

벽면 내장재의 연소특성 연구

최연이, 이성은, 오규형

호서대학교 소방학과

A Study on the Combustion Characteristics of Wall Decoration Papers

Yeon-yi Choi, Sung-eun Lee, Kyu-hyung Oh

Dept. of Fire and Disaster Protection Eng., Hoseo University

1. 서론

우리나라의 주거 환경은 외국과 다르게 벽지를 많이 사용하는 실정이다. 또한 국내 주택 건축 문화 환경에 따라 실내 마감재로 벽지를 많이 사용하는 특성상 벽지의 연소 특성에 따른 화재의 위험성 평가를 실시해야할 필요가 있다. 내장재로서의 벽지에 대한 화재 위험성은 벽지의 연소특성과 연소시 발생하는 연기의 특성의 고찰로서 위험성의 평가가 가능할 것으로 생각된다. 그동안 내장 벽지나 바닥재 등에 대하여 일부 연소가스의 유독성에 대한 연구들이 간헐적으로 수행되어 왔다. 소방관련 법규의 개정 등으로 내장재의 연기에 대한 특성평가가 규제화 되면서 이 부분에 대한 연구의 필요성이 더욱 중요하게 되었다. 벽지의 연소 특성은 연소속도 및 연소 시 열방출속도 등의 특성에 대한 고찰이 필요하고 화재 초기 피난에 영향을 미치는 연기에 대하여는 연기의 농도 및 발생성분과 발생량에 따른 유독성의 고찰이 위험성 평가의 주된 변수가 될 것으로 생각된다. 본 연구는 실내 마감재로 가장 많이 사용되는 벽지를 시료로 하여 연소 후재(Ash)의 무게 측정, TGA(열중량분석)를 이용한 열분석 실험, Cone Heater를 이용한 착화시간 및 연소가스 농도 측정과 ASTM E 662에 의한 연기밀도 시험 등을 통하여 벽지의 연소특성 및 유해성을 고찰 하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. 실험 재료

현재 사용되고 있는 벽지는 매우 다양한 종류가 있으나, 국내의 벽지로 가장 많이 사용되는 벽지로서 합지와 실크벽지를 선택하였고 최근 아파트 새집증후군을 방지하기 위한 친환경 벽지로 생산되는 슛벽지, 녹차벽지, 황토·스�벽지와 방염성능을 갖는 실크방염벽지와 질석벽지를 시료로 선택하였으며 표 1과 같이 4개회사 7개의 제품이다. 실험체로부터 각각의 시료는 실험방법에 맞는 적정량과 크기를 취해 $100 \pm 2^\circ\text{C}$ 인 항온건조기 안에서 24시간 건조한 후 사용하였다.

표 1. 실험 재료

시료 구분	시료명	제조사	주요구성요소
A	합지벽지	L사	paper + paper
B	실크벽지	L사	paper + PE
C	솓벽지	L사	솓 + paper
D	녹차벽지	S사	녹차 + paper
E	질석벽지	S사	가공질석 + paper
F	황토·솓벽지	A사	황토 + 솓 + paper
G	실크방염벽지	D사	paper + PVC

2.2. 실험 장치

그림 1은 Ash량을 측정하기 위한 장치로 최대 1200°C 까지 가열이 가능하고 온도상승속도의 조절이 가능한 전기로이다. 그림 2는 열중량 분석계로(Thermo Gravimetric Analysis TGA) 온도상승에 따른 시료의 흡열 발열 반응의 변화와 무게변화를 측정하도록 하였다. 그림 3은 Cone Heater로 시료의 연소특성을 측정하기 위한 것으로 열유속(heat flux)에 따라 착화시간 및 발생하는 연소가스 성분 분석을 위해 제작된 장치이다. 또한 그림 4는 ASTM 662에 의한 연기밀도 측정 장치이다.

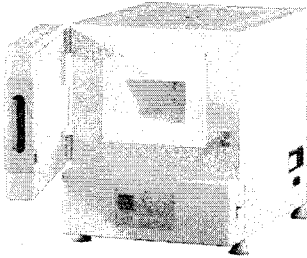


그림 1. 전기로

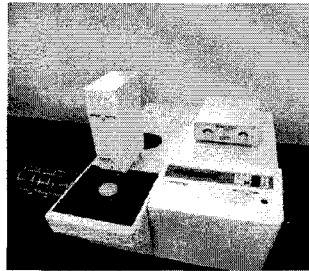


그림 2. TGA

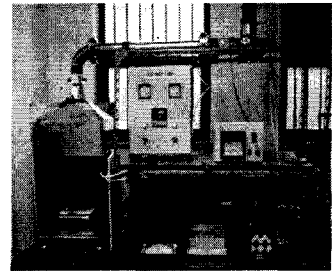
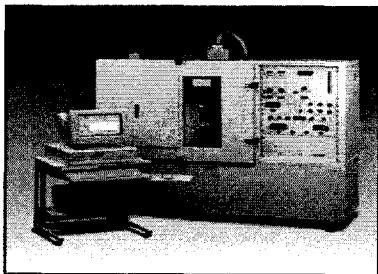


