

건축용 바닥재의 연소성능 시험 Burning Tests for Interior Flooring Materials

이봉우 · 이장원 · 사공성호 · 김희수* · 이병호* · 김현중*†

Bong-Woo Lee · Jang-Won Lee · Seong-Ho Sakong · Hee-Soo Kim* ·
Byoung-Ho Lee* · Hyun-Joong Kim*†

한국소방검정공사, 위험물사업본부 성상분석팀

*서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 환경재료과학전공 바이오복합재료 및 접착과학 연구실
(2007. 8. 14. 접수/2008. 2. 25. 채택)

요 약

건축용 바닥재의 화재예방을 위하여 국제규격으로 정해져 있는 바닥재 시험평가 방법인 KSISO 9239-1을 이용하여 각종 바닥재에 대한 연소성 시험을 복사열 판넬 시험기를 사용하여 실시하였다. 복사열 판넬 시험기를 이용하여 각종 바닥재에 대한 화염 전파거리, 임계 열류량 그리고 연기 발생농도 측정하였다. 측정결과 바닥재의 구성 물질 별로 서로 다른 연소특성을 나타내었으며, 바닥재의 표면 재질 및 구성성분이 열 방출과 연기 발생량에 있어 중요한 영향을 미치게 된다는 것을 확인할 수 있었다. 위의 평가방법은 화재위험성을 연구하는데 중요한 인자인 임계 열류량, 연기 발생량 및 화염 전파거리를 정량적으로 평가하는 중요한 시험방법임을 알 수 있었고 국내 건축용 바닥재 화재평가 방법을 국내실정에 맞게 제정 및 적용하는 것이 적합할 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

We have performed the inflammability test for various flooring materials through a radiant heat panel tester by using the specification KSISO 9239-1 (an examination method of flooring materials) that has been set as an international standard for the fire prevention means of interior flooring materials. We have measured the flame spread distance, critical heat flux and smoke density generated by the fire of various flooring materials while using the radiant heat panel tester. The measurement result has shown the burning characteristics different from each other by the respective flooring materials and we could see that the surface materials and construction elements influence greatly on the heat release and smoke generation. We could see that the evaluation method above is an important test method in evaluating the critical heat flux, smoke generation and flame spread distance that are important factors in studying for fire risks and it is judged that setting and applying a fire evaluation method of flooring materials suitable for the domestic construction use would be relevant.

Keywords : Flooring materials, Radiant heat panel tester, Critical heat flux, Smoke density, Flame spread distance

1. 서 론

최근 건축물은 대형화, 고층화, 지하화 및 장식재의 복합화, 다양화 되어 우리 생활에 도움을 주었지만 화재발생시 열, 연기 및 유독가스를 발생하는 내부 장식재의 무분별한 사용으로 인명과 재산 피해가 증가하고 있다. 최근 화재통계에 따르면 매년 발생하는 화재건

수가 3만건 이상이며 이로 인한 인명피해는 2000명 이상 이었고 재산피해도 1500억 이상 발생하였다.¹⁾ 건축용 바닥재는 모든 건축물의 마감재로서 전에는 석재, 석고 및 시멘트 등 무기재료가 많이 사용되었다.²⁾ 그러나 최근에는 대규모 아파트, 대형 오피스텔, 호텔, 공장 및 물류창고 등의 증가로 사용이 급증하고 있는 건축자재는 기능상으로 경량화, 내충격성, 흡음성 및 단열성을 포함한 고분자 복합재료가 주로 사용되고 있다. 전체 바닥재의 70% 이상이 polyvinylchloride(PVC)

† E-mail: hjokim@snu.ac.kr

화학제품이 차지하고 있으며, 합성수지 카펫, 아크릴, 우레탄 도장재, 합성고무, 목재바닥재 및 인조대리석 등의 가연성물질이 주로 사용되고 있다. 현재 국내 바닥재 시장에서는 염화비닐수지 제품이 70%, 목질 제품이 20%, 카펫, 타일, 돌 등 기타 재질이 10% 정도를 차지하고 있다. 전체 바닥재 시장규모는 연간 1조 6,000억원 정도에 달하고 있으며 매년 20~30%씩 성장하고 있다.^{3,4)} 바닥재에 사용되고 있는 고분자재료는 열안정성이 낮아 재료의 연소에 따라 분출되는 열, 연기, 유해가스로 인한 화재위험 요인으로 나타나고 있다.^{5,6)} 이러한 건축물의 내부를 구성하고 있는 건축물의 바닥재 및 마감 재료는 화재 시 직접 노출되어 제일 먼저 착화 및 연소 확대되는 주요 매체이기 때문에 이들 마감 재료는 착화가 잘되지 않고 착화되더라도 연소 확대가 되지 않도록 방화 재료 등의 화재시험을 평가하여 건물에 적용되도록 하는 것이 중요하다.

실내 내장재 및 바닥재의 화염전파는 재질, 외부 가열원으로 부터 입사되는 열의 유·무등 조건에 따라 다양한 성상이 나타나며, Figure 1에서 재질표면에서 수평 화염전파 모델을 나타내고 있다. 화염으로부터의 열은 이미 연소하고 있는 부분과 화염에 인접된 미연소부분에 전달되고 연소부분의 열분해 가스와 화염부분으로 유입된 공기가 반응하여 연소가 지속된다. 화염전파속도를 지배하는 것은 화재불꽃 부근 주위로의 열전달인데 이것에 의해 발생하는 가연성가스가 공기와 혼합하여 연소범위의 혼합가스농도에 도달하면 착화가 발생하고 화염은 계속 진행된다. 미연소부분을 가열하는 열전달의 주요인은 불꽃 근처의 열복사와 열전도이다.^{1,2)}

바닥재의 화재시험 평가에 의한 사용규제 현황을 보면 건축내장재인 계단실 용도에 한해서 건축법에 의해 내장재의 불연화 목적으로 사용이 규제되고 있고 합성 카펫의 경우 방염대상물로서 소방법에 의해 소형불

꽃착화 시험 등 기초시험만 규제하고 있으며 기타 대부분의 바닥재는 사용이 규제되지 않고 있다.¹⁾ 현재 건축물 내장재의 화재안전성 평가방법으로 KS F 2271 (건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법) 있다. 그러나 이 시험방법은 실제 화재 시 내장재의 안전성을 평가하기에는 불확실한 요소들이 많은 실정이다. 선진국에서는 내장재에 대한 방화관련 시험규격을 화재의 위험도를 가장 정확히 평가할 수 있는 발열성, 발연성 및 화염 전파성 등을 고려한 국제규격인 ISO규격과 유사한 국가 규격을 확보하여 적용하고 있다. 따라서, 우리나라도 바닥재에 대한 화재안전시험방법을 ISO 9239-1, 2 나 EN ISO 9239-1 방화관련 시험방법을 국내실정에 맞게 제정하여 건축 바닥재 제품의 방화품질을 객관적, 합리적으로 평가하고 품질수준을 향상시켜 국제적으로도 인정받을 수 있는 기술기준을 확보해 나아가야 할 것이다.^{1,4)}

본 연구에서는 국제규격으로 정해져 있는 바닥재 시험평가 방법인 ISO 9239-1을 이용하여 각종 바닥재에 대한 연소성 시험을 실시하여 화염전파거리, 임계 열류량 및 연기 발생량을 측정하여 바닥재의 화재안정성을 제시하는데 목적이 있다.

