

바닥내장재의 연소특성 분석에 관한 연구

A Study on Analysis of Characteristics Combustion of Floor Covering Materials

박영주* · 이해평** · 김현주***

Park, Young Ju · Lee, Hae Pyeong · Kim, Hyun Ju

Abstract

In this study, we analyzed the combustion characteristics of four different floor covering materials(wood, monorium, laminated paper, and varnish-laminated paper) with regard to their ignitibility, thermal characteristics and flame retardancy by using an ignition temperature tester, a dual cone calorimeter, a thermogravimetric analyzer and limited oxygen index, for their fire risk assessment. According to the result, monorium had the lowest ignition temperature of 325°C and the laminated paper and the varnish-laminated paper promptly ignited before 7s. Further, the wood showed the largest total heat release of 100MJ/m², and the varnish-laminated paper showed the highest peak heat release rate. From the thermogravimetric analysis, it was shown that all specimens underwent rapid weight loss at 300~400°C. The limit oxygen indices of the laminated paper and the varnish-laminated paper were in the range of 20~21%, while it was 34% for wood. This study enabled us to confirm that wood, laminated paper and varnish-laminated paper have a relatively short ignition time and are easy to burn but they all have low heat release. In contrast, wood showed the lowest fire risk among them and had excellent flame retardancy but with high heat release.

Key words : Floor covering materials, Heat release rate, Limit oxygen index, Flame retardancy, Ignition temperature

요 지

본 연구에서는 건축물 내장재 가운데 바닥재의 화재특성을 평가하기 위하여 목재, 모노륨, 장판지, 니스코팅 된 장판지 등 4종의 바닥재를 대상으로 콘칼로리미터, 발화온도시험기, 열중량분석기, 한계산소지수시험기 등을 이용하여 착화성, 발열특성, 난연성과 같은 연소특성을 분석하였다. 모노륨은 발화온도가 325°C로 가장 낮았으며, 장판지와 니스코팅 된 장판지는 비교적 빠른 시간인 7초 이전에 착화가 시작되었다. 총열방출량은 목재가 100MJ/m²로 가장 높게 나타났지만 최대열방출율은 니스코팅 된 장판지가 가장 높은 것으로 나타났다. 열중량분석 결과, 모든 바닥재들이 300~400°C 온도구간에서 급격한 중량감소를 보였으며, 한계산소지수는 장판지와 니스코팅 된 장판지가 20~21% 정도이고 목재는 34%로 나타났다. 본 연구결과를 살펴보면, 모노륨, 장판지, 니스코팅 된 장판지는 착화가 빠르고 연소가 용이한 반면, 발열량은 낮은 것을 알 수 있었으며, 목재는 비교적 착화위험성이 낮고 난연성은 좋지만 발열량이 높은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 바닥재, 열방출율, 한계산소지수, 난연성, 발화온도

1. 서 론

지난 10년간 화재건수는 매년 평균 2.3%씩 증가하다가 '09년도에는 47,318건으로 '08년 대비 2,313건 감소하여 4.7% 감소하였으며, 인명피해는 2,441명으로 '08년 대비 275건으로 10.1%정도 감소하였다. 전체 화재 중 '09년도 화재 장소별 발생순서는 비주거 34.8%(16,482건), 주거 24.9%(4,179건), 차량 12.6%(5,981건), 임야 8.8%(4,179건), 철도·선박·항공기 등이 0.3%(142건), 위험물·가스제조소 등 0.1%(50건)순으로 나타났다(소방방재청, 2010).

이와 같이 화재와 인명피해는 감소하고 있으나 주거화재의 경우, 화재시 연기발생에 따른 유독가스에 의한 질식사자 대부분을 차지하고 있으며, 이러한 질식사는 건축구조 및 용도 등의 다변화에 따라 플라스틱류 등 많은 복잡한 내장재료들의 무분별한 사용이 요인이 되고 있다. 건축물 내장재료들 가운데 목재, 섬유, 종이, 플라스틱 등 고분자재료 들은 기존의 재료들에 비해 뛰어난 장점들이 많으나 대부분 가연성인 경우가 많기 때문에 특히 실내화재가 발생할 경우, 화재를 확대시키는 주된 원인이 된다(박영근, 2001). 이들 재료의 연소 시 위험성을 결정하는데 고려해야 할 요소들로서는 재료

*정희원 · 강원대학교 화학공학연구소 연구교수(E-mail : yjpolymer@kangwon.ac.kr)

**정희원 · 강원대학교 소방방재학부 교수

***강원대학교 학생과 직원(교신전자)

의 착화성, 연소성, 재료가 타면서 발생하는 열, 열발생속도, 연기발생, 연소가스 발생 등이 있다.

