

# 건축용 바닥재의 외부복사열에 의한 화재위험성 비교 연구

박영주 · 김영탁\*

강원대학교 소방방재학부 · \*강원대학교 방재전문대학원  
(2017. 2. 20. 접수 / 2017. 5. 22. 수정 / 2017. 9. 26. 채택)

## A Study on the Fire Risk Comparison of Building Flooring Materials by External Heat Flux

Youngju Park · Youngtak Kim\*\*

Department of Fire & Emergency Management, Kangwon National University

\*Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

(Received February 20, 2017 / Revised May 22, 2017 / Accepted September 26, 2017)

**Abstract** : In this study, we have performed the Cone Calorimeter test in accordance with ISO 5660-1 to check the combustion characteristics of building flooring materials. The fire risk of these materials were evaluated by construction code, KFI criteria and standards of flame retardant performance. When samples exposed to external heat flux, all samples consumed a lot of Oxygen for a long time. So heat release from sample burning continued so long. And also all samples produced so much smoke. Even though a few samples were satisfied with only peak heat release rate criteria, all 8 samples were not satisfied with criteria of peak heat release rate and total heat released together. The results of 5 min total heat released were  $15.9 \text{ MJ/m}^2 \sim 53.9 \text{ MJ/m}^2$ . It means the results are more than 2~6 times higher than the criteria. The results of 10 min total heat released were  $30.1 \text{ MJ/m}^2 \sim 100.8 \text{ MJ/m}^2$ . It means the results are more than 3~12 times higher than the criteria. 6 of 8 samples were not satisfied with Dm.corr.(corrected maximum smoke density) criteria. The building flooring materials which we used for this test ignited very fast and the burning continued so long. It means these samples are susceptible to fire.

**Key Words** : peak heat release, total heat released, smoke density, smoke production, cone calorimeter

### 1. 서론

화재에서 많은 인명피해를 일으키는 가장 큰 원인은 가연물 연소 시 발생하는 유독성 gas와 연기에 따른 질식에 의한 것이다. 또한 화재발생에 따른 연기의 발생량이 크면 빛의 투과가 저하되어 피난활동 및 소화 활동에 커다란 장애를 초래한다<sup>1)</sup>.

또한 열방출특성은 화재의 성장과 전파에 직접적인 영향을 미치기 때문에 화재위험성 평가에 매우 중요한 요소로 인식되고 있다<sup>2)</sup>.

특히 건축물에 대해 크고 작은 화재들이 지속적으로 발생하고 있어서 이에 따른 건축자재에 대한 화재안전성 평가를 위한 연구들이 지속적으로 행해지고 있는 실정이다<sup>3-4)</sup>. 또한, 건물내부에 설치되는 다양한 생활용품에 대한 연구도 수행되고 있다<sup>5-6)</sup>.

건축물의 화재위험성 평가는 “건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준”<sup>7)</sup>과 “실내장식물의 불연·준불연 재료의 KFI인정기준”<sup>8)</sup> 그리고 “방염성능기준”<sup>9)</sup> 등에 의해 평가되고 있다. 건축물의 내부마감재료는 건축법 제52조에 따라 건축물의 벽, 반자, 지붕(반자가 없는 경우에 한정한다)로 한정하고 있으며, 실내장식물 다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법 시행령에서 “건축물 내부의 천장이나 벽에 붙이는(설치하는) 것 (중략) 건축법 제52조에 따른 내부마감재료는 제외한다.”라고 되어있다. 방염성능기준의 방염대상 물품은 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령에 건축물 내부의 천장이나 벽에 부착하거나 설치하는 것으로 명시하고 있다. 이 세 가지 법률 모두 건축물 내부 천장이나 벽에 설치 또는 붙이는 것으로 한정하고 있으며, 바닥재에 대한 별도의 화

\* Corresponding Author : Youngtak Kim, Tel : +82-33-640-8025, E-mail : fireexpert@naver.com

Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Jungang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do 25913, Korea

재안전기준을 제시하고 있지는 않다.

