² 까지에서 사용가능한 바닥재의 화재시험절차로서 Part 2 규격을 입안하게 되었고, 현재는 ISO/FDIS 9239-1,2(최종안)으로 나와 있다. 더욱이 최근 국제규격(ISO) 통합화에 따라 유럽연합규격(EN)의 바닥재 화재성능은 EN ISO 9239-1로 규격화 되었으며, 미국(ASTM,NFPA,UL),영국(BS) 및 독일(DIN), 중국(GB/T)에서도 동일한 국가규격화 되었다.

또한 주요 선진국 바닥재 화재시험규격과 성능분류기준 현황은 표1과 같다.

표 1. 외국 바닥재 화재시험규격 및 분류기준 현황

구분	미국	유럽(EN)	독일	중국
시험방법	ASTM E 648 NFPA 253, UL 992	EN ISO 9239-1,2	DIN4102-14	GB/T 11785
성능분류기준	IBC sec.804	EN ISO 13501-1	DIN4102-1	GB 8624
화재성능 분류기준	성능분류 ClassI 및 ClassII	A1, A2 및 B, C, D, E, F급	A급: A1, A2 B급: B1, B2	A급 B급 :B1,B2,B3
	성능기준 I급 ≥4.5kW/m ² II급 ≥2.2kW/m ²	A2 및 B: ≥8.0kW/m ² C : ≥4.5kW/m ² D : ≥3.0kW/m ²	B1 ≥4.5kW/m ²	B1 ≥ 4.5kW/m ² B2 ≥2.2kW/m ²
	-	연기량 ≤750%*min	연기량 ≤750%*min	-
비고		영국규격 동일 BS EN ISO9239-1 BS EN 13501-1		미국규격 채택

주) IBC(International Building Code, 2001) 미국통합건축기준

4. 바닥재 화재시험장치 구성

바닥재화재시험장치는 fig. 3과 같이 연소챔버에 수평으로 설치된 바닥마감재 표면위에 복사열을 받는 상태에서 불꽃을 접염하여 불꽃확산거리에 따른 임계복사량(CHF,Critical Heat Flux)과 연소시 발생하는 연기농도를 측정하는 장치로 구성되었다.

이 시험장치는 프로판가스를 원료로하는 다공질 내화물로 만들어진 복사패널를 이용하여 수평바닥시험체에 대하여 30°경사각을 가지고 시험체표면위 거리별 최대10.9kW/m²에서 최소1.1kW/m²(고복사인경우는 최대25.2kW/m²에서 최소2.6kW/m²)까지 복사열을 가열하는 시스템이다. 따라서 바닥재 시험체가 복사열을 받는 상태에서 최대 불꽃도달거리를 측정하여 임계복사량 구할 수 있다.

바닥마감재 표면의 화염전파시 발생하는 연기량은 배기굴뚝에 설치된 연기측정장치(DIN 50055)를 이용하여 가시광선을 투과시켜 광도달율(%)를 측정한다.

사용하여 제작하였으며, 연소중 수축,파손등에 의한 불꽃연소거리 장애요인을 최소화하기 위해 고정홀더에 실험체를 삽입하여 설치하였다.

2) 측정항목 및 조건

바닥재 실험체의 화재안전성을 측정항목으로는 선진규격의 화재성능 분류기준에 적용되고 있는 연소확산거리, 임계복사량(CHF;Critical Heat Flux), 연기량으로 하였으며, 측정시간은 30분으로서 복사가열조건으로 최대11kW/m²로 가열하는 중복사실험과 최대25kW/m²로 가열하는 고복사실험을 동일 실험체에 대하여 임계복사량(0~25kW/m²)과 연기발생량(최대 3000% × 분)을 각각 측정하였다.

5-3. 실험체별 바닥재화재 실험결과분석

상기 25종 연구실험체에 대하여 재료별 화염전파거리 및 임계복사량, 연기발생특성을 중심으로 분석하였으며, 요약은 다음과 같다.

가. 재료별 임계복사량(CHF) 비교분석

바닥마감재료별 임계복사량은 인조대리석(MA)>PVC바닥재(PV)>도장바닥재(CO)>카펫(CA)>목재마루(WD) 순서로 나타났으며, 결과중 일반적으로 바닥재는 임계복사량이 11kW/m²이하의 조건에서 시험이가능하였으나 PV-L 및 PV-M의 사무실 등 증보행용 일부 PVC바닥마감재와 MA-A, B, C의 인조대리석 3종(시멘트계 및 수지계)의 경우, 난연성이 높아 고복사조건에서 성능값을 얻을 수 있었다. 카펫의 경우에는 재질별로 PTT, 나이론, PP계 3종중 나이론계열이 난연성이 좋게나타났으며, 우레탄수지도장바닥재, 카펫(PTT,PP계)등은 상대적으로 난연성이 떨어지는 것으로 나타났다. (fig.4참조)