2. 실험

2.1 실험재료

실험용 바닥재로는 국내에서 가장 범용으로 사용되고 있는 대표적인 바닥재료 11종을 선정하였다. 바닥재의 종류는 PVC계 바닥재를 두께별로 5종을 선정하였고 합성수지 카펫계 바닥재 및 목질계 바닥재로 구분하였으며 세부적인 내용은 Table 1에서 나타내었다. 시험편의 크기는 KSISO9239-1에 의거하여 1050±5 mm×230±5 mm의 크기로 측정 하였다. 바닥재의 선정기준은 각사의 대표적인 제품으로서 종류별, 재질별로 배분하고 이들의 성능을 비교하였다. 또한, Figure 2에서는 목질계 바닥재 종류에 따른 내부 구조에 대하여 나타내었다.

2.2 실험장치 및 방법

본 연구에서는 건축용 바닥재의 연소시험 및 임계 열류량을 측정하기 위하여 복사열 판넬 시험기(Toyoseiki Co., PHP-1)를 사용하였다. 임계 열류량 측정은 KSISO 9239-1에 의거하여 측정하였다. Figure 3에서는 복사열 판넬 시험기 및 구조에 대하여 나타내었다.

측정시험은 가열원으로 부터 거리에 따라 규정된 열류량에 노출 되도록 30° 기울어진 복사패널아래 수평

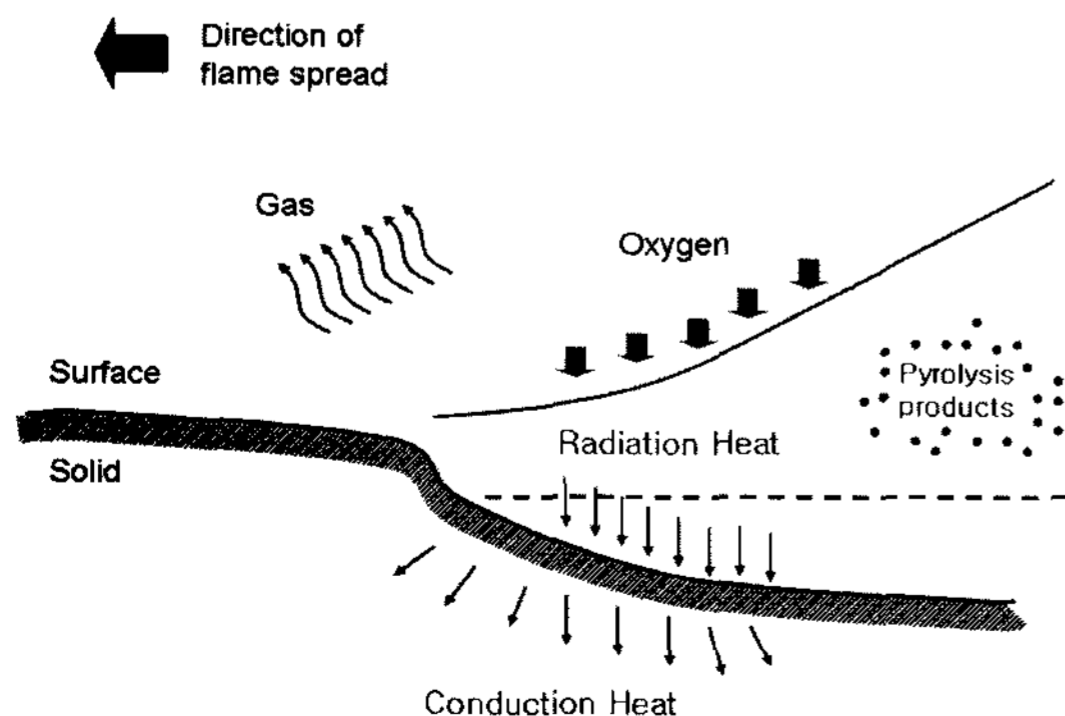


Figure 1. The modeling of horizontal spread of flame.

Table 1. The type of various flooring materials

Sample	Material	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Composition
PVC-A	PVC	3.0	1.51	PVC 40-46% + plasticizer 25-46% + filler 30-32% + blowing agent 2-3% + stabilizer 1.5% + pigment 1%
PVC-B		3.0	1.35	
PVC-C		4.1	1.20	
PVC-D		3.1	1.42	
PVC-E		2.5	1.21	
WD-A	Engineered flooring	6.3	0.55	Layer of fancy veneer: 0.5 mm + Layer of plywood: 5.8 mm
WD-B	Solid-wood flooring	10.2	0.56	Layer of solid-wood surface: 2.0 mm + Layer of plywood: 8.2 mm
WD-C	Laminate flooring	14.2	0.70	Deco paper: 5.0 mm + Layer of high density fiber (HDF): 9.2 mm
Carpet-A	Nylon	6.5	0.31	Nylon
Carpet-B	PP	8.8	0.30	PP
Carpet-C	Wool+Nylon	5.8	0.35	Wool+Nylon

