

소파커버의 연소특성에 관한 연구

A Study on Combustion Characteristics of Sofa Cover

이광훈*, 박영근*, 윤명오**, 현성호***

Kwang-Heum Lee, Young-Keun Park*, Myung-O Yoon**, Seong-Ho Hyun***

서울시립대학교 도시과학대학원 방재공학과**, 경민대학 소방과학과***

1. 서론

오늘날은 사회구조의 복잡 다양화와 생활수준의 향상으로 문화생활을 영위하기 위하여 영화관이나 노래방, 단란주점, 비디오방, 유흥주점등의 다중이용시설의 이용이 생활의 일부가 되었다. 최근 발생한 성남 아미존 단란주점, 인천 인현동라이브호프집, 대구지하철, 천안초등학교 축구부 합숙소 화재등 다중 이용시설에서의 화재로 많은 인명피해가 잇달아 발생하여 이에 대한 사회적 위기 의식이 증대되고 있으며, 내부구조를 전혀 모르는 불특정 다수인이 이용하는 관계로 화재로 인한 인명 및 재산피해를 최소화하는 것이 가장 중요한 일 것이다. 이들 다중이용업소에서의 건물에서는 피난활동에 필수적인 시설 등과 연기를 적절히 제어할 수 있는 시설이 마땅치 않아 한국의 저층 다중이용업소의 화재 취약성에 대한 기술적 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.¹⁾ 건축기술 및 내장재료의 다양한 발달은 우리의 풍요로운 생활에 도움을 주었지만 높은 열, 유독가스를 발생하는 내부인테리어 장식재의 무분별한사용과 건축물의 고층화, 지하의 심층화, 복잡화, 지상층 및 지하층 등의 무창층화로 인해 필연적으로 화재의 위험성 또한 대단히 높아져 소방의 여건변화를 가져왔다. 특히 다중이용업소의 실내장식물중 소파는 NFPA에서 성장시간을 ULTRAFast의 화재성장속도를 분류할 정도로 화재의 성장속도가 가장 빠른 것으로 보고하고 있다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 다중이용업소에서 사용하고 있는 실내내장재료 중 소파의 커버로 사용되는 인조가죽 5종에 대하여 화재가 발생할 때 각 재료의 위험성을 결정하는데 고려해야 할 요소인 착화성, 난연성, 열방출율, 독성가스를 고체의 자연발화온도 측정방법인 ISO 871⁴⁾, 산소와 질소가 혼합한 상승기류속에서 착화된 물질의 연소를 지속하는데 필요한 최저산소농도를 측정하여 재료의 상대적인 연소성을 판단하는 방법인 KS M 3032⁵⁾, 산소소비열량계를 이용하여 착화성, 방출열, 유효연소열량, 연기발생량을 측정하는 ISO5660-1⁶⁾, 독성가스는 가스검지관을 이용한 실험방법인 NES 713⁷⁾을 적용하여 CO, CO₂, HCl, HCN, NO_x을 평가하였다.

2. 실험체

실험체는 주택·아파트 및 차량에서 많이 사용하고 있는 소파의 커버로 사용되는 인조가죽 5종을 선정하였으며 실험체의 명세는 Table 1과 같다.

Table 1. List of experimental materials

구분	제조회사	재료명	밀도 (kg/cm ³)	주요구성요소	두께(mm)
1	L사	Artificial Leather 1	500	PVC+Polyester+PU등	1.1(PVC: 0.9, Fabric : 0.2)
2	L사	Artificial Leather 2	500	PVC+Plasticizer 등	2.2(PVC part: 2.2)
3	L사	Artificial Leather 3	440	PVC+Polyester+PU등	1.2(PVC: 0.8, Fabric : 0.4)
4	S사	Artificial Leather 4	490	PVC+Polyester+PU등	1.2(PVC : 0.9, Fabric: 0.3)
5	S사	Artificial Leather 5	450	PVC+Polyester+PU등	1.1(PVC: 0.8, Fabric : 0.3)

3. 실험방법

3.1 착화온도실험(Auto-Ignition Temperature, AIT)

가연성물질이 공기중에서 점화원 없이 스스로 연소할 수 있는 최저온도를 측정방법인 ISO 871를 적용하였다.

