

## 건축물 내장재의 연소특성

안찬솔, 이의주, 김홍열, 조남욱, 신현준  
한국건설기술연구원

### Combustion properties of the room interior materials

Chan-Sol Ahn, Eui-Ju Lee, Heung-Youl Kim, Nam-Ook Cho, Hyun-Joon Shin  
Korea Institute of Construction Technology(KICT)

#### 1. 서론

건축물을 구성하고 있는 내장재는 많은 열적 조건 및 인자에 의해 연소거동이 영향을 받는다. 그러므로 건축물 내장재의 연소특성을 규정하기 위해서 여러 가지 방법을 사용하고 있고, 일부는 국제 기준으로 채택되어 있는 상황이다. 재료의 난연 또는 방염성을 가장 간단히 파악하는 표시로서 LOI(Limiting Oxygen Index)를 사용하고 있다. 하지만, LOI는 재료 자체의 난염성을 나타내기에는 적합하지 모르지만 전체 화재를 해석하는데 상당히 제한적인 활용도를 보인다. 최근에 재료의 화재연구에서는 실제 화재조건에서 열방출율(heat release rate)의 조사가 중요하다고 인식되어 콘칼로리미터(Cone Calorimeter) 등을 이용하여 측정하고 있다. 하지만 밀폐된 공간(compartment) 화재에서는 시간에 따라 산소의 농도가 변하므로 LOI 등의 값이 화재모델링에 향후 기여할 수 있으리라고 판단된다.

본 연구에서는 ISO 5660-11)에 의한 착화시간, 열방출률, 질량감소율에 대한 평가를 실시하였으며, ISO 5660-1과 ISO 4589-22)와의 상관성 분석을 위해 동일 재료에 대한 최소 산소지수 시험을 실시하였다. 또한 ISO 5660-1에 의해 연소되는 표준시료로부터, 연소가스를 포집하여 인체에 유해한 성분으로 알려진 대표적인 가스를 추적하여 그 농도를 측정하였다. 재료의 산소지수를 측정하는 방법은 기준에 의하면 플라스틱이나 섬유에 한정되어 있지만 본 실험에서는 다른 종류의 재료에도 적용하여보았고, 향후에 이러한 재질의 특성에 관한 기준제작에 참고할 예정이다.

#### 2. 실험방법

연소특성 시험은 최근 지하생활공간의 내부 마감재로 많이 사용되고 있는 재료와 상가 내부에 적재되어있는 재고상품, 인테리어물, 생활 집기류 등 지하생활공간을 구성하는 재료로써 많이 사용되고 있는 것을 대상으로 수행하였다. 이를 위해 무기질계 재료 13종, 플라스틱계 재료 12종, 목질계 재료 8종, 복합재료 4종, 종이계 재료 3종, 섬유계 재료 9

중 등 총 49종의 재료를 선정하여 건축 재료의 연소특성을 측정하였다. 구성재료를 표 1에 분류별로 도시하였다. 본 실험은 현재에도 진행중이므로 모든 재료에 대한 평가가 이루어지지 않았고, 기 수행된 결과를 토대로 결과를 제시하였다.

표 1. 시험된 건축물 구성재료

시험체 I			시험체 II		
대분류	구분	시험체명	대분류	구분	시험체명
무기질	1	타일	목질	26	일반합판
	2	유리		27	
	3	대리석		28	MDF
	4	유리면		29	OSB합판
	5	석고보드		30	목모시멘트판
	6			31	2×4 목재
	7	방화석고보드		32	집성목
	8	석면시멘트판		33	파티클보드(비중 0.55)
	9			복합	34
	10	규산칼슘판			35
	11	석고시멘트판	36		유리면 패널
	12	암면천정판	37	PIR 패널	
	13	규산칼슘천정판	종이	38	종이(난연처리 무)
플라스틱	14	PVC판		39	골판지
	15	FRP판		40	하드보드지
	16	SMC판	섬유	41	면(100%)
	17	우레탄폼		42	실크(100%)
	18	스치로폼		43	마(100%)
	19	압축스치로폼		44	폴리에스터(100%)
	20	난연플라스틱		45	니일론(100%)
	21	아크릴		46	나일론(50%)+폴리에스터(50%)
	22	카펫트		47	울(60%)+나일론(10%) +폴리에스터(30%)
	23	고무판		48	소가죽
	24	염화비닐타일		49	인조가죽
	25	인조대리석			