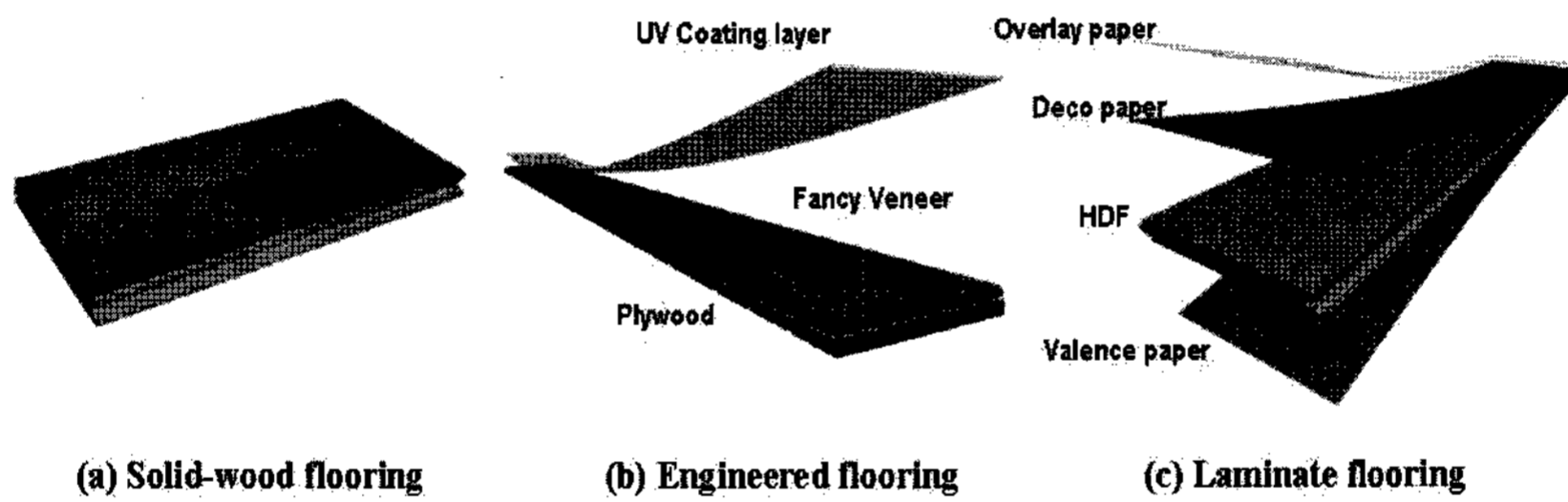


Figure 2. Structure of wood-based flooring materials.

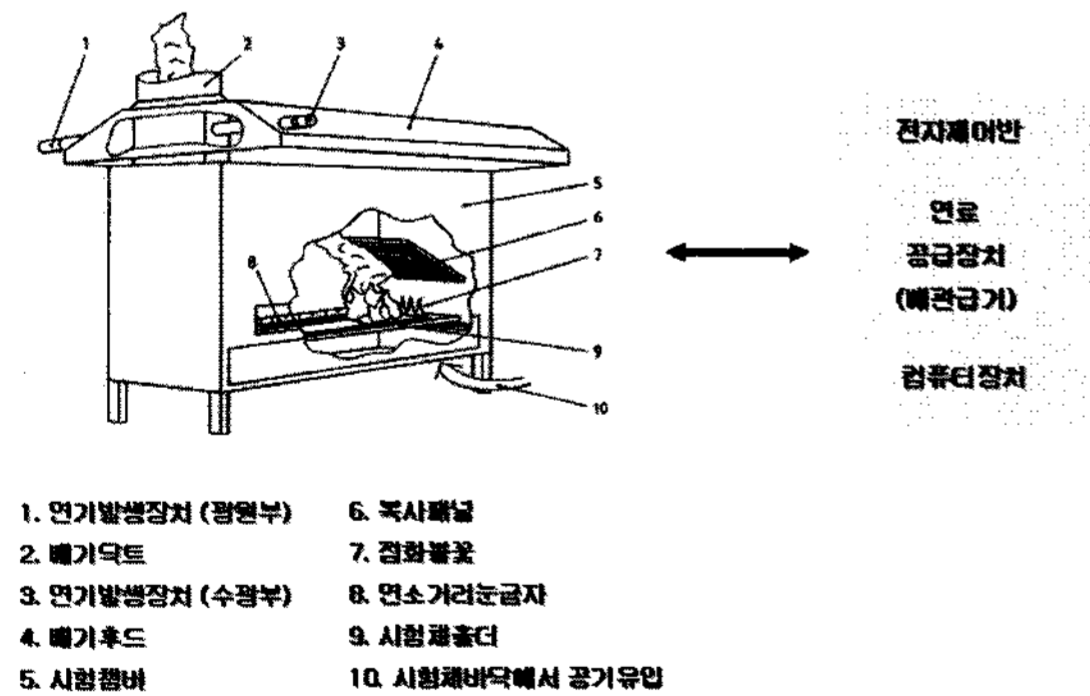


Figure 3. Schematic apparatus of radiant heat panel tester.

으로 설치한다. 파일럿 프로판 가스 불꽃은 시험체의 한쪽에서 적용하여 점화에 의해 나타나는 불꽃착화 시간을 기록하고 불꽃이 시험체의 길이에 따라 수평적으로 이동하는 화염 전파거리를 경과시간으로 나타내어 기록된다. 시험 중 발생하는 연기량은 배기 굴뚝에서 연기에 의해 흡수되는 광량 즉 흡광율을 측정하여 기록한다. 이 시험 결과들은 경과시간별 화염 전파거리 (flame spread distance), 임계 열류량(critical heat flux) 그리고 연기 발생농도를 기록한다. Table 2에서는 바닥재 연소시험의 시험조건 및 측정항목에 대하여 나타내었다.

Table 2. The test method of various flooring materials

Heat flux	Test time	Test method	Test result
15 kW/m ²	30 min	Flame spread distance (mm)	Maximum spread distance of flame
		critical heat flux (kW/m ²)	Heat flux of related with maximum spread distance of flame
		Smoke density (Ds)	The rate of smoke release

3. 결과 및 고찰

3.1 임계 열류량

바닥재 종류에 따른 임계 열류량 측정결과는 Figure 4에 나타내었다. 일반적으로 사용되는 바닥재는 15 kW/m² 이하의 조건에서 임계 열류량 측정이 가능하였다. PVC 바닥재의 경우 PVC-A, PVC-B 및 PVC-C는 중보행용 시트이고, PVC-D는 중보행용 타일로 대체적으로 4~10 kW/m²의 임계 열류량을 나타냈다. PVC 바닥재 중 PVC-E가 가장 낮은 임계 열류량을 나타내었는데 이는 PVC-E의 표면이 불에 연소되기 쉬운 고분자 물질로 이루어 졌기 때문이라 생각된다. 카페트의 경우는 3종류 재질 중 CA-A(nylon) 경우가 화염전파성이 가장 빨리 진행되어 임계 열류량이 2.2 kW/m²로 화재에 매우 약한 재료로 나타났다. CA-B(PP)의 경우 임계 열류량이 10.7 kW/m² 정도로 상급 정도의 화재안전성을 갖고 있었다. 이는 PP가 nylon에 비하여 높은 열안정성을 나타냈기 때문이며 PP의 주 열분해 온도는 450°C 이상의 높은 온도에서 분해되기 때문이다.⁷⁾ 또한, 나이론-울의 복합바닥재는 일반 나이론 바닥재보다 임계 열류량이 크게 증가하는 것으로 보아 나이론 자체보다는 천연울을 혼방하여 제조하는 바닥재가 화염전파성을 줄일 수 있다는 것을 간접적으로 알 수 있었다. 목질 바닥재의 경우 engineered flooring과 solid-wood flooring는 대략 5.5 kW/m²의 임계 열류량을 나타내었으나 laminate flooring는 9.8 kW/m²로 매우 높은 값을 나타내었다. 이는 laminate flooring 표면에 준불연재 일종인 멜라민 함침 deco paper를 접착하여 화재에 더 안전한 것으로 볼 수 있다. 일반적으로 목질 바닥재를 구성하고 있는 목재는 주 구성성분이 cellulose, hemicellulose 및 lignin으로 구성되어 있어 목재의 구