3.1.1 실험장치

실험장치의 구조는 가열로, 온도조절기, 공기공급 및 제어장치, 공기공급 펌프, 실험편 홀더, 파일럿 버너 등으로 구성되어 있다. 착화온도실험장치는 Fig.1과 같다.(미국, ATLAS사 Setchkin Auto-ignition temperature tester CS-81)

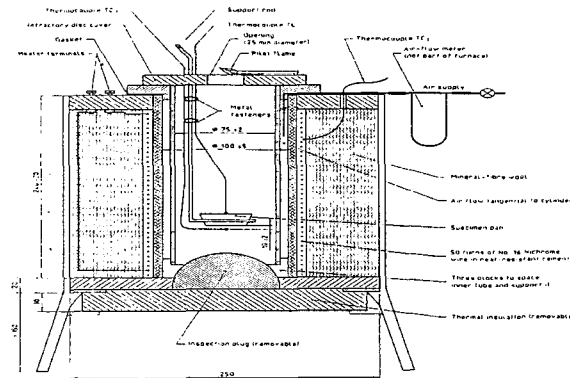


Fig. 1. The Auto-Ignition Temperature Apparatus.

3.1.2 실험방법

- (1) 질량 3.0 ± 0.2 g의 실험편채취, 온도 23 ± 2 °C, 상대습도 50 ± 5 % 40시간
- (2) 시험기기의 온도조절기를 측정하고자 하는 온도에 설정한 다음 시험기의 콘트롤러의 모터를 가동하여 공기를 흘린 다음 공기의 유속을 맞추었다.
- (3) 설정온도에 미리 양생된 실험편을 시료컵에 놓고 열전대를 부착한 다음 시험기 내부에 삽입하고 시험기위쪽에 거울로 내부의 실험편을 관찰함.
- (4) 설정된 온도에서 폭발, 불꽃 혹은 작열이 일어나거나 열전대의 온도가 급격히 상승하면 착화가 된 것이고, 설정된 온도에서 5분간 유지했을 때 반응등이 나타나지 않거나, 시료가 다 타서 소멸되었으면 착화가 않됨.

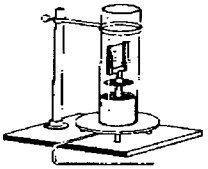
(온도 50℃ 낮추거나 높인다.)

(5) 온도가 안정될 때까지 기다렸다가 새로운 시료를 넣었다. 이 절차를 반복하여 착화가 일어나는 가장 낮은 온도를 찾았다.

3.2 산소지수실험(Limiting oxygen index, LOI)

산소와 질소가 혼합한 상승기류속에서 착화된 물질의 연소를 지속하는데 필요한 최저산소농도를 측정하여 평가하는 방법은 KSM 3032을 적용함.

3.2.1 실험장치

<p>실험장치는 KS M 3032기준에 적합한 것으로 연소부, 가스공급부, 측정부, 및 점화기로 구성되어 있다. 산소지수시험기는 Fig. 2와 같다 (미국, CBI사의 CS-178B)</p>	 <p>Fig. 2. The Limiting Oxygen Index Apparatus.</p>
--	--

3.2.2 실험방법 (3개를 평균한 값)

길이 150 mm, 폭 20 mm의 실험편을 체취하여 온도 50±2 °C의 항온조내에서 24시간 유지한 후 실험편을 U자형 고정기구에 수직으로 설치하였다. 실험편의 추정산소농도를 선택하여 그 농도에 해당하는 산소유량 및 질소유량을 설정하였다. 실험편에 15~20mm의 불꽃의 점화기로 점화시켜 점화시켜 연소시간이 3분 이상이거나 연소길이가 50 mm 이상이 되는데 필요한 최저의 산소유량과 질소유량을 결정한 다음 다음 식으로 산소지수를 구함.

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

O₂: 산소의유량(L/min), N₂: 질소의유량(L/min)

3.3 열방출율 등 실험(Heat Release Rate, HRR)

점화장치를 부착한 상태로 복사열에 노출된 실험편의 열방출 특성을 연소생성 물흐름속에서 산소소비량을 측정하여 평가하는 방법인 ISO 5660-1를 적용함.

3.3.1 실험장치(콘칼로리 미터)

실험장치는 콘 형태의 복사전기히터, 무게 측정장치, 실험편홀더, 산소분석장치, 유량측정장치를 부착한 배출시스템, 스파크점화회로, Heat flux meter, 교정용 버너 및 데이터수집 및 분석시스템들로 구성됨. Fig.3(미국 ATLAS 사)

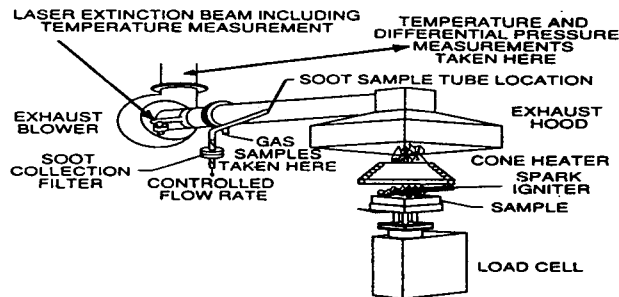


Fig. 3. The Cone Calorimeter Apparatus.