그림 3. Cone Heater



a) 전체적인 모양
그림 4. Smoke Density Chamber



b) 시료를 부착한 내부 모습
그림 5. ASTM E 662

2.3 실험 방법

(1) 회분 측정 실험

7종류의 시료를 100°C에서 24시간 건조한 벽지들을 1g씩을 취하여 전기로에서 600°C로 가열하여 남은 재의 무게를 측정하였다.

(2) 열중량 분석기 (TGA)

실내마감재인 벽지의 연소 위험성을 평가하기 위해 열중량 분석기(TGA)를 사용하여 분해개시온도 및 무게감량을 측정하여 승온 속도를 6℃/min로 시료의 분해에 따른 무게감량을 측정함으로써 분해개시온도나 분해특성을 500℃까지 분석하였다.

(3) Cone Heater

가로와 세로가 각각 15cm×15cm인 벽지 시료를 석고판(20cm×20cm) 위에 붙여 건조기에서 100℃로 24시간 건조시킨 후 heat flux를 각각 6kW, 9kW, 12kW, 15kW 가 되도록 조절한 후 시료에 복사열을 가하여 착화될 때까지 시간을 측정하고 연소가스 분석계로 NO, NOx, CO, HCl, HCN 등의 연기의 성분과 농도를 측정하였다.

(4) 연기밀도 시험

시료를 표준크기에 맞춰 ASTM 662에 의한 연기밀도실험장치(Smoke Density Chamber)에 설치하고 25kW/m²의 복사열을 1200초 동안 가하면 연소하면서 발생하는 연기가 집연챔버에 모이지고 수직방향으로 설치된 광학장치에 통과된 빛의 강도를 측정하여 연기농도로 환산한다. 결과는 비광학밀도(Optical Smoke Density)로 표시되며 연기밀도(Ds)는 (1)식에 의하여 계산한다.

$$D_s = G(\log_{10} (100/T)) \dots \dots \dots (1)$$

여기서, G(연기밀도의 챔버의 기하학적 요소) = V/(A · L)

V = 실험챔버의 용적(m³)

A = 실험체의 폭로 면적(m²)

L = 연기를 통과하여 빛이 지나간 길이(m)

T = PM(Photo Multiplier) 마이크로 광도계 투과율(%)

3. 실험결과 및 고찰

(1) 회분측정

시료별 질량변화 및 Ash량을 측정한 결과를 표 2에 나타내었다. 결과는 숯 > 녹차 > 합지 > 황토·숯 > 실크방염 > 실크 > 질석 순으로 질량손실이 많았다. 이러한 결과는 질량손실이 클수록 열분해 생성물이 많으며 연소가 잘 된다.

표 2. 시료별 질량변화 및 Ash 량

시 료	시료 질량(g)			가열시간(h) / 가열온도(℃)	Ash(%)
	실험전	실험후	질량손실		
합지 벽지	1.0010	0.1421	0.8589	24 / 600	14.6223
실크 벽지	1.0033	0.2064	0.7969	24 / 600	20.6591
숯 벽지	1.0021	0.0005	0.9971	24 / 600	0.4990
녹차 벽지	1.0025	0.1141	0.8884	24 / 600	11.9000
질석 벽지	1.0028	0.2958	0.7070	24 / 600	29.9723
실크방염벽지	2.00	0.35	1.65	24 / 600	17.5000
황토·숯벽지	2.01	0.30	1.71	24 / 600	14.9300

(2) 열중량 분석

모든 시료에 대하여 열중량 분석을 통하여 시료의 열분해 개시온도를 측정하고 질량 감소율을 고찰하였다. 그림 6은 합지 벽지의 열중량 분석 결과 그래프로서 열분해 개시온도는 260℃ 정도였고 260℃~350℃에서 급격한 열분해로 0.054g의 중량감소를 보였다. 총 0.071g, 약 75.4%의 중량이 감소하였다. 그림 7은 각 시료들의 열분해 개시온도를 보여주고 있으며 표 3은 각 시료들의 중량 감소율을 보여주고 있는데 Ash 측정실험에서의 중량 감소율과 일치하지는 않는데 이는 가열온도와 시간의 차이가 원인으로 생각된다.