국내에서는 KS F 2271(KS F 2271, 1990)에 의하여 불연재료, 준불연재료 및 난연재료 등 상대적인 분류 등급을 정하고 방염성능 평가에 의하여 연소성을 기준으로 적합 및 부적합을 판정하고 있다. 바닥재는 건축법의 내장재 불연화법적 규제대상에서 제외되어(벽과 천정재만 대상)있으며, 단지 카펫 등 바닥재는 소방법에 의한 방염성능(초기불꽃 착화유무)만 요구하고 있어 건축물 화재 시, 바닥재로 인한 연소확대 위험에 취약하여 바닥재에 대한 화재시험 평가방법의 도입이 필요한 실정이다. 통상적으로 화재의 초기단계에서 바닥재가 화재 확산에 미치는 영향은 적은 것으로 알려져 있으나 대형건물 특히, 많은 인원이 출입하는 쇼핑몰, 호텔과 같은 건물의 화재 시 복도, 피난통로 등의 바닥재가 화재확산에 영향을 주는 것으로 유럽, 미국 등 방재 선진국에서 많은 연구결과 사례에서 나타나고 있다.

외국의 경우, 1960년대 초기 영국의 화재조사 보고에 따르면, 화재의 2~3%만이 최초 발화지점에서 확산되어 이루어진 것으로 나타났으나, 최근 상당수의 화재에서 통로, 복도 등의 바닥재가 상당거리에 걸쳐 화재를 확산시키는 매체로서 위험성이 제기되고 있다. 이미 유럽 및 미국에서는 바닥재에 대한 실제적인 화재시험이 필요하다고 인식되어 미국에서 1966년 복사열에 의한 바닥재화재시험방법이 처음 실시되어 현재 유럽(EN, BS, DIN)과 미국(ASTM), 중국(BT)에서 시험규격으로 채택하고 있으며, ISO FDIS 9239-1, 2의 국제규격 최종안이 제시된 상태이다. 또한 주요 선진국에서는 건축물 통로 등에 사용되는 바닥재에 대하여 보다 엄격한 법규요건을 적용하고 있다(건축법, 2005 : 진영화 등, 2002). 지금까지 대부분의 화재위험성에 관한 연구는 마감재의 난연성 분석, 실내내장재 소파커버와 벽지에 대한 착화성, 난연성, 열방출을 측정, 열안정성, 방염성능 평가 및 플라스틱을 중심으로 연구가 수행되어 왔다(이광흠 등, 2003).

본 연구에서는 현재 건축물 내장 재료에 많이 사용되고 있는 실내바닥재 가운데 4종의 바닥재(바닥목재, PVC계열의 모노롬 바닥재, 장판지, 니스코팅 된 장판지)를 선정하였다. 선정된 재료들은 제품의 보안과 관련하여 제조사들로부터 물성값 및 구성성분과 같은 정보를 확보할 수 없었기에 바닥재별 대표성을 가질 수 없다는 한계가 있다. 따라서 이와 같은 문

제점을 조금이나마 줄이고자 가급적 주택 및 아파트 건물 등에서 많이 사용되고 있는 바닥재를 실험 대상으로 선정하였다. 화재위험성을 판단하고자 콘칼로리미터, 열중량분석기, 발화점시험기, 한계산소지수시험기를 이용하여 연소특성 시험을 수행하였다. 연소특성으로 착화성, 발열특성, 난연성의 종합적인 화재위험성을 고찰하였으며, 이러한 종합적인 연소특성 자료는 건축물 실내장식물에 대한 안전성 확보와 신뢰성 있는 안전성 평가 자료의 확보에 기초 자료로 충분히 활용 가능할 것으로 사료된다.

2. 실험

2.1 실험재료

실험재료로 현장 실태조사를 통하여 주택 및 아파트 건물 등에서 많이 사용되고 있는 바닥재를 선정하였다. 주로 사용되고 있는 바닥재로 목재(sample A), PVC계열 모노롬(sample B), 장판지(sample C), 니스코팅 된 장판지(sample D)를 실험재료로 사용하였으며 Table 1에 제시하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 착화성 실험

바닥재의 착화특성 분석을 위하여 일본 Kuramochi사의 모델명 KRS- RG-9000의 Group식 발화온도 시험기(홍윤명 등, 1992)를 이용하여 발화온도(IT, Ignition temperature, 무염착화온도)를 측정하였고, 영국 FTT(Fire Testing Technology)사의 Dual Cone Calorimeter(ISO 5660-1, 2002)를 사용하여 착화시간(ITT, Time to ignition, 발염착화시간)을 측정하였다.