### 3. 실험결과

#### 3.1 산소지수(ISO 4589-2)

ISO 4589-2는 재료가 지속적인 연소현상을 유지하기 위해 필요로 하는 최소한의 부피 산소량(%)을 측정하여 총 33가지의 재료가 시험되었고 그림 1에 각 재료에서 얻은 LOI

값을 도시하였다.

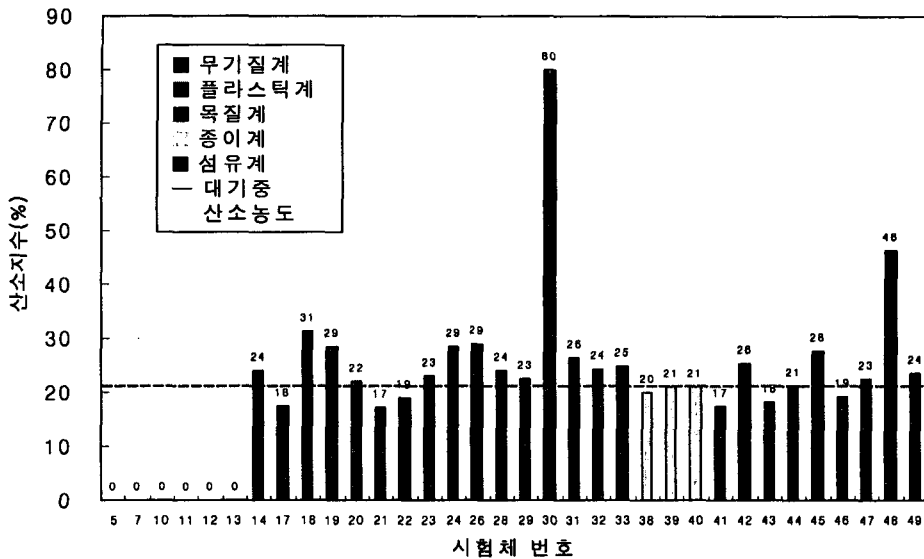


그림 1. 지하공간 구성재료의 산소지수 측정결과

무기질계 재료의 경우, 대상 재료 6가지 모두 어떠한 산소지수에서도 연소현상이 지속되지 않아 대상재료 모두가 불연 재료임을 확인하였다. 플라스틱계 재료는 대상재료 8가지 중 아크릴, 우레탄폼, 카펫의 3종을 제외한 나머지는 재료는 22-24%에서 연소현상이 지속되는 성능을 보였다. 이는 대기 중의 산소농도 21%에서는 지속적인 연소현상이 발생되기 어렵다는 것을 의미한다. 반면 아크릴의 경우 최소산소지수가 17.1%로 측정되어 실제 대기 중에서는 더욱 활발한 연소현상을 보일 것임을 예측할 수 있다. 기존의 연구(3),4)와 비교해보면 측정된 LOI 값은 일치됨을 알 수 있다.

목질계 재료의 경우, 대상재료 7가지 모두가 22.5-28.9% 대로 종이류 재료와는 상이한 성능을 나타내는 것으로 보아 난연성능을 띤 재료임을 알 수 있고, 특히 목모시멘트판의 경우 80.0%로 높은 산소지수가 측정되어 불연재료에 가까운 성능을 나타내었다. 종이류 재료의 경우, 시험대상으로 한 재료 3가지 모두 20.0-21.1%대의 성능을 나타냈으며, 이는 대기 중에서 포함된 산소의 농도만으로도 연소현상을 활발하게 지속할 수 있음을 의미한다.