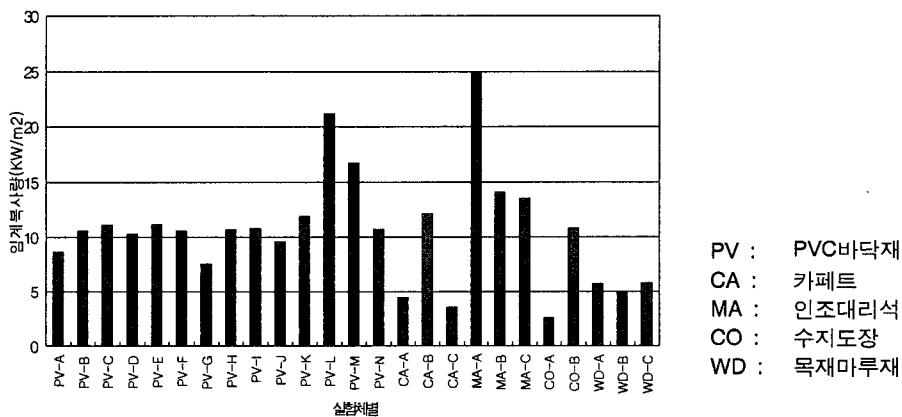


fig. 4. 바닥마감재료별 임계복사량 측정결과

나. 재료별 연기량 발생 특성 분석

동일실험체에 대하여 중복사열 및 고복사열조건으로 각각 실험한 결과, 연기발생량은 fig.5와 같이 대폭 증가하였다. 특히 인조대리석의 경우 중복사열실험에서는 거의 연기가

발생하지 않았으나 고복사열 실험에서는 급격히 증가하였으며, 우레탄수지바닥재(CO-A)는 다른 부재에 비해 연기발생이 많았으며, 강화마루(WD-B)의 경우 다른 목재마루와 달리 현저히 높게 나타났다. 이는 표면강화를 위한 함침액(불포화폴리에스터)의 불연소로 연기가 증가한 것으로 판단된다. 그러나 국내바닥마감재 제품의 대부분이 독일 및 유럽 기준에 의한 분류기준(750%이하)에 만족하는 것으로 나타났다.

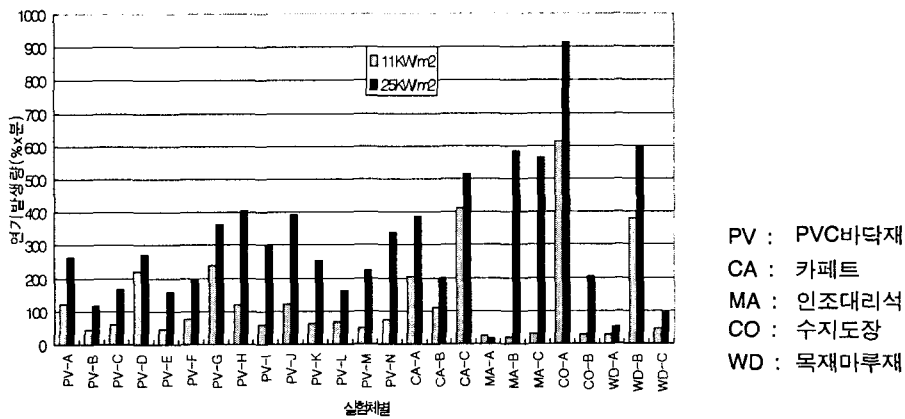


fig. 5 바닥마감재료별 연기발생량(%x분)

중복사조건(11kW/m²)으로 바닥마감재 실험한 결과, 경과시간에 따른 연기발생특성은 fig.6와 같이 10분 이전에 가장 많이 발생하는 것으로 나타났으나, 다만, 강화마루는 15분까지 연기발생이 증가가 지속되었다.

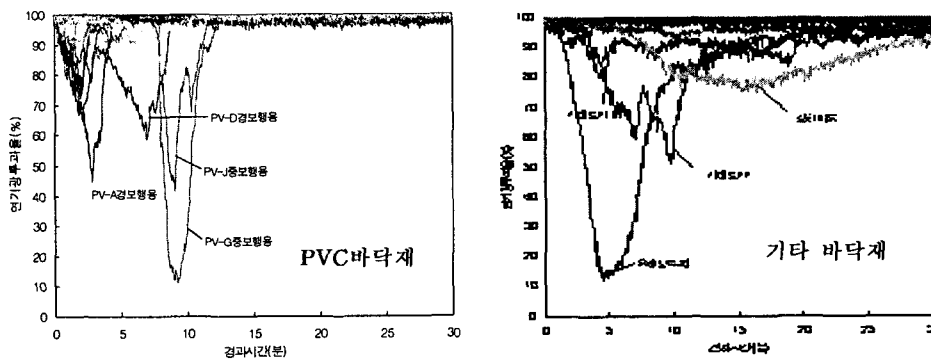


fig. 6. 중복사조건(11kW/m²) 경과시간별 연기발생량

고복사조건(25kW/m²)으로 바닥마감재 실험한 결과, 경과시간에 따른 연기발생특성은 fig. 7과 같이 10분 이전에 가장 많이 발생하는 것으로 나타났으나, 다만, 인조대리석, 우레탄수지, 강화마루는 15분이상까지 연기발생이 증가가 지속되었다.