발화온도 측정 시, 발염의 확인은 육안에 의해 판단하고, 발화대기 시간은 4초로서 착화원 없이 물질이 자연발화 할 때의 최저온도로 측정되며, 발화는 연소의 개시와 관련된 거동의 일부로서 속도제어 메커니즘으로 열의 발생속도와 확산속도가 평형을 나타내는 점으로 정의된다. 착화시간 측정은 재료가 복사열에 노출되면서 착화가 일어나는 시간과 착화가 종료될 때의 시간 즉 자연소화 될 때까지의 시간(소염시간)을 말하며 화염의 유무를 육안으로 판단하여 분석시스템에 기록하여 확인하였다. 구체적인 실험조건과 실험장치는 Table 2와 Fig. 1에 제시하였다.

Table 1. Specification of experimental materials

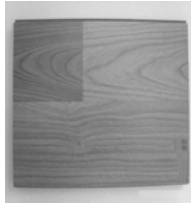

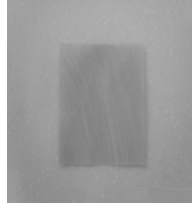
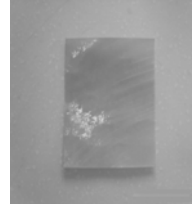
Items	sample A	sample B	sample C	sample D
Companies	L사	H사	L사	L사
	목재	PVC 계열 모노롬	장판지	니스코팅 장판지
Materials				

Table 2. Experimental conditions of ignition temperature tester

Items	Contents
Model	KRS-RG-9000
Method of measurement	Group
Weight(mg)	20
Condition of material	Raw
Waiting time of ignition(s)	4



Fig. 1. The Ignition temperature apparatus.

2.2.2 발열특성 실험

열적특성 분석은 영국 FTT사의 Dual Cone Calorimeter(ISO 5660-1, 2002)를 사용하여 복사열 변화(25, 30, 50kW/m²)에 따른 총열방출량, 열방출율, 유효연소열량을 분석하였고, 결과 값은 3회 반복 실험하여 측정된 값의 평균값을 사용하였다. 열분해 반응은 단일 반응이 아니라 수십에서 수백 가지의 반응이 동시에 일어나는 반응이므로 분해 속도에 따라 우세한 반응이 달라질 수 있다.

Dual Cone Calorimeter는 큰 형태의 복사전기히터, 시편의 질량을 측정하기 위한 무게측정장치, 시편홀더, 산소분석장치, 유량측정장치를 부착한 배출시스템, 스파크점화회로, heat flux meter, 교정용 버너 및 자료 수집 및 분석시스템들로 구성되어 있다. 시편은 수평으로 설치하고 복사열에 의한 최대열방출율(Peak Heat Release Rate), 평균열방출율(Average Heat Release Rate), 총방출열량(Total Heat Release), 유효연소열량(Heat of Combustion)을 측정하였다. 구체적인 실험 조건과 실험장치는 Table 3과 Fig. 2에 제시하였다.

또한, TGA(Thermogravimetric analyzer, Shimadzu TGA-50)(김영범 등, 1993)를 이용하여 바닥재의 온도별 중량변화를 고찰하였다.

본 연구에서는 공기 분위기 하에서 직경 0.5 cm의 백금 시료 접시에 12±0.85 mg의 시료를 담고 carrier gas는 유량 20 ml/min의 공기를 사용하였다. 상온에서 800°C까지 가열속도를 각각 20°C/min, 30°C/min, 50°C/min으로 승온시키면서 실험하였으며, 구체적인 실험조건과 실험장치는 Table 4와 Fig. 3에 제시하였다.

2.2.3 난연성 실험

난연 특성은 연소 시 산소의 최소농도 즉 한계산소지수를

바닥내장재의 연소특성 분석에 관한 연구

Table 3. Experimental conditions of cone calorimeter

Items	Contents
Size(mm)	100×100
Heat flux(kW/m ²)	25, 30, 50
Test time(s)	1,800
Weight(g)	sample A : 68, sample B : 16, sample C : 3.5 sample D : 4.3



Fig. 2. The cone calorimeter apparatus.

Table 4. Experimental conditions of TGA analysis

Items	Conditions
Scan Temperature(°C)	20~800
Sample Weight(mg)	12±0.85
Purge Rate(ml/min)	20
Carrier Gas	air
Heating Rate(°C/min)	20



Fig. 3. The TGA apparatus.