외국의 경우에는 천정, 벽 등에 부착하는 내장재 뿐만 아니라 건축용 바닥재에 대해서도 화재안전기준을 적용하고 있다<sup>10)</sup>.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 사용되는 건축용 바닥재의 열방출특성 및 연기발생특성 등 연소특성 분석을 통해 관련기준들과 비교, 화재위험성을 파악하여 화재안전성평가의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

본 연구에 사용한 실험재료는 시중에 유통·판매되는 건축용 바닥재를 구성하는 제품을 사용하였다. 해당 제품들은 주로 목재와 플라스틱(PVC) 성분으로 구성되어있다. Table 1에 실험재료에 대한 사양을 제시하였고, Fig. 1에 실험재료의 사진을 표시하였다.

Table 1. Specification of test samples

Test Samples(Flooring Materials)			Mass (g)	Thickness (mm)
Symbols	Name	Major components		
A	Deck 1(brown)	wood	152	24
B	Deck 2(brown)	wood	77	10
C	Film Flooring	PVC	15	5
D	Glossy Wood(white)	wood	52	10
E	Wood(white)	wood	66	8
F	Mat	PVC	46	20
G	Wood(brown)	wood	63	8
H	Linoleum(gray)	PVC	50	3



Fig. 1. Test samples.

### 2.2 실험방법

건축용 바닥재의 열방출특성 및 연기발생특성 등 연소특성을 분석하기 위해 ISO 5660-1(2015) 규격을 만족

Table 2. Test conditions of ISO 5660-1

Conditions	Specification
Heat flux, kW/m <sup>2</sup>	50
Exhaust flow rate, m <sup>3</sup> /s	0.024
Specimen surface area, cm <sup>2</sup>	88.4
Scan interval, s	2
Test orientation	Horizontal
Specimen size, mm	100 x 100

하는 영국 Fire Testing Technology(FTT)사의 듀얼콘칼로리미터(Dual Cone Calorimeter)를 사용하였다. Table 2에 콘칼로리미터 시험조건을 명시하였다.

열방출률은 화재가 발생했을 경우, 화재의 성장과 전파에 직접적인 영향을 미치기 때문에 화재안전에 매우 중요한 요소로 인식되고 있다.

ISO 5660-1 콘칼로리미터법의 열방출률(Heat Release Rate, HRR)은 산소소모법으로 측정한다. 샘플이 외부 복사열에 노출되었을 때 시간에 따른 산소소모를 측정하여 실시간으로 열방출률을 계산한다. 열방출률은 산소 1 kg이 소모되면 약 13.1 MJ의 열이 발생하는 기본 원리를 이용하여 식(1)과 같이 계산되어 진다<sup>10)</sup>.

총열방출량(Total Heat Released, THR)은 시험시작시부터 일정시간 또는 종료시까지의 열방출률의 합산으로 계산되며 MJ/m<sup>2</sup>로 표현된다.

$$\dot{q}(t) = \left(\frac{\Delta h_c}{r_o}\right)(1.10)C\sqrt{\frac{\Delta p}{T_e}} \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5X_{O_2}} \quad (1)$$

- $\dot{q}$  : 열방출률(kW)
- $\Delta h_c$  : 순연소열(kJ · g<sup>-1</sup>)
- $r_o$  : 양론적 산소/연료 질량비
- $C$  : 오리피스 유량계 교정상수(m<sup>1/2</sup> · g<sup>1/2</sup> · K<sup>1/2</sup>)
- $\Delta p$  : 오리피스미터 압력차(Pa)
- $T_e$  : 오리피스미터 내에서 가스 절대온도(K)
- $X_{O_2}^0$  : 산소 분석기 눈금의 초기값
- $X_{O_2}$  : 산소 분석기 눈금값

연기발생률 또한 화재발생 시 대피 및 구조활동의 시야확보 측면에서 중요한 요소로 인식되고 있다.