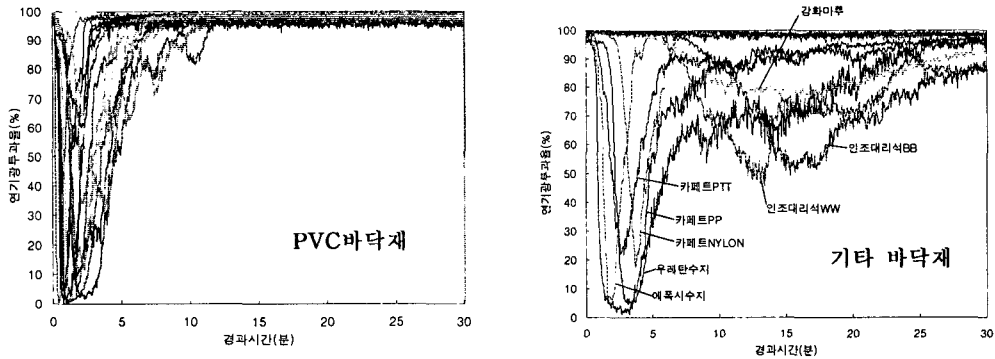


fig. 7. 고복사조건(25kW/m²) 경과시간별 연기발생량

6. 결론

상기와 같이 국제 규격화되고 있는 복사열원을 이용한 바닥마감재 화재시험방법에 대하여 그 배경과 원리, 각국의 채택현황조사와 아울러 국내 바닥마감재 제품의 성능조사 실험을 통하여 다음과 같은 몇가지 결론에 도달하였다.

첫째, 국내 바닥마감재 제품에 대한 화재실험결과, 일부재질을 제외한 PVC,인조대리석, 목재마루 제품이 미국,유럽등에서 사용되는 난연성 분류기준(CHF 4.5kW/m²이상, 연기발생량 750%이하)에 적합하였다.

둘째, ISO 바닥재 화재시험방법은 선진각국에서 국가규격화하여 건축기준등에 활용되고있으며, 기존 다른 화재시험방법 보다 과학적이고 실용적인 방법으로 국내에 도입하는 경우 건축방화적 측면에서 효율적으로 이용될 수 있다고 판단되었다.

셋째, 건축법 및 소방법등 화재안전성능기준 설정에 필요한 성능 분류기준으로서 다음과 같이 제안하고자 한다.

항목구분	바닥재 난연성 분류기준(안)	비 고
임계복사량 (CHF)	바닥난연1급 ≥ 8.0kW/m ² 바닥난연2급 ≥ 4.5kW/m ² 바닥난연3급 ≥ 2.2kW/m ²	피난통로등 바닥마감재규제
연 기 량	750% 분 이하	30분간 총량

주) CHF(Critical Heat Flux)

참고문헌

1. 「2001 화재통계연보」, 행정자치부 소방국 발행
2. ISO FDIS 9239-1(Reaction to fire tests for floorings - Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source, 2000)
3. ISO FDIS 9239-2(Reaction to fire tests - Horizontal surface spread of flame on floorings- Part 2: Determination of flame spread at a heat flux level of 25kW/m²)
4. NFPA 253 (Standard method of test for critical radiant flux of floor covering systems using a radiant heat energy source,1990)
5. ASTM E 648 (Standard test method for critical radiant flux of Floor-covering systems Using a radiant heat energy source, 2000)
6. 「European system of classification for construction products」, Fire safty engineering, March 2001, 6p-9p
7. prEN 13501-1(Fire classification of construction products and building elements-Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests, 2000)
8. DIN 4102-1(Fire behavior of building materials and elements-Part 1: Classification of building materials requirements and testing,1998)
9. DIN 4102-14(Fire behavior of building materials and elements-Part 14: Determination of the burning behavior of floor covering systems using a radiant heat source,1998)
10. GB 8624 (建築材料 燃燒性能分級方法, 1997, 中國)
11. GB 11785 (鋪地材料 臨界通量的 測定-輻射熱源法, 1989, 中國)
12. IBC(International Building Code, 2001) Sec. 804 (Interior floor finish)
13. 「'99 바닥재 통계현황」 월간바닥재 2000.6