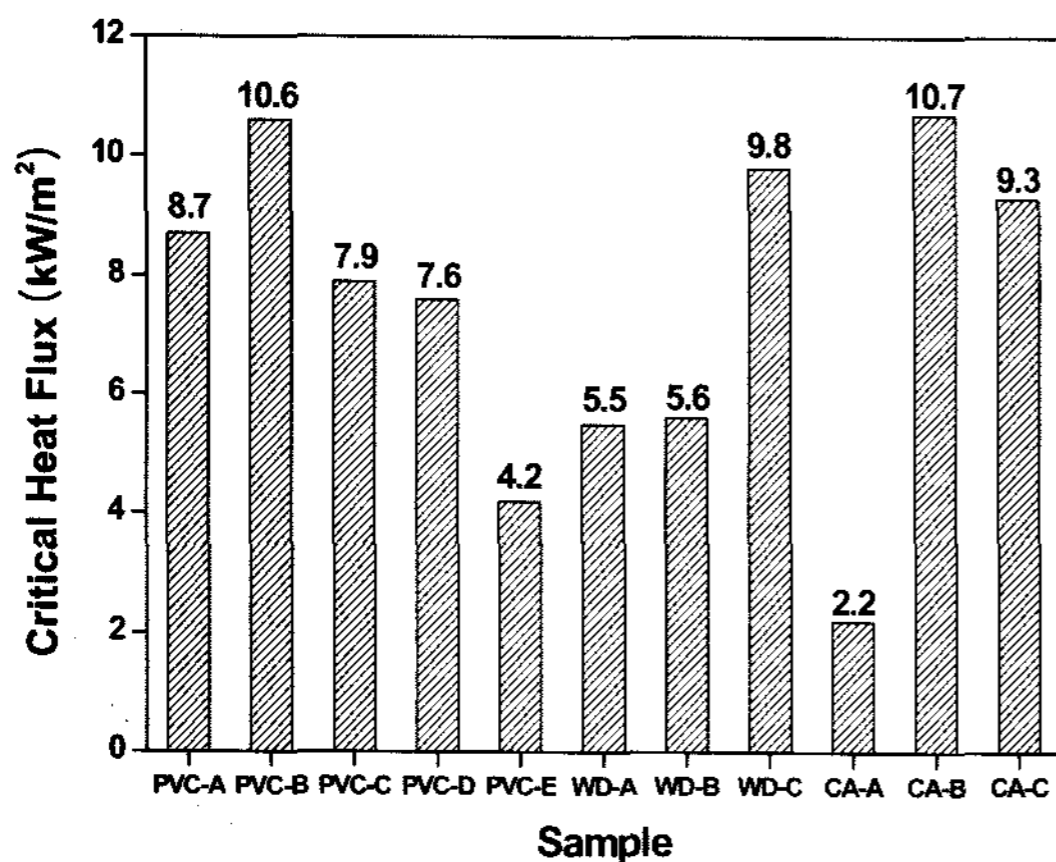


Figure 4. Critical heat flux of various flooring materials.

성성분이 연소에 영향을 미치게 된다. 목재 구성성분의 주 분해온도를 알아보면 hemicellulose는 150~350°C, cellulose는 275~350°C 그리고 lignin은 250~500°C의 온도범위에서 분해가 발생한다.⁷⁾ 이와 같이 목재 구성성분의 열분해 온도는 화재 시 열 방출과 연기발생에 있어 영향을 미치게 되며 목질계 바닥재의 경우 표면층을 구성하고 있는 재질이 중요한 영향을 미치게 된다.⁸⁾

3.2 연기 발생량

일반적으로 화재 발생 시 건축내장재에 사용되고 있는 가연성 물질에 대한 연기 발생량 및 CO 발생량은 화재 위험에 있어 중요한 요인이다. 현재 건축용 내장재에 주로 사용되는 물질은 고분자 재료로서 열에 취약한 성질을 나타냄으로 화재발생시 쉽게 연소되어 연기발생량이 높게 나타나게 된다.^{6,9)} Figure 5~Figure 7에서는 PVC계, 카페트계 그리고 목질계 바닥재에 대한 연기 발생량에 대하여 나타내었다. PVC계 바닥재가 카페트계 및 목질계 바닥재와 비교하여 높은 연기 발생량을 나타내었다. 위의 결과는 Figure 8에서 바닥재 종류에 따른 총 연기 발생량에서도 확인할 수 있다. PVC계 바닥재에서 높은 연기 발생량을 나타내는 것은 두께가 3.0 mm 이상으로써 다른 바닥재와 비교하여 두 겹께 제품이 형성되어 있고 연소 시 PVC 특성상 벤젠, 다이옥신 및 염소와 같은 유독성 가스를 많이 방출하기 때문인 것으로 판단되었다.^{10,11)} PVC 고분자 물질은 가공하기 쉽고 높은 기계적 성질을 나타내어 케이블, 파이프, 창틀 및 바닥재로 많이 사용되고 있지만 연소 시 검은 유독성 가스를 배출하는 단점이 있어 사용이 점차 제한되고 있다. 현재에는 PVC의 연소성 및 연기 발생량을 저감하기 위해 금속 산화물, 무기물, 무기계 난연제 및 나노 클레이를 이용하여 감소시키기