마지막으로 섬유계 재료는 총 9가지의 재료가 평가되었는데, 17.4-46.4%에 이르는 가장 폭넓은 산소 지수대를 포함하고 있다. 면(100%)의 경우 17.4%의 가장 낮은 산소지수를 나타내 조사대상 섬유 계열 중 가장 연소가 잘 되는 재료로 측정되었으며, 소가죽이 46.4%의 우수한 난연성능을 보였다. 특이한 점은 나일론(100%)과 폴리에스터(100%)가 각각 21.2%, 27.6%로 공기 중의 산소농도보다 높은 산소지수를 요구한 것에 비해 나일론(50%)+폴리에스터(50%)가 대기산소농도 보다 낮은 19.0%의 성능을 보인점이다. 면직물의 경우 이전 자료(3),4)와 비교하면 약 5%의 오차가 있는데, 이는 선정된 재료의 차이점에 기인한다고 판단된다.

### 3.2 열방출율 측정(ISO 5660-1)

ISO 5660-1는 재료의 연소시 열방출률, 최대 열방출률, 총방출열 및 질량감소율로서 재료의 연소성능을 평가하고 있으며 현재까지 시험된 재료는 총 35가지이고 그림 2에 최대 열방출량을 도시하였다.

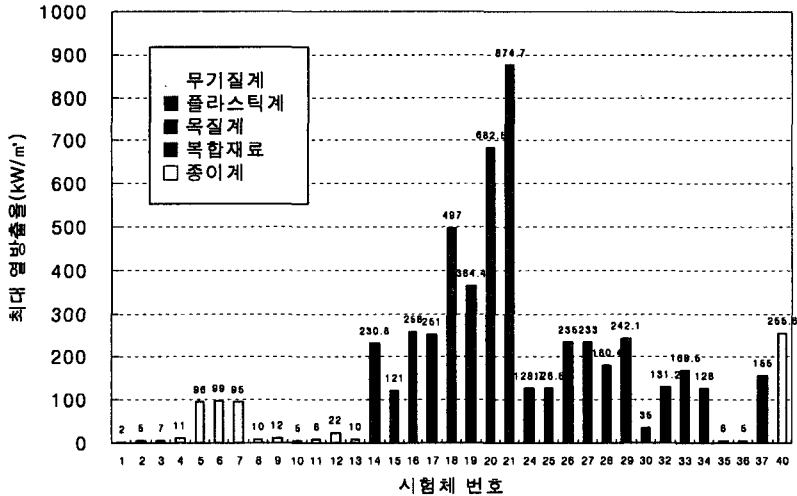


그림 2. 지하공간 구성재료의 최대 열방출량 측정결과

무기질계 재료의 경우, 석고보드 및 방화석고보드를 제외한 모든 무기질 재료에 있어서 착화되고 있지 않으며, 작은 열방출률 보이고 있다. 그러나 석고보드의 경우에는 최대 열방출률 94-99kW/m<sup>2</sup>를 보이고 있어 기타 무기질재료에 비하여 높은 열방출율을 나타내고 있다. ISO 5660-1의 콘칼로리미터법에 의한 난연성능 평가 방법은 원칙적으로 가연성 재료를 대상으로 제작된 장비로서 본 시험의 결과와 같이 그 값은 비록 작아 재료의 불연성능 평가에는 영향을 미치는 수준은 아니지만 원료 및 제조방법상 충분한 불연성능을 가지는 불연성 재료에 대해서도 열방출률과 최대 열방출률, 총 방출열 및 질량 감소율을 보이고 있다.

플라스틱계 재료의 경우, 모든 재료에 있어서 착화되었으며, 우레탄폼의 경우에는 5초 만에 착화되어 가장 빠른 착화시간을 보이고 있다. 평균 열방출률 및 최대 열방출률은 무기질 재료에 비해 수십배 크며 이러한 경향은 총 방출열과 질량감소율에서도 같은 경향을 보인다. 기존의 연구<sup>3)</sup>와 비교하면 PVC 경우 최고 열방출률은 약 15% 증가된 값을 보인다.

난연플라스틱이 평균 열방출률 및 최대 열방출률에서 가장 높은 값을 나타내고 있으며, 스티로폼은 가장 높은 질량 감소율을 보인다. 또한 FRP판의 경우에는 39.9MJ/m<sup>2</sup>의 총 방출열을 보여 가장 높은 값을 보이고 있다. 특히 스티로폼과 우레탄폼의 경우에는 최대 열방출률 도달시간이 31-76초로서 기타 플라스틱계 재료에 비해 높게 나타나고 있다.