측정하여 분석하였다. 한계산소지수는 착화의 용이성에 대한 대표적인 시험법으로 영국 FTT사의 Candle type flammability 장비로 LOI(Limited Oxygen Index)(ASTM D 2863-91)를



Fig. 4. The limiting oxygen Index apparatus.

이용하였으며, 연소에 필요한 최저 산소농도는 연소의 용이성 및 난연성 분석에 유용하게 사용된다.

실험 장치는 Fig. 4의 ASTM D 2863-91 기준에 적합한 것으로 연소부, 가스공급부, 측정부 및 접화기로 구성되어 있다. 길이 120 mm, 폭 6.5±0.5 mm, 두께 2.0±0.25 mm의 시편을 제작하여 온도 50±2°C의 항온조 내에서 24시간 유지한 후 시편을 U자형 고정기구에 수직으로 설치하였다. 시편의 추정산소농도를 선택하여 그 농도에 해당하는 산소유량 및 질소유량을 설정하였다. 재료에 15~20 mm의 불꽃의 접화기로 접화하여 연소시간이 3분 이상이거나 연소 길이가 50 mm 이상이 되는데 필요한 최저의 산소유량과 질소유량을 결정한 후 식(1)을 이용하여 산소 지수를 구하였다.

$$\text{산소지수}(\%) = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \times 100 \quad (1)$$

결과값은 3개의 시편에 대한 평균값을 산소지수값으로 결정하였다. 여기서 O₂는 산소의 유량(l/min), N₂는 질소의 유량(l/min)을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 바닥재의 화재특성을 평가하기 위하여 4종의 바닥재를 선정하여 발화온도, 착화시간, 발열량, 열중량변화, 한계산소지수 등의 연소특성 실험을 수행하여 다음과 같은 착화성, 발열특성, 난연성의 결과들을 확인할 수 있었다.

3.1 착화성

3.1.1 발화온도

Table 5에는 바닥재의 종류별 발화온도인 무염착화온도 측

Table 5. The Ignition temperature of four samples

Samples Items	Ignition Temperature(°C)
Sample A	425°C
Sample B	325°C
Sample C	390°C
Sample D	366°C

정값들을 제시하였다. sample B는 발화온도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, sample D 366°C, sample C 390°C, sample A 425°C로서 바닥재별 차이를 나타냈다.

발화온도가 낮을수록 발화의 위험성은 커지며, 발화온도 이상으로 가열되면 복사열에 의해 화재확대의 주요인이 되므로 화재발생 시 모노룸은 목재와 장판지보다 상대적으로 발화위험성이 큰 것으로 사료된다.

3.1.2 착화시간

Table 6에 50 kW/m²(ISO 5660-1 규격 시험)에서의 착화시간을 제시하였다. sample D(니스코팅 된 장판지)는 3초에 착화가 진행되었으며, sample C(장판지) 7초, sample B(모노룸) 9초, sample A(목재) 48초의 순서로 나타났다. 따라서 모노룸, 장판지, 니스코팅 된 장판지의 바닥재는 비교적 빠르게 착화가 되었으며, 상대적으로 목재는 착화시간이 오래 걸리는 것으로 나타났다. 또한, Table 6, 7, 8에 제시한 복사열 변화에 따른 착화시간을 살펴보면, 목재의 경우 복사열이 증가할수록 착화시간은 180 sec에서 48초로 급격히 짧아지는 것으로 나타났으며, 모노룸은 14초 에서 9sec, 장판지는 12 초 에서 7초, 니스코팅 된 장판지는 11초 에서 3초로 빨라져 복사열이 증가함에 따라 착화시간은 급격히 짧아지는 것으로 나타났다.

착화시간은 화재가 개시되는 최초의 시점으로서 다양한 형태의 바닥재에 대한 착화시간을 고찰함으로써 실제 화재상황에서 바닥재가 얼마나 빨리 착화되는지를 평가할 수 있는 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 사료된다.