ISO 5660-1 콘칼로리미터를 이용한 연기발생률 측정은 열방출률 측정과 동시에 실시간으로 이루어지며, 빛(레이저)의 투과율법을 이용하여 시간에 따른 연기의 발생량을 시험편의 노출면적으로 나눈 값으로 시험편의 노출에 따른 단위면적당 총연기발생량은 식(2)와 같이 계산되어 진다<sup>11)</sup>.

$$S_A = A^{-1} \sum_{i=s}^{i=f} \dot{V}_s k \Delta t \quad (2)$$

- $S_A$  : 단위 면적당 총연기 발생량( $m^2 \cdot m^2$ )
- $A$  : 시료의 노출면적( $0.00884 m^2$ )
- $\dot{V}_s$  : 연기의 체적 유량률( $m^3 \cdot s^{-1}$ )
- $k$  : 감쇠계수( $m^{-1}$ )

방염성능기준에서 설정하고 있는 연기밀도 측정은 ASTM E662 또는 KS M ISO 5659-2 시험방법을 통해 측정하도록 하고 있다. 이는 ISO 5660-1의 연기발생률과의 상관관계에 대한 기존 연구결과를 바탕으로 계산하였다. ISO 5660-1의 총연기발생량과 ASTM E662 또는 KS M ISO5659-2 사이에는 식(3)과 같은 상관관계가 있음이 밝혀져 있다<sup>12)</sup>. 해당 추세선의 결정계수  $R^2$ 의 값이 0.863을 보이고 있어 ISO5660-1에 의한 총연기 발생량으로 ATM E662의 최대연기밀도 보정값을 예측할 수 있다.  $R^2$ 의 값이 1에 가까울수록 좀 더 두 결과 값이 좀 더 상관관계가 높다는 것을 의미한다.

$$y = 0.247x + 267.1, R^2 = 0.863 \quad (3)$$

- $y$  : 최대연기밀도 보정값
- $x$  : 총연기발생량
- $R^2$  : 식(추세선)의 결정계수

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 건축용 바닥재의 열방출특성 및 연기 발생특성을 분석하기 위해 ISO 5660-1 콘칼로리미터 시험을 수행하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. Table 3과 Table 4에 열방출률 특성 및 연기발생 특성 시험결과를 각각 표시하였다.

Table 3. Test results(1) of ISO 5660-1 Cone calorimeter test

Test Samples	PHRR (kW/m <sup>2</sup> )	THR(5 min) (MJ/m <sup>2</sup> )	THR(10 min) (MJ/m <sup>2</sup> )
A Deck 1(brown)	229.4	42.7	74.2
B Deck 2(brown)	279.3	50.1	100.8
C Film Flooring	325.0	33.5	33.5
D Glossy Wood(white)	172.7	15.9	32.6
E Wood(white)	259.0	30.8	70.9
F Mat	281.4	53.9	70.0
G Wood(brown)	279.0	34.1	71.9
H Linoleum(gray)	183.0	26.7	30.1

### 3.1 열방출률(Heat Release Rate, HRR)

실내장식물의 불연·준불연 재료의 KFI인정기준 및 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준에서 열방출률에 대한 기준을 최대열방출률이 10초이상 연속으로 200 kW/m<sup>2</sup>을 초과하지 않도록 하고 있다.

Table 3 및 Fig. 2에서 알 수 있듯이 총 8개의 샘플 중에서 6개(Deck1(brown), Deck2(brown), Film Flooring, Wood(white), Mat, Wood(brown))의 샘플이 최대열방출률이 10초 이상 연속으로 200 kW/m<sup>2</sup>을 초과하는 것으로 나타났다. 이는 해당 샘플이 연소함에 있어 많은 양의 산소를 소모하고 또한 그 시간이 길어 연소가 지속됨을 의미한다. Fig. 2에 전체 샘플에 대한 최대열방출률 결과를 표시하였다.

또한, Fig. 3에서는 샘플이 외부복사열에 노출되는 순간부터 마지막 소화되는 시점까지를 보여주고 있다. 모든 샘플이 외부복사열에 노출 시 초기에 급격하게 연소가 진행되는 현상을 확인할 수 있는데 이는 초기 화재발생에 취약함을 의미한다.