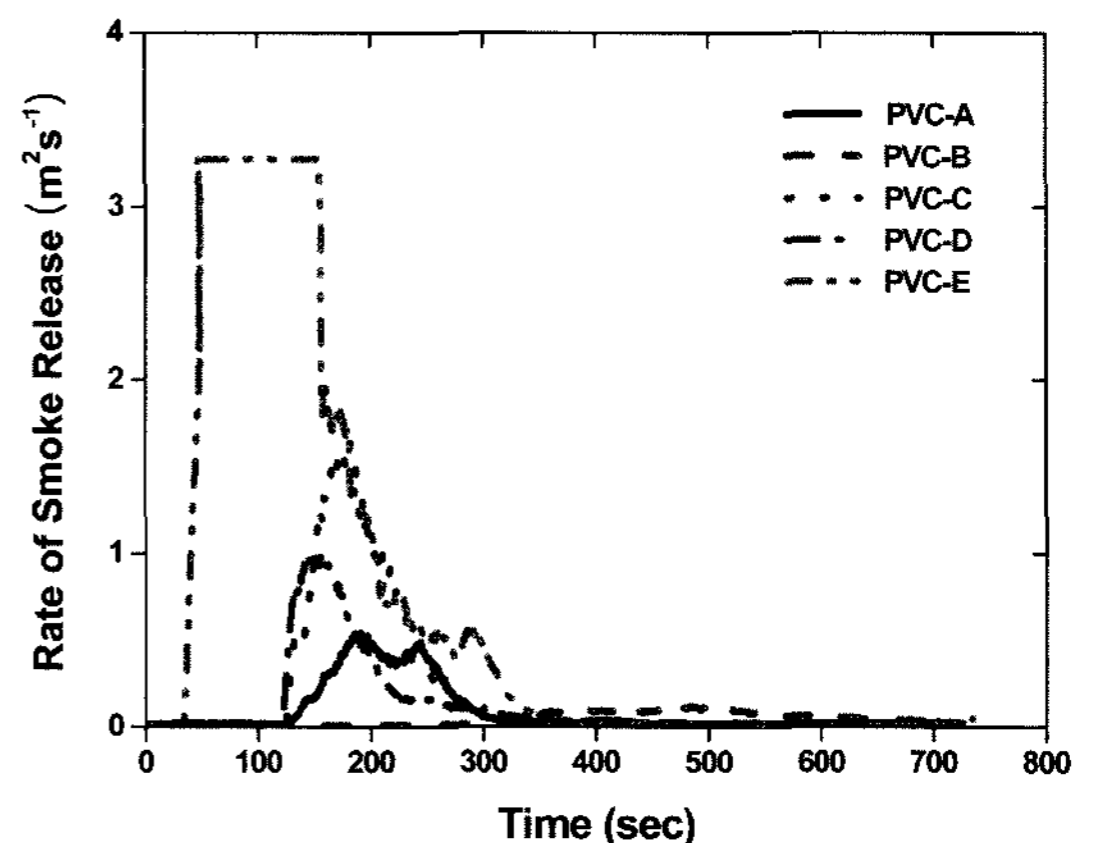


Figure 5. Rate of smoke release of PVC flooring materials.

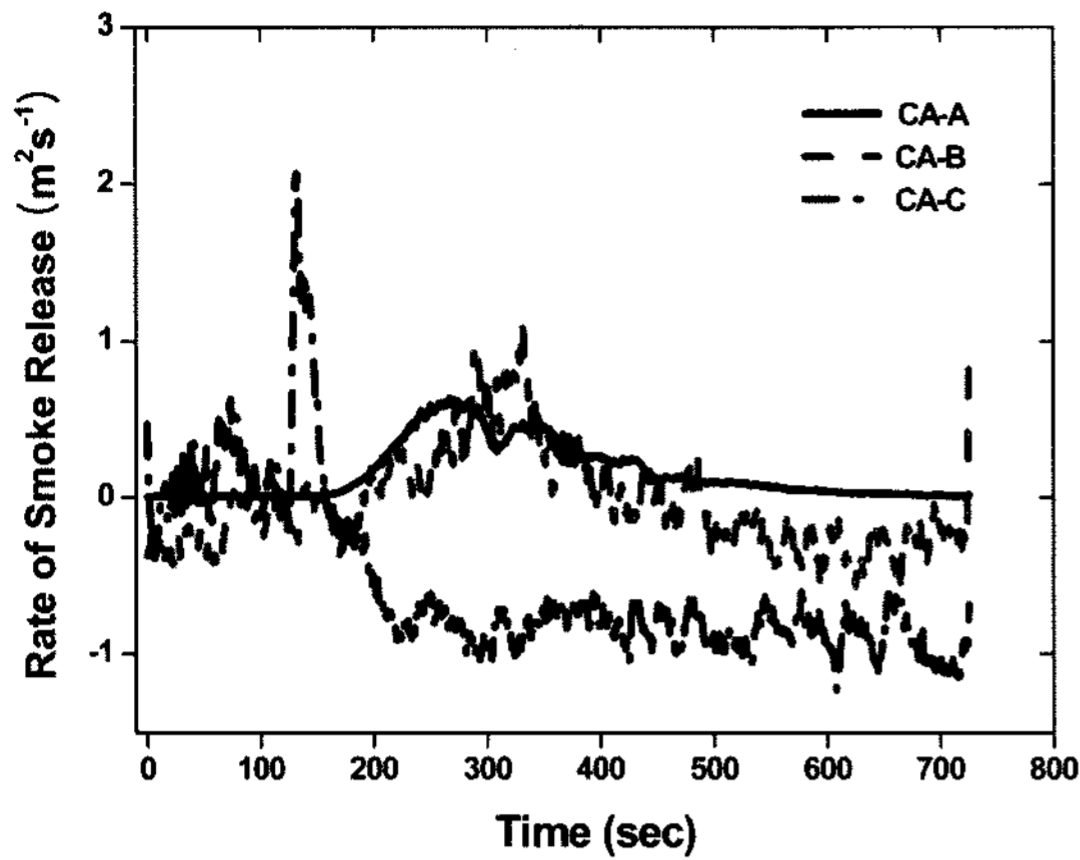


Figure 6. Rate of smoke release of carpet flooring materials.

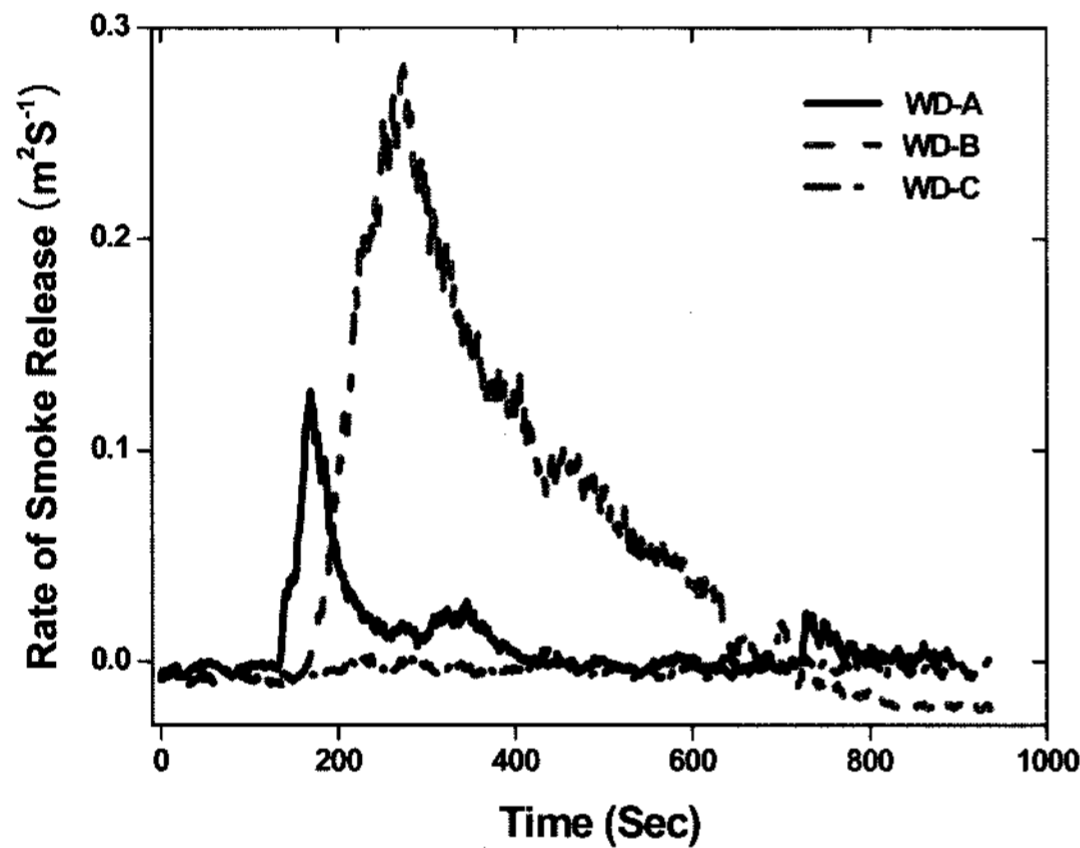


Figure 7. Rate of smoke release of wood-based flooring materials.