3.2 발열특성

3.2.1 열방출율(Heat Release Rate , HRR) 및 총열방출량(Total Heat Release, TRR)

Fig. 5에는 복사열 50kW/m²(ISO 5660-1 규격 시험)에서의 바닥재별 열방출율 곡선을 나타내었다. Sample B, sample C, sample D는 연소초기인 100초 이전에 급격하게 열량을 방출하는 것으로 나타났으나 sample A의 경우 100

Table 6. Experimental results of cone calorimeter at heat flux 50kW/m²

Materials	Specimen average mass(g)	TTI (s)	Heat Release Rate				EHC (MJ/kg)
			Peak (kW/m ²)	Average(kW/m ²)		Total (MJ/m ²)	
				180s	300s		
Sample A	68	48	237	177	178	100	70
Sample B	16	9	335	92	57	17	78
Sample C	3.5	7	268	(120s)38	-	4.6	61
Sample D	4.3	3	378	(120s)61	-	7.5	33

Table 7. Experimental results of cone calorimeter at heat flux 25kW/m²

Materials	Specimen average mass(g)	TTI (s)	Heat Release Rate			EHC (MJ/kg)	
			Peak (kW/m ²)	Average(kW/m ²)			
				180s	300s		Total (MJ/m ²)
Sample A	68	180	190	170	171	77	67
Sample B	16	14	231	88	55	14	77
Sample C	3.5	12	225	(120s)34	-	3.7	59
Sample D	4.3	11	330	(120s)57	-	5.5	30

Table 8. Experimental results of cone calorimeter at heat flux 30kW/m²

Materials	Specimen average mass(g)	TTI (s)	Heat Release Rate			EHC (MJ/kg)	
			Peak (kW/m ²)	Average(kW/m ²)			
				180s	300s		Total (MJ/m ²)
Sample A	68	106	201	172	174	81	68
Sample B	16	13	254	90	56	15	77
Sample C	3.5	10	265	(120s)36	-	4.3	60
Sample D	4.3	10	365	(120s)59	-	6.8	32

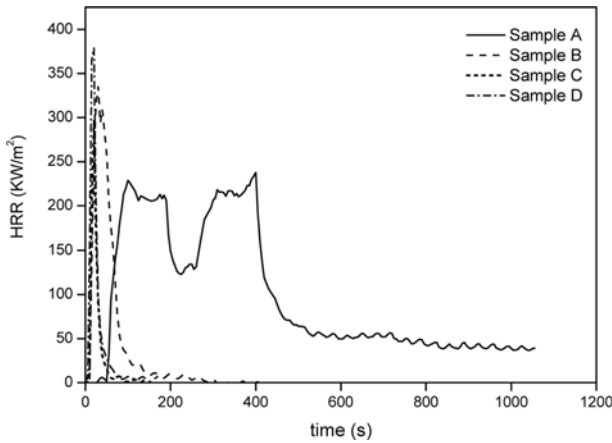


Fig. 5. Heat release rate curves for four samples at Heat flux 50 kW/m².

초와 400초 부근에서 2회에 걸쳐 급격한 열량을 방출하는 것으로 나타남으로써 목재는 다른 바닥재들과 차이가 큰 것으로 나타났다.

실대규모 화재에서 착화 후 180s와 300s에서의 평균열방출

을 값은 최대열방출을 값에 상응한다는 연구보고(ISO 5660-1, 2002 ; NFL, National Fire Laboratory)에 따라 해당 시간에서의 평균열방출을 측정하여 Table 6에 제시하였다. 착화 후 180초와 300초에서의 평균열방출을 살펴보면, 해당 시간에서 sample A는 180kW/m² 정도의 비슷한 열량을 방출하였으며, sample B는 300초 보다 180초에서 1.6배 높은 열량을 방출하였다. 이와 같은 결과로부터 sample A는 가장 많은 열량을 방출하는 것을 알 수 있었으며, sample C는 140초, sample D는 170초에 연소가 종료됨을 확인할 수 있었다. Table 6에 제시한 최대열방출을 살펴보면, sample D는 378 kW/m²으로 가장 높은 값을 나타냈으며, sample B 335 kW/m², sample C 268 kW/m², sample A 237 kW/m²의 값들을 나타냄으로써 착화 후 180초와 300초에서의 평균열방출은 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

총열방출량의 경우, sample A는 100 MJ/m²의 열량을 방출하였으며, 다른 바닥재들은 20 MJ/m² 범위 내에서 열량을 방출함으로써 sample A는 다른 바닥재들과 비교할 때, 총열방출량이 5배 정도 높은 것으로 나타났다. 따라서 목재는 다

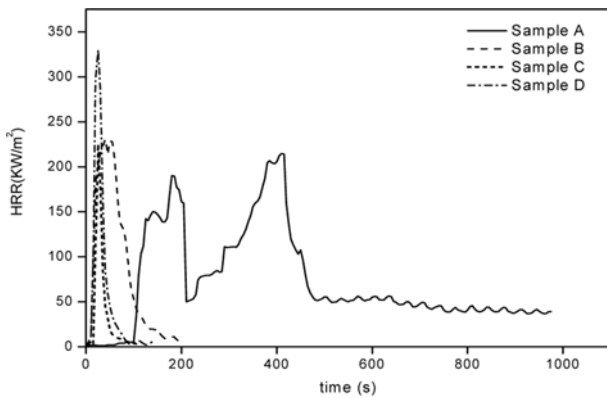


Fig. 6. Heat release rate curves for four samples at Heat flux 25 kW/m².