3.3.2 시험방법

콘칼로리미터를 이용시편을 수평방향으로 설치하고 25 kW/m² 및 35kW/m²의 복사열에 10분간 노출시켰을 때의 착화시간(Time to Ignition), 최대열방출율(Peak Heat Release Rate), 평균 열방출율(Average Heat Release Rate), 총방출열량(Total Heat Released), 유효연소열량(Effect Heat of Combustion)을 측정.

- (1) 실험체로부터 그 제품의 두께로 100 mm×100 mm(mm²)의 크기로 실험편을 절취하여 온도 23±2 °C, 상대습도 50±5 %에서 항량이 될 때까지유지한후 실험편을 알루미늄 호일로 비노출면을 감싸고, 반짝이는 면이 실험편을 향함.
- (2) CO₂ 트랩과 최종 수분트랩을 확인한 후 콘히터의 바닥판과 실험편의 상부 표면사이의 거리를 2.54 cm로 조정하였다.
- (3) 배출유량을 0.024 m³/s±0.002 m³/s으로 설정하고 데이터수집을 시작하였다.
- (4) 준비된 실험편과 실험편 홀더를 질량측정장치 위에 놓고 시험을 시작하였다.
- (5) 인화 또는 일시적인 불꽃연소가 발생된 때에는 그 시간을 기록하였다.
- (6) 시험시간동안 데이터를 수집한 후 실험편과 실험편 홀더를 제거하였다. (3개)
- (7) 열방출율과 단위면적당 열방출율을 계산하였다.

3.4 독성가스실험(Toxicity gas)

체적 0.7 m³이상의 연소챔버에서 분젠버너에 의해 재료를 연소시켜 발생하는 연소가스를 가스검지관에 의해 독성가스를 측정하는 방법인 NES 713 적용 3.4.1 실험장치

실험장치는 체적 0.96 m³인 연소챔버, 분젠버너(높이 125 mm, 구경 11 mm), 연소가스 독성분석장치를 사용하였다. Fig. 4와 같다. (한국, 에이텍사)

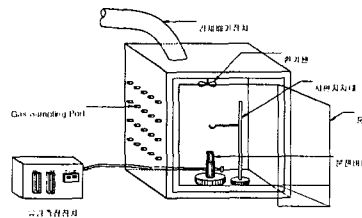


Fig. 4. The Combustion Gases Analysis Apparatus.

3.4.2 시험방법

(1) 실험체로부터 1~2 g 크기의 실험편 3개씩을 절취하여 23±2 °C, 상대습도 50±5 %의 조건에서 24시간 보존하고, 바닥의 중앙에 버너를 설치하고 메탄 가스를 10 L/min, 공기를 15L/min로 조정하여 불꽃높이를 약 100mm유지

(2) 실험편 지지대에 실험편을 올려놓고 버너의 불꽃을 1,150±50 °C로 하여 실험편에 노출시켰다. 연소챔버의 밀폐를 확인하고, 연소챔버 옆면으로 가스검지관을 삽입 하고 연소챔버의 문을 닫고 버너에 연료를 공급과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정함. 연소시간은 실험편이 완전 연소될 동안 실시.

(3) 버너를 끈후 30초동안 혼합팬을 작동시킨 후 즉시 연소챔버로부터 각각의 가스검지관을 통하여 차례로 가스를 뽑아내는 가스샘플링을 개시하였다.

(가스 분석 후 강제배출은 3분이상)

(4) 아래의 주어진 식을 이용하여 가스농도를 계산. (각3개의 C₀값을 평균)

$$C_0 = \frac{C \cdot 100 \cdot V}{m} \quad C_0 : \text{분석된 가스농도(ppm)}, m : \text{실험편 질량(g)}$$

C : 연소챔버내 의 가스 농도(ppm), V : 연소챔버의 체적(m³)

3.4.3 독성가스의 위험성기준: Table 2.

Table 2. Hazard of the major toxicity gas concentration.

기 준	가스명	노출시간					
		2분(ppm)		5분(ppm)		30분(ppm)	
		의식장해	사망	의식장해	사망	의식장해	사망
BSI DD 180 ⁹⁾	CO ₂	70,000	150,000	70,000	100,000	60,000	100,000
	CO	12,500	40,000	5,000	16,000	1,000	3,000
	HCl	1,000	40,000	1,000	16,000	200	3,000
	HCN	200	400	150	300	50	100

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험결과

4.1.1 착화온도(AIT): 각 재료에 대하여 ISO 871를 이용결과 Table 3.

Table3.Auto-ignition temperature experimental result

재료명	착화온도(AIT, °C)	재료명	착화온도(AIT, °C)
Artificial Leather 1	437	Artificial Leather 4	433
Artificial Leather 2	427	Artificial Leather 5	429
Artificial Leather 3	435		

4.1.2 산소지수:KS M 3032를 이용하여 산소지수(LOI)의 실험결과는Table 4.