목질계 재료의 경우, 목모시멘트판이 기타 목질계 재료에 비해 모든 항목에서 화재에

안전한 것으로 나타나고 있다. 목질계 재료는 착화시간, 열방출률, 최대 열방출률에 있어서는 유사하거나 다소 낮게 나타나고 있지만 최대 열방출률 도달시간이 길어서 총 방출열은 플라스틱계 재료보다 3배 정도 높게 나타나고 있다

복합 재료의 경우에는 심재에 표면을 강판으로 한 복합 패널의 경우에는 심재만을 대상으로 한 시험결과와 비교하여 열방출률, 최대 열방출률, 총 방출열 및 질량 감소율에 있어서 약 2배 정도 낮은 값을 보이고 있어 차이를 나타내고 있다. 이는 표면재로 사용되고 있는 강판이 심재의 연소를 부분적으로 억제하여 화재 위험성을 저감시키는 역할을 하고 있다고 판단되지만 한편 ISO 5661-1(콘칼로리미터 시험방법)은 원칙적으로 단일 재료에 대한 연소특성 평가를 목적으로 제작된 시험장비인 점도 고려되어야 할 사항이라 판단된다. 스티로폼 패널의 경우에는 모든 항목에서 유리면 패널 및 무기질계 재료와 거의 유사한 난연성능을 보이는 것으로 나타났다.

### 3.3 연소가스 측정(ISO 5660-1)

표 2. ISO 5660-1 연소가스 발생량 시험 결과

시험체번호	연소가스 발생 농도 [ppm]							
	CO <sub>2</sub>	CO	HCN	HBr	HCl	NO <sub>2</sub>	SOs	Acrolein
1	7.2	427.2	0	0	0	0	0	0
2	7.9	458.1	0	0	0	0	0	0
3	9.4	463.1	0	0	0	0	0	0
4	37.1	545.3	0	0	0	0	0	0
5	207.3	53.2	0	0	0	0	0	0
6	51.5	40.2	0	2	1.5	5.1	0	1.8
7	35.4	40.4	0	2	1.3	2.3	0	0
8	77.1	22.2	0	1.8	1.9	5.9	1.5	0
9	26.7	36.6	0	1	2.5	7	1.5	2
10	120.4	43.7	0	1.8	1.8	5	0	2.3
11	59.4	40.8	0	1.9	2.2	4	1.1	1.7
12	19.1	60.1	0	2	2.4	3.4	1.3	1.3
13	77	41.7	0	2	1.8	2.7	1.8	1.4
14	98.6	99	1.2	0	277.1	84.8	6.4	26
15	202.8	214.8	0	0	178.4	46.9	5.6	1.7
16	151	50.8	0	2.2	3.6	3.6	4.2	1.3
17	205.5	132.5	11.1	2.1	69.6	21.7	4.4	2.5
18	1244.7	6731.1	157	0	0	0	0	0
25	313.2	55	0	1.9	1.8	3.7	3	0
26	398.4	88.3	1.1	2.2	1.7	3.9	3.9	3
27	126.6	190.7	1.9	1.5	2.6	6.5	0	3.2
28	571	72	1.4	2	2	5	4.3	2.4
29	598.3	74.5	0	1.9	1.8	4.8	3.8	0
30	101.8	873.2	0	0	0	0	0	0
34	143.3	30.9	2.9	1.7	55.2	19	4.6	4.4
35	197.3	47	0	2	2.2	7	1.3	1.7
36	54.9	18.3	2.9	1.8	1.8	1.3	0	11.3

ISO 5660-1에 의한 실험과정에서 표준 시편이 연소하는 과정에서 발생한 연소가스를 포집하여 인체에 유해한 가스로 알려진 대표적인 8가지 가스(CO<sub>2</sub>, CO, HCN, HBr, HCl, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Acrolein)의 농도를 측정하였다.