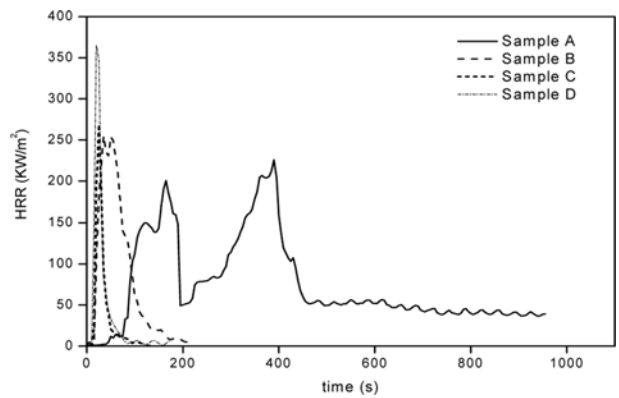


Fig. 7. Heat release rate curves for four samples at Heat flux 30 kW/m².

른 바닥재들보다 비교적 착화성은 우수하지만 착화가 시작된 이후, 발열량이 높은 것으로 나타났다.

Fig. 5, 6, 7에는 4종의 바닥재를 대상으로 복사열 증가에 따른 열방출율 곡선을 나타내었으며, 최대열방출율 값들은 Table 6, 7, 8에 제시하였다. 결과를 살펴보면, 복사열이 증가할수록 열분해가 더욱 촉진되어 많은 양의 열을 방출함으로써 최대열방출율도 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

3.2.2 유효연소열량(Effect Heat of Combustion, EHC)

유효연소열량은 단위 질량의 재료가 연소하면서 발생된 열량으로서 연소로 인해 방출된 열량과 질량손실로부터 계산된다. Table 6, 7, 8을 살펴보면, Sample B의 유효연소열량은 78 MJ/kg로서 가장 높은 것으로 나타났으며, sample A 70 MJ/kg, sample C 61 MJ/kg, sample D 33 MJ/kg의 순서로 나타났다.

복사열 증가에 따른 유효연소열량을 살펴보면, sample B는 77~78 MJ/kg로 유효연소열량이 가장 높은 것으로 나타났으며, sample A 67~70 MJ/kg, sample C 59~61 MJ/kg, sample D 30~33 MJ/kg인 것으로 나타났다. 유효연소열량은 화재해중 계산에도 유용하게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

3.2.3 열중량분석

Fig. 8에는 20°C/min의 가열속도로 승온시키면서 바닥재의 온도변화에 따른 중량변화를 나타내었다. Sample A는 60°C부터 서서히 중량 감소를 보이다가 300°C에서 급격히 감소하고 380°C부터는 다시 중량감소가 완만하게 일어난 후, 630°C에서 중량감소가 종결되었다. Sample B는 250°C부터 급격한 중량감소를 보이다가 330°C부터 420°C 온도구간까지는 서서히 중량감소를 보이며, 420°C~430°C 구간까지 다시 급격히 중량이 감소된 다음, 다시 서서히 중량이 감소되면서 750°C정도에서 세 번째 급격한 중량감소를 보였으며, 790°C부터는 중량감소가 더 이상 일어나지 않았다. Sample C와 D는 유사한 경향을 보였으며 300°C부터 급격히 중량감소가 일어난 다음 350°C부터 420°C 온도구간까지는 서서히 중량감소를 보이다가 420°C부터 두 번째 급격한 중량감소를 보인 다음, 500°C 이후부터는 중량변화가 거의 일어나지 않았다.

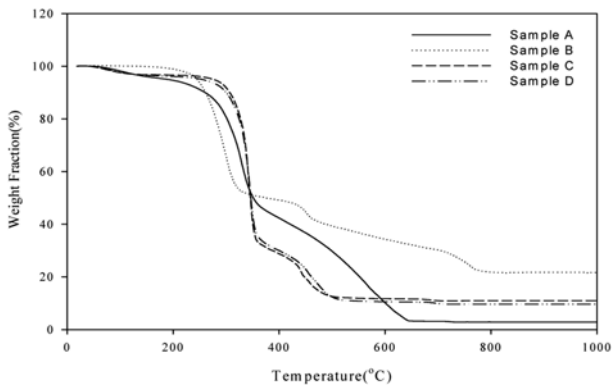


Fig. 8. TGA curves of four samples in air atmosphere at heating rate of 20°C/min.