Table 4.Limiting oxygen index experimental result

재료명	산소지수(LOI, %)
Artificial Leather 1,3,4	20
Artificial Leather 2,5	19

4.1.3 열방출을 등: 각 재료에 대하여ISO 5660-1를 이용

콘히터 복사열25 kW/m² 및 35 kW/m²에 실험편의착화시간, 최대 열방출을, 평균열방출을, 총출열량, 유효연소열량의실험결과는Fig. 6, 7과 같이 나타났다.

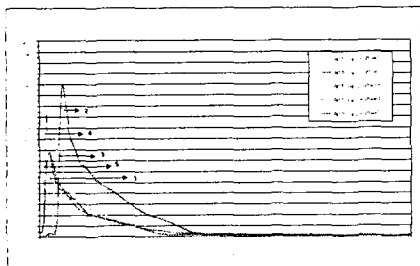


Fig. 6. Heat release rate at heat flux 25 kW/m².

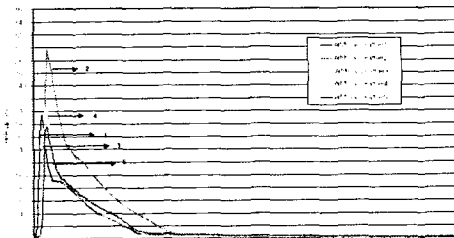


Fig. 7. Heat release rate at heat flux 35 kW/m².

4.1.4 독성가스

각 재료에 대하여 NES 713 연소가스분석장치를 이용실험결과는 Table 7.

Table 7. Combustion gases concentration for each material(ppm/100g)

재료명 \ 가스명	CO	CO ₂	HCl	NO _x	HCN	실험편 평균중량(g)	연소 시간(분)
Artificial Leather 1	5,620	23,400	110	220	65	1.7	2
Artificial Leather 2	5,550	18,500	120	145	32	2.0	2
Artificial Leather 3	6,050	22,900	130	150	15	1.6	2
Artificial Leather 4	6,040	20,100	140	170	14	1.7	2
Artificial Leather 5	6,290	22,000	120	160	13	1.8	2

5. 결 론

본 연구에서는 다중이용업소에서 사용하고있는 실내내장재료 중 소파의 커버로 사용되는 인조가죽 5종에 대하여 자연발화온도 측정방법인 ISO 871, 최저산소농도를 측정하여 재료의 상대적인 연소성을 판단하는 방법인 KSM 3032, 산소소비열량계(콘칼로리미터)를 이용하여 착화성, 열방출율, 유효연소열량을 측정하는 ISO 5660-1 및 독성가스는 가스검지관을 이용한 실험방법인 NES 713을 이용하여 실시한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 착화온도(AIT)는 Artificial Leather 1~5는 427~437 °C 나타났으며 산소지수(LOI)는 19~ 20 %로 측정되어 대기중의 산소농도가 21 %를 고려할 때 연소용이성은 아주쉬운 것으로 나타나서 이는 난연처리가 안된 것으로 판단된다.
2. 복사열은 25 kW/m²의 온도는 461 °C로 25 kW/m² 복사열에의 Artificial leather 1~5의 착화시간은 10~16초이었으며 최대 열방출율은 149 kW/m²(at 22초)~277 kW/m²(at 26초)로 재료의 착화 후 10~26초에서 가장 큰방출열을 방출하는 것으로 나타났으며, 복사열은 35 kW/m²의 온도는 616°C로 35kW/m² 복사열에의 Artificial Leather 1~5의 착화시간은 6~9초, 최대열방출율은 176 kW/m²(at 18초)~296 kW/m²(at 20초)로 재료의 착화 후 6~20초에서 가장 큰 방출열을 방출하는 것으로 나타났다.
3. 독성가스는 Artificial Leather 1~5에서 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 염화수소(HCl), 시안화수소(HCN), 질소산화물(NO_x) 분석하고자 하는 가스 모두 분석되었으며 일산화탄소(CO)는 5,550~6,290 ppm이 발생하는 것으로 나타나서 인간이 5분동안 가벼운 활동에 노출될 때 의식장애(Table 2. 참조)에 이를 수 있는 위험성이 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 윤명오, 화성씨랜드 화재문제 및 대책”, 한국화재·소방논문지. Vol.12, No.4(1999)
2. Marcelo M. Hirschler, Advances in Combustion Toxicology, Vol.2, Technomic Publishing Co., Inc. (1983).
3. James G. Quintiere, Ph. D., Delmar Publishers, (1993).
4. ISO 871, Generer(1996).
5. KS M 3032, “산소지수법에 의한 고분자재료의 연소시험방법”, 기술표준원, (95).
6. ISO 5660-1, Reaction to Fire Part 1. Generer(1993). 외 다수.