무기질계 재료의 경우, 모든 시험대상 재료에서 공통적으로 HCN이 검출되지 않았으며, 타일, 유리, 대리석, 유리면, 석고보드의 경우 일산화탄소와 이산화탄소 이외에는 어떠한 유해가스도 검출되지 않은 것이 특징이다. 또한 얇은 석고보드, 석면 시멘트판, 규산칼슘판, 석고시멘트판, 압면 천정판, 규산칼슘 천정판의 경우 발생한 Acrolein의 농도가 장시간 노출 허용농도를 2-10배로 넘고 있음을 알 수 있다.

플라스틱계 재료의 경우, 단시간 노출 허용농도를 초과하는 재료는 없었으나, 장시간 노출 허용농도를 기준으로 하였을 때 기준치를 초과하는 유해가스의 종류가 가장 많이 나타나고 있다. 대체적으로 CO, HCN, HCl, NO<sub>2</sub>, Acrolein 이 기준치를 상회하는 가스로서 3-18배에 이르는 농도가 검출되었고, 특히 스티로폼의 경우 CO와 HCN이 각각 67배, 16배가 검출되었으나 그 외의 유해가스는 검출되지 않았다. PVC판의 경우 맹독가스인 Acrolein이 50배에 가까이 검출되었다.

목질계 재료의 경우, 대상재료 7가지 모두가 22.5-28.9% 대로 종이류 재료와는 상이한 성능을 나타내는 것으로 보아 난연성능을 띤 재료임을 알 수 있다. 종이류 재료의 경우, 시험대상으로 한 재료 3가지 모두 20.0-21.1%대의 성능을 나타냈으며, 이는 대기 중에서 포함된 산소의 농도만으로도 연소현상을 활발하게 지속할 수 있음을 의미한다.

섬유계 재료는 총 9가지의 재료가 평가되었는데, 17.4-46.4%에 이르는 가장 폭넓은 산소 지수대를 포함하고 있다. 나일론(100%)과 폴리에스터(100%)가 각각 21.2%, 27.6%로 공기 중의 산소농도보다 높은 산소지수를 요구한 것에 비해 나일론(50%)+폴리에스터(50%)가 대기산소농도 보다 낮은 19.0%의 성능을 보인점이다.

이상의 결과에서 각 재료의 연소특성을 조사하여 일반화하려고 하였으나 재료의 구분에도 불구하고 다양한 특성으로 인하여 불가능하였고, 각 특성치간의 상관관계도 기존연구<sup>5)</sup>와 같이 거의 미미한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 ISO 5660-1에 의한 착화시간, 열방출률, 질량감소율에 대한 평가를 실시하였으며, ISO 5660-1과 ISO 4589-2와의 상관성 분석을 위해 동일 재료에 대한 최소산소지수 시험을 실시하였다. 시험에서는 공통적으로 무기질계 재료가 낮은 열방출률과 산소지수, 유해가스 농도를 나타냄으로서 우수한 불연성을 보인 반면 플라스틱계 재료는 가장 높은 열방출률과 질량감소율, 비교적 낮은 난연성능 및 대량의 유해가스를 배출하였다. 현재의 결과에서는 앞의 두 가지 연소 인자(parameter)에 대한 어떠한 상관관계를 얻을 수 없었지만 향후에 밀폐된 공간에서 발생된 화재 해석을 위해서 좋은 데이터 베이스를 제공할 것으로 판단되고, 신소재의 연소특성 데이터 베이스를 구축하기 위해서는 재료의 분류뿐 아니라 특성에 맞는 시험방법을 개발하여야 할 것이다.

## 참고문헌

1. ISO 5660-1 : Reaction-to-fire tests, Heat release, smoke production and mass loss rate (2002)
2. ISO 4589-2 : Plastics-Determination of Flammability by Oxygen Index (1984).
3. Beyler C. L. and Hirschler M. M. (2002) *Thermal Decomposition of polymer*, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA.
4. Horrocks A. R. and Price D. (2001) *Fire Retardant materials*, CRC Press.
5. Babrauskas, V. (1992) *Heat Release in Fires*, Elsevier Science Publishers Ltd.