Fig. 9와 10은 가열속도를 각각 30°C/min와 50°C/min로 달리하면서 온도변화에 따른 바닥재의 중량감소곡선을 나타낸 것이다. 가열속도의 증가에 따른 중량 감소는 유사한 경향을 보였으며, 열분해 변곡점들은 여러 곳에서 나타나는 것을 알 수 있지만 개략적인 구분에 따르면, sample A, C, D는 3단계에 걸쳐 중량감소가 나타났고, sample B는 4단계에 걸쳐 중량감소가 나타났다. 모든 바닥재는 300~400°C 온도구간에서 급격한 중량감소를 보였다. 급격한 중량 감소 후, 중량감소가 종결되는 온도구간은 sample A는 630°C, sample B는 790°C, sample C와 D는 500°C 부근으로서 sample B의 중량 감소에 대한 종결온도가 가장 높은 것으로 나타났다.

모든 바닥재는 가열속도가 증가할수록 중량감소곡선이 고온 쪽으로 전이되면서 중량감소 종결온도가 높아지는 것으로 나타났으며, sample A는 가열속도 50°C/min에서는 380°C부터 1000°C까지 지속적인 중량감소가 일어나는 형태를 보이고 있다. 이런 현상은 열적지연현상으로서 가열속도가 클수록 열전대가 위치한 시료의 표면을 비롯한 시료 주위 온도보다 시료 내부의 온도가 더 낮아 온도차이가 발생하므로 시료의 표면으로부터 내부까지 열이 전달되는 과정에서 발생하는 저항에 따른 것(홍순정 등, 1999 ; 김기홍 등, 1996)이다. 이것은 TGA 장비의 기계적 특성에 따른 것으로서 열전대가 감지하는 측정온도와 시료의 실제 온도가 가열속도에 따라 차이가 발생하여 열분해 온도가 지연되는 것으로 사료된다.

이와 같이 중량감소 곡선이 변곡점을 갖는 다단계 기울기를 갖는 형태인 것으로 보아 온도구간별로 각기 다른 성분의

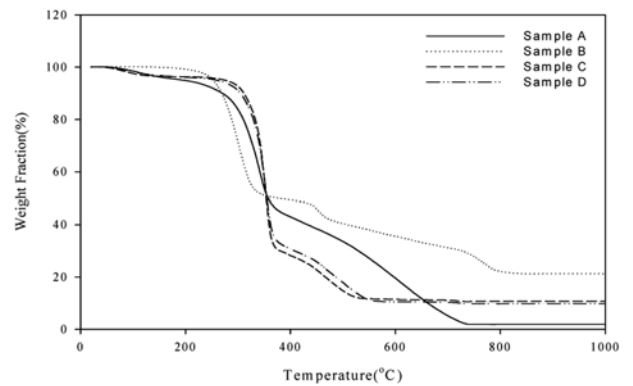


Fig. 9. TGA curves of four samples in air atmosphere at heating rate of 30°C/min.

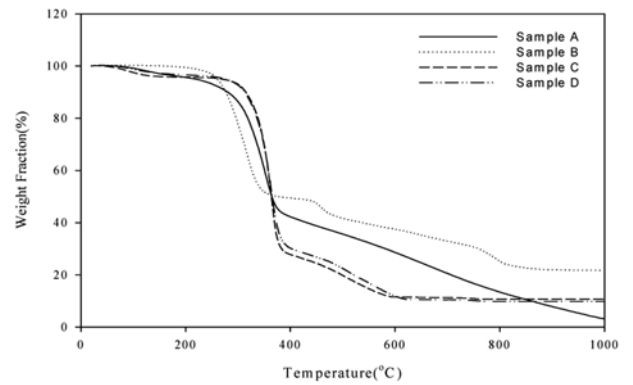


Fig. 10. TGA curves of four samples in air atmosphere at heating rate of 50°C/min.

Table 9. Limit oxygen index of four samples

Samples Items	Limited Oxygen Index(LOI)
Sample A	33.90
Sample B	23.75
Sample C	20.89
Sample D	19.90

열분해 생성물이 방출된 것으로 사료되며, 본 실험에서는 정량분석에 주안점을 두고 실험을 수행하였기에 각 온도구간별 생성물에 대한 정성분석은 고려하지 않았다.