### 3.2 총방출열량(Total Heat Released, THR)

건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준의 난연재료(시험 후 5분간 총방출열량)기준은 8 MJ/m<sup>2</sup>

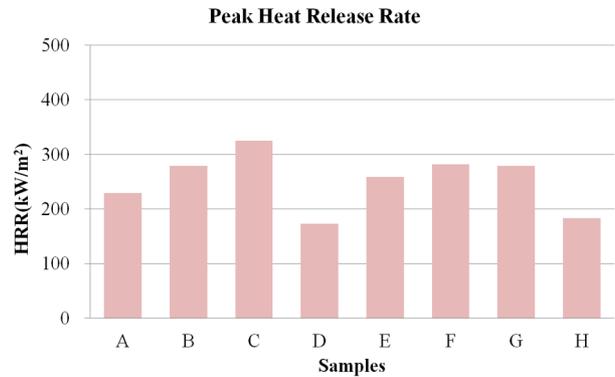


Fig. 2. Peak heat release rate.

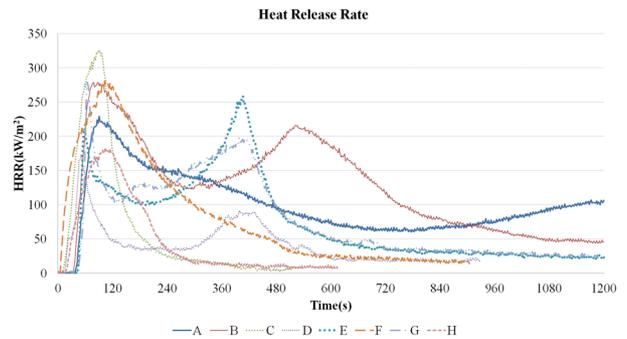


Fig. 3. Heat release rate.

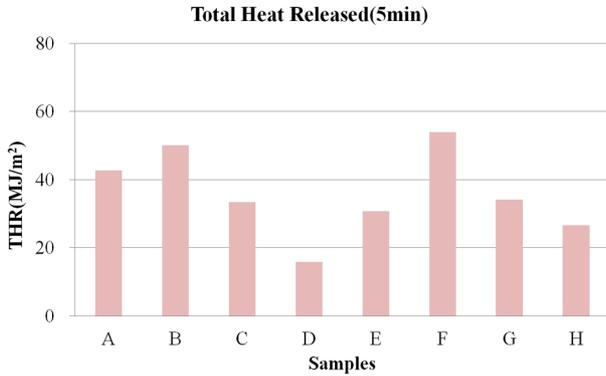


Fig. 4. Total heat released(5 min).

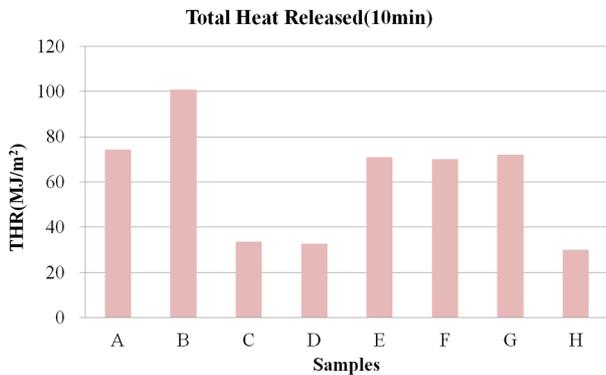


Fig. 5. Total heat released(10 min).

이다. 시험을 실시한 8가지 모든 샘플의 5분간 총방출열량은 기준보다 2~6배 정도 높은 15.9 MJ/m<sup>2</sup> ~ 53.9 MJ/m<sup>2</sup> 결과를 보였다.