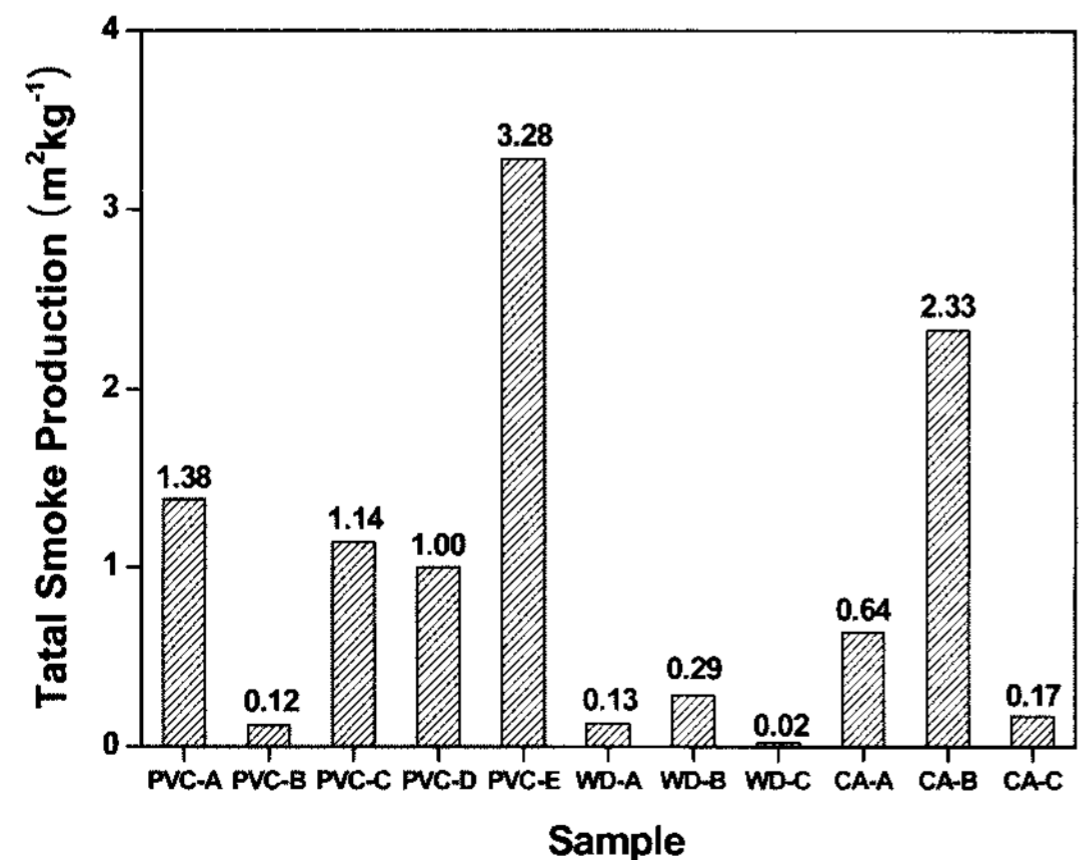


Figure 8. Total smoke production of various flooring materials.

위한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁰⁻¹⁴⁾

Figure 5에서 PVC계 바닥재 종류에 따른 연기발생량을 비교하여 보면 각각의 바닥재 마다 큰 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있다. PVC계 바닥재 중 PVC-B가 가장 낮은 연기 발생량을 나타내었고 PVC-E가 가장 높은 연기 발생량을 나타내었다. 이는 PVC 바닥재를 구성하는 표면재질에 따라 연기 발생율이 다르게 나타나기 때문이라 예상해 볼 수 있었으며, PVC-E의 경우 쿠션재로 사용되기 때문에 연소되기 쉬운 고분자재질로 주로 구성되었기 때문이라 생각된다. Figure 6에서 카펫계 바닥재 종류에 따른 연기 발생량을 보면 초기에 나일론과 울을 혼방하여 제조한 것이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 나일론에 첨가된 울이 초기에 연소되면서 연기 발생량이 높게 나타났다고 예상해 볼 수 있었다. Figure 7에서 목질계 바닥재의 연기 발생량을 보면 solid-wood flooring 바닥재는 다른 목재바닥재에 비하여 연기발생량과 총 연기 발생량이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 solid-wood flooring 바닥재 표면에 불포화 폴리에스테르수지를 처리한 부분이 연소되어 연기발생이 증가한 것으로 추정할 수 있다. 또한, laminate flooring의 경우 연기 발생이 매우 낮았는데 이는 다른 마루 바닥재와 비교하여 표면이 준 불연재인 멜라민 수지로 처리된 deco paper로 두겹게 형성되었기 때문이라 볼 수 있다.

3.3 화염 전파거리

화염 전파거리는 화재발생시 화염 전파 및 연기발생에 있어 중요한 요소이므로 화염 전파거리 측정을 통한 건축용 내장소재 규제방안이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 복사열 판넬 시험기를 이용한 각각의 바닥재