중량감소 후, 최종 잔류물의 양을 살펴보면, sample A는 2.8%, sample C와 D는 각각 10.9%와 9.7% 정도였으며, sample B는 바닥재들 가운데 가장 많은 21.5% 정도의 잔류물을 확인할 수 있었다.

3.3 난연성

Table 9에는 바닥재의 종류별 한계산소지수를 제시하였다. 한계산소지수란 재료가 산소와 질소의 혼합기체분위기에서 연소되기 위해 필요한 산소농도로 sample A는 33.9%로 가장 높은 것으로 측정되었으며, sample B 23.75%, sample C 20.89%, sample D 19.9%로 측정되었다. 대기 중의 산소농도 21%를 고려할 때, 연소되기 위해 필요한 산소 농도가 sample C와 D는 대체로 낮은 것으로 나타났으며, sample A는 가장 높은 것으로 나타났다.

한계산소지수가 높다는 것은 가연물의 연소에 필요한 산소농도가 높다는 것을 의미한다. 따라서 목재는 상대적으로 난연성이 우수하며 장판지 계열은 산소지수가 낮으므로 착화 및 연소지속성이 용이한 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 건축물 내장재료 가운데 바닥재로 주로 사용되고 있는 목재, PVC 계열의 모노륨, 장판지, 니스코팅 된 장판지 등을 대상으로 착화성, 발열특성, 난연성을 고찰한 결과, 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- 1) 착화성 결과를 살펴보면, 모노륨의 발화온도가 가장 낮았으며, 화재발생 시 모노륨은 목재와 장판지보다 상대적으로 발화위험성은 큰 것으로 나타났다. 니스코팅 된 장판지는 착화가 3초 정도로 가장 빠르게 진행되었으며 장판지 7초, 모노륨 9초, 목재 48초 순서로 나타났다.
- 2) 발열특성을 분석한 결과, 목재가 가장 많은 열량을 방출

하였으며, 최대열방출율은 니스코팅 된 장판지가 378 kW/m² 정도로 가장 높은 값을 나타냈다. 총열방출량의 경우, 목재는 다른 바닥재와 비교하여 5배 정도 높은 총열방출량을 나타냈으며, 복사열이 증가할수록 열분해가 더욱 촉진되어 많은 양의 열을 방출하고 최대열방출을 또한 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

- 3) 난연성 결과를 살펴보면, 목재의 한계산소지수가 가장 높은 것으로 측정되었으며, 대기 중의 산소농도 21%를 고려할 때, 연소에 필요한 산소 농도는 장판지와 니스코팅 된 장판지가 비교적 낮은 것으로 나타난데 반해 목재는 가장 높은 것으로 나타났다.

하지만 본 연구에서 사용된 바닥재들이 다양한 바닥재들을 대표하기에는 종류와 수량이 절대적으로 부족하기 때문에 보다 신뢰성이 높은 결과를 얻기 위해서는 후속 연구와 추가 실험이 수행되어야만 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 건축법 (2005) 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙. 5조~7조.
- 김기홍, 전상철, 류경옥 (1996) 페플라스틱의 열분해를 통한 자원 회수. 한국폐기물학회논문집, 한국폐기물학회, 제13권, 제4호, pp.504-513.
- 김영범, 송석정 (1993) 열분석기의 원리 및 응용. 고분자과학기술, 제4권, 제5호, pp.387-397.
- 박영근 (2001) 고분자재료의 연소가스 독성평가에 관한 연구. 한국화재소방학회 논문집, 한국화재소방학회, 제15권, 제3호, pp.7-13.
- 소방방재청 (2005) 화재통계연감.
- 진영화, 정태호 (2002) 건축용 바닥재 화재시험방법의 국제적 동향. 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원. 방재기술, 제33호. pp.18-20.
- 홍순정, 오세진, 이해평, 김희택, 류경옥 (1999) PVC의 열분해 특성에 관한 연구. 한국화학공학회지, 한국화학공학회, 제37권, 제4호, pp.515-521.
- 홍윤명, 정국삼 (1992) 安全工學實驗. 동화기술.
- ASTM E 1342 (1994) "Standard test methods heat and smoke release rates for materials and products using on oxygen consumption calorimeter ASTM".
- ISO 5660-1 (2002) "Reaction to fire part 1, rate of heat release from building products(Cone Calorimeter)". Generer.
- KS F 2271 (1990) "Test Method for Incombustibility Finish Material and Procedure of Building".

- ◎ 논문접수일 : 10년 03월 19일
- ◎ 심사의뢰일 : 10년 03월 29일
- ◎ 심사완료일 : 10년 04월 16일