최대열방출률 기준을 만족한 일부 샘플(Glossy wood (white), Linoleum(gray))의 경우에도 총방출열량 기준은 만족하지 못하는 것은 나타났다. 총방출열량이 높다는 것은 화재발생시 연소가 지속적으로 진행됨을 의미한다. 시험을 실시한 모든 샘플이 화재발생시 연소가 지속되어 꾸준히 열을 방출한다는 사실을 확인할 수 있다. Fig. 4와 Fig. 5에 각 샘플에 대한 총방출열량 결과를 표시하였다.

건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지 구조 기준의 준불연재료(시험 후 10분간 총방출열량) 기준과 실내장식물의 불연·준불연 재료의 KFI 인정기준의 준불연재료 기준(시험 후 10분간 총방출열량)과 시험결과를 비교해보면 Table 3 및 Fig. 5에서 확인할 수 있는 것과 같이 총 8개의 모든 샘플이 기준인 8 MJ/m<sup>2</sup> 을 초과하는 것으로 나타났다. 최소 3배에서 12배 이상인 30.1 MJ/m<sup>2</sup> ~ 100.8 MJ/m<sup>2</sup>의 결과값을 보였는데, 이는 화재발생시 해당 샘플이 자기소화성을 갖지 못하고 최대 산소소모가 발생한 이후에도 산소소모가 지속적으로 발생되어 연소가 지속적으로 진행됨을 의미한다.

이는 만약, 화재발생 공간에 산소공급만 지속적으로 이루어진다면 연소가 중단되지 않고 지속적으로 진행되어 추가 가연물에 또 다른 화재를 발생시켜 화재가 확대됨을 의미한다.

### 3.3 총연기발생량(Total Smoke Released, TSR)

방염성능기준에서 최대연기밀도 보정값의 기준을 400으로 정하고 있다. Table 4에서 확인할 수 있는 것과 같이 ISO 5660-1의 총연기발생량과 ASTM E662 또는 KS M ISO5659-2의 연기밀도값에 대한 상관관계를 이용하여 최대연기밀도 보정값을 측정 계산해 본 결과 총 8개의 샘플 중 3개의 샘플(Glossy wood(white), Wood (white), Wood(brown))은 기준값인 400을 넘지 않는 것으로 나타났으나, 5개의 샘플(Deck1(brown), Deck2(brown), Film flooring, Mat, Linoleum(gray))의 경우는 기준값을 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. Fig. 6에 총연기발생량(TSR)을 이용한 예측 최대연기밀도 보정값(Dm.corr)을 표시하였다.

연기밀도가 400이상인 경우는 연기발생량이 많아 빛 투과율이 0.1%가 되지 않은 상태를 의미한다. 연기발생량이 많다는 것은 화재발생 시 인명 피해를 최소화할 수 있는 대피 및 구조활동에 필수적인 시야확보

Table 4. Test results(2) of ISO 5660-1 Cone calorimeter test

Test Samples		TSR (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Dm.corr expected by TSR
A	Deck 1(brown)	1505.2	638.9
B	Deck 2(brown)	923.5	495.2
C	Film Flooring	971.4	507.2
D	Glossy Wood(white)	337.7	350.5
E	Wood(white)	125.4	298.1
F	Mat	2660.6	924.3
G	Wood(brown)	102.1	292.3
H	Linoleum(gray)	1301.2	588.5

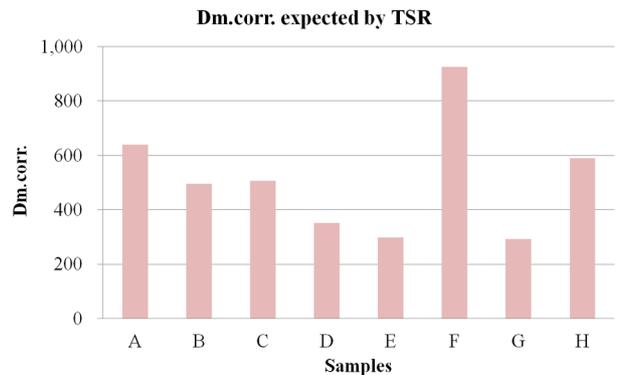


Fig. 6. Dm.corr. expected by TSR.