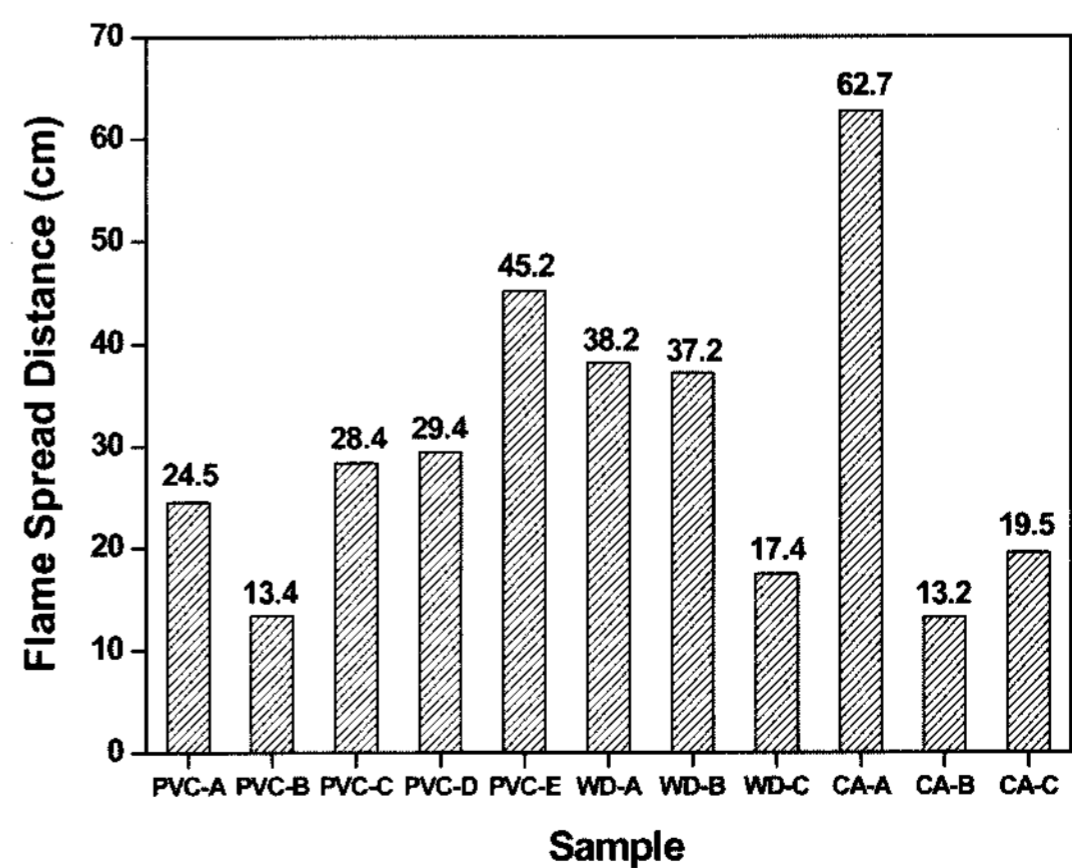


Figure 9. Flame spread distance of various flooring materials.

별로 불꽃에 의한 최대 화염전파거리는 Figure 9에서 볼 수 있다. PVC계 바닥재중 PVC-E가 45.2 cm로 가장 전파성이 크게 나타났으며, PVC-B가 13.4 cm로 가장 낮은 전파성을 보여 화재발생시 안전한 바닥재임을 알 수 있었다. 또한, 위의 결과는 Figure 10(a)와 10(b)에서 보인 화염전파거리 사진에서 확인 할 수 있었다. PVC-E의 화염전파거리가 PVC-B보다 더 크게 나타난

것은 PVC-E의 재질이 주로 불에 연소되기 쉬운 고분자 물질로 이루어져 있기 때문이다. PVC-E의 경우 PVC-B보다 화염 전파거리가 크게 증가하여 임계 열류량이 매우 낮았으며 연기발생량은 매우 높게 나타났다. 위의 결과로부터 화염 전파거리는 임계 열류량과 연기 발생량에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 카페트계 바닥재의 경우 나일론 재질의 카페트가 가장 전

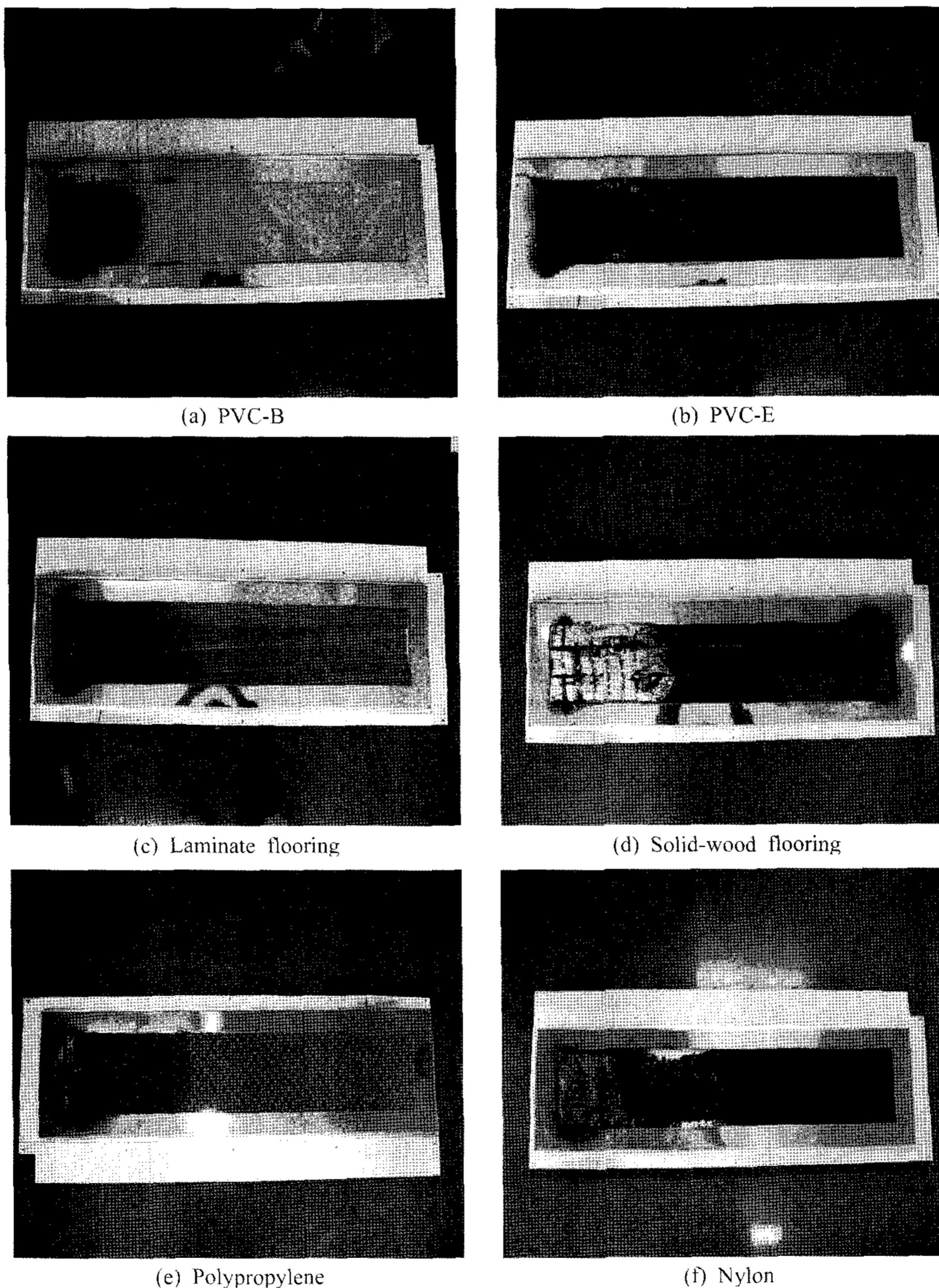


Figure 10. Flame spread distance photography of various flooring materials.

파성이 큰 62.7 cm로 나타났으며 PP(CA-B) 재질로 된 카펫이 13.2 cm로 전파성이 느린 것을 알 수 있었다. Figure 10(f)에서 보면 나일론 재질로 이루어진 카펫의 경우 불꽃에 의해 심하게 연소된 것을 볼 수 있다. 위의 결과로부터 나일론 재질로 이루어진 카펫의 경우 화재에 매우 취약하다는 것을 알 수 있었으며 바닥재 적용 시 난연제를 이용한 난연 처리가 필요하다고 생각된다. 목재의 경우 engineered flooring과 solid-wood flooring이 거의 유사한 37.5 cm 정도로 나타났으며 laminate flooring는 17.4 cm로 낮은 전파성을 나타냈다. 이는 laminate flooring 표면에 열적으로 안정한 멜라민 함침시트를 부착하였기 때문이다. 위의 결과를 종합해 보면 건축용 내장재로 사용되는 바닥재의 경우 화재 시 연소하기 쉬운 고분자 물질로 이루어져 있어 연소가 원활히 진행되지 못하도록 난연 처리가 이루어져 화재로부터 인명과 재산피해를 줄이는 것이 무엇보다 중요하다고 생각된다.^{9,10,13,14} 또한, 건축용 바닥재 화재시험방법인 ISO 9239-1는 화재위험성을 연구하는데 중요한 인자인 임계 열류량, 연기 발생량 및 화염 전파거리를 평가하는데 있어 중요한 시험방법임을 알 수 있었고 화재의 중요한 위험품목인 바닥재에 대한 규정이 빠져 있어 난연 등급 및 평가방법을 유럽, 미국의 화재안전기준에 준하여 국내 설정에 맞게 적용하는 것이 적합할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

건축물의 화재예방을 위해서 실내에 설치되는 건축용 바닥재 11여종에 대하여 화재안전성에 대하여 국제적인 바닥재 시험방법인 ISO 9239-1평가방법으로 시험을 실시하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. PVC계 바닥재는 PVC-B > PVC-A > PVC-C > PVC-D > PVC-E 순으로, 카펫계 바닥재는 CA-B(PP) > CA-C(wool+nylon) > CA-A(nylon) 순으로 임계 열류량이 크게 나타났으며, 목질계 바닥재는 WD-C(laminate flooring) > WD-B(solid-wood flooring) > WD-A(engineered flooring) 순서대로 열적으로 화재에 안정하다고 할 수 있었다.

2. 연기발생량은 PVC계 바닥재의 경우 PVC-E가 가장 많이 발생하였으며, 가장 적은 바닥재는 PVC-B제품임을 알 수 있었다. 목질계 바닥재의 경우 WD-B(solid-wood flooring) > WD-A(engineered flooring) > WD-C(laminate flooring) 순으로 나타났다. 카펫계 바닥재의 경우 CA-B(PP) > CA-A(nylon) > CA-C(wool+nylon) 으로 많이 발생하였다.

3. 화염 전파거리는 임계 열류량과 거의 비례하여 PVC-E > PVC-D > PVC-C > PV-A > PV-B 순으로 크게 나타났고 목재의 경우 WD-A(engineered flooring) > WD-B(solid-wood flooring) > WD-C(laminate flooring) 및 카펫계 바닥재의 경우 CA-A(nylon) > CA-C(wool+nylon) > CA-B(PP) 순으로 크게 나타났다.

4. 현재 국내에서 건축용 바닥재는 법적으로 특정 대상위치에만 난연성을 규정하고 있으나 화재의 중요한 위험품목인 일반적인 바닥재는 규정대상이 빠져 있어 난연 등급 및 평가방법을 유럽 및 미국의 화재안전기준에 준하여 국내 설정에 맞게 적용하는 것이 적합할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. “2006년도 화재발생 현황분석”, 소방방재청(2006).
2. 김충환, 김종훈, 김운형, 하동명, 이수경, “석고보드의 실내화재 성능평가”, 한국안전학회 추계학술대회 논문집, pp.190-195(2000).
3. 장성기, 김미현, 서수연, 이우석, 임준호, 임정현, “건축용 바닥재로부터의 VOCs와 Aldehydes 방출 특성”, 한국분석과학회, Vol.19, No.6, pp.544-552(2006).
4. 최수경, 서치호, 이경구, 최수, “고분자 바닥재의 시험방법 및 성능기준에 관한 KS 규격 연구”, 대한건축학회 보고서(2004).
5. H. Demir, D. Balkose and S. Ulku, “Influence of Surface Modification of Fillers and Polymer on Flammability and Tensile behavior of Polypropylene Composites”, Polymer Degradation Stability, Vol.91, pp.1079-1085(2006).
6. A.P. Mouritz, Z. Mathys and A.G. Gibson, “Heat Release of Polymer Composites in Fire”, Composites Part A: Applied Science Manufacturing, Vol.37, pp.1040-1054(2006).
7. H.-S. Kim, H.-S. Yang, H.-J. Kim and H.-J. Park, “Thermogravimetric Analysis of Rice Husk Flour Filled Thermoplastic Polymer Composites”, Journal of Thermal Analysis Calorimetry, Vol.76, pp.395-404(2004).
8. M.T. Gratkowski, N.A. Dembsey and C.L. Beyler, “Radiant Smoldering Ignition of Plywood”, Fire Safety Journal, Vol.41, pp.427-443(2006).
9. S. Duquesne, M.L. Bras, C. Jama, E.D. Weil and L. Gengembre, “X-ray Photoelectron Spectroscopy Investigation of Fire Retarded Polymeric Materials: Application to the study of an Intumescent System”, Polymer Degradation Stability, Vol.77, pp.203-211(2002).
10. H. William, J. Starnes, D.P. Robert, R.C. Jenine,

- S.D. Alexander, J.K. Edward, T.L. Jeffrey, J.M. Philip, A.Q. Ronald and Z. Jing, "Cone Calorimetric study of Copper Promoted Smoke Suppression and Fire Retardance of Poly(vinyl Chloride)", *Polymer Degradation Stability*, Vol.82, pp.15-24(2003).
11. L. Yimin and B.Y.J Qin, "Preliminary Buring Tests on PVC Fibres with Water Mist", *Polymer Testing*, Vol.24, pp.583-587(2005).
 12. B. Li, "Influence of Polymer Additives on Thermal Decomposition and Smoke Emission fo Poly(vinyl Chloride)", *Polymer Degradation Stability*, Vol.82, pp.467-476(2003).
 13. 황택성, 이범재, 양윤규, 최재훈, 김현중, "난연성 고분자 재료의 기술개발 동향", *공업화학 전망*, Vol.8, No.6, pp.36-53(2005).
 14. 정영진, "인계 화합물의 첨가에 의한 폴리우레탄의 난연성", *한국화재소방학회 논문지*, Vol.20, No.4, pp.110-115(2006).