에 어려움이 크다는 것을 의미하며, 이는 결론적으로 인명피해가 커질 수 있음을 의미한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 화재안전기준적용을 받지 않는 건축용 바닥재에 대한 외부복사열에 의한 열방출특성과 연기발생특성을 관련 기준과 비교해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 실험에 사용된 모든 샘플들이 외부 복사열에 노출시 초기에 연소가 급격하게 진행되어, 화재발생에 취약함을 확인할 수 있다.

2) 건축용 바닥재에 대한 시험결과를 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준의 난연재료에 대한 기준인 최대열방출률과 총방출열량과 동시 비교 결과 8개의 모든 샘플이 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 일부제품의 경우 최대열방출률 기준은 만족하였으나 총방출열량 기준을 만족하지 못해 전체 기준을 만족하지 못하였다.

3) 건축물 마감재료의 난연성능 및 화재확산 방지구조 기준의 준불연재료 기준 및 실내장식물의 불연·준불연 재료의 KFI 인정기준의 준불연재료 기준과 비교 결과 8개 모든 샘플에서 총방출열량이 기준보다 무려 3~12배 높게 나타나 기준을 만족하지 못하는 결과를 보였다.

4) 건축용 바닥재의 연기발생에 대한 결과를 방염성능기준과 비교결과 총 8개의 샘플 중 3개는 기준을 만족하였으나, 5개의 샘플은 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

**감사의 글:** “이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1D1A1B02008374)”

#### References

1) B. W. Shin, Y. H. Song, D. H. Rie and K. S. Chung, “A Study on the Analysis of Smoke Density Characteristics for Wood-Plastic Composites”, Journal of Korean Institute of Fire Sci. & Eng. Vol.25, No.3, pp.119-124, 2011.

2) K. W. Lee, K. E. Km and D. Y. Lee, “Combustion Characteristics of Fiber Reinforced Plastic by Cone Calorimeter”, Journal of Korean Institute of Fire Sci. & Eng., Vol.18, No.2, pp.68-72, 2004.

3) Y. J. Park, W. J. Kim, H. P. Lee, J. Y. Yu and Y. S. Yang, “A Study on the Characteristics of Smoke Release for Architectural Surface Materials and Architectural Adhesives”, J. Korean Soc. Saf., Vol.29, No.1, pp.21~24, 2014.

4) W. J. Kim, Y. J. Park, H. P. Lee, S. H. Lim and J. I. Kim, “A Study on the Toxicity Analysis of Combustion Gases of Architectural Surface Materials and Architectural Adhesives”, J. Korean Soc. Saf., Vol.28, No.4, pp.48-52, 2013.

5) J. Y. Park, C. S. Baek, H. P. Lee and Y. P. Hong, “A Study on the Heat Release Characteristics of Household Items using LSC(Large Scale Calorimeter)”, J. Korean Soc. Saf., Vol.30, No.3, pp.38-44, 2015.

6) Y. J. Park, “A Study on the Flame Growth Characteristics of Household Items(Refrigerator · Washing machine · Drawer · Sofa)”, J. Korean Soc. Saf., Vol.30, No.3, pp.45-51, 2015.

7) Ministry of Land, Infrastructure and Transport Act 2015-744, “Standard for Fire Resistance Performance and Preventing Fire Diffusion of Building Finishing Materials”, 2015.

8) Korea Fire Institute Criteria 205, “Criteria of KFI for Noncombustible and Quasi-noncombustible Materials of Interior Decoration”, 2015.

9) Ministry of Public Safety and Security Act 2016-138, “Standards of Flame Retardant Performance”, 2016.

10) EN13501-1, “Fire Classification of Construction Products and Building Elements - Part1:Classification using Data From Reaction to Fire Tests”, 2010.

11) ISO 5660-1, “Reaction to Fire Tests - Heat Release, Release Rate(cone calorimeter method) and Smoke Production Rate(dynamic measurement)”, 2015.

12) Y. T. Km, “A Study on the Combustion of Car Interior Materials”, Kangwon National University, 2010.