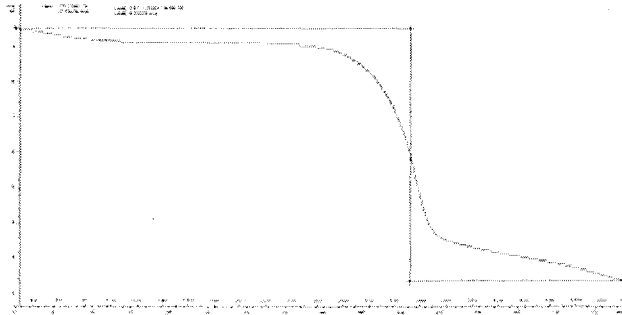


그림 6. 합지벽지의 열중량 분석 그래프

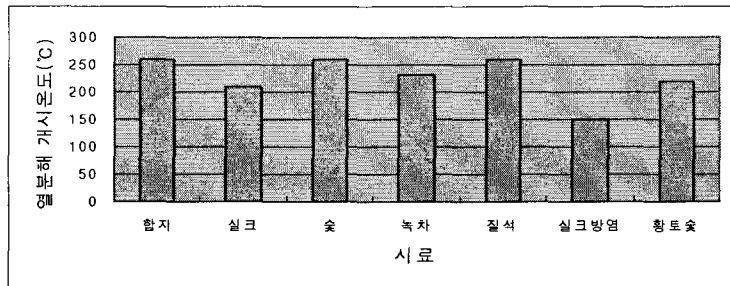


그림 7. 시료별 열분해 개시온도

표 3. 열중량 분석 결과 무게감소량(%)

시료	합지벽지	실크벽지	솜벽지	녹차벽지	질석벽지	실크방염벽지	황토·솜벽지
무게감소량(%)	75.4	68.4	78	57.34	59.75	62.06	69.27

그림 7의 분해 개시온도가 낮은 실크 벽지는 표면에 코팅된 PE의 영향인 것으로 보이며 종이 재질로만 된 벽지의 경우 분해개시 온도가 높은 것을 나타내고 있다. 분해 개시온도가 낮을수록 연소하기가 용이하고 낮은 온도에서 연기의 발생이 시작되어 화재 시 위험성이 클 것으로 예상된다.

(3) Cone Heater에 의한 착화 실험

실험 결과 각 시료의 착화하는데 걸리는 시간은 실크벽지의 경우가 타 시료에 비해

빠른 착화시간을 나타내었고, 연소 가스농도 측면에서 heat flux가 높아짐에 따라 실크 벽지가 다른 시료에 비해 높은 농도의 HCl, HCN, NOx 등 유독가스를 발생하였다.

(4) 연기밀도 시험

그림 8은 연기밀도 실험 결과로 실크 방염 벽지가 연기농도가 가장 높은 것을 볼 수 있는데 방염처리에 의해 연소는 잘되지 않는 반면 높은 온도에서 방염물질과 가연성분의 열분해에 의해 연기의 발생이 많아진 것으로 판단된다.

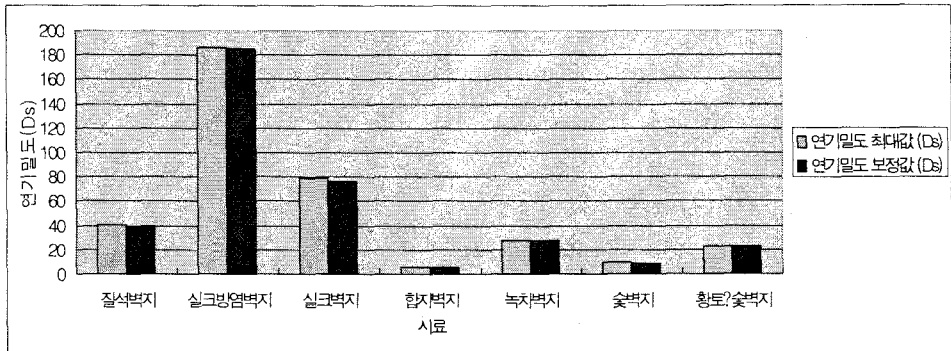


그림 8. 연기밀도 최대값 및 보정값

연기밀도 실험결과와 열중량분석 및 Ash 측정결과등과 비교하면 표면에 PE로 처리한 실크벽지의 경우 열분해온도가 낮고 발연량이 많아 화재 위험성에 대하여는 취약한 것으로 볼 수 있다.

4. 결론

대부분의 화재에서 다중 인명피해를 초래하는 가장 큰 원인은 직접 화염에 의하지 않고, 내장재 및 기타 가연물에서 발생하는 연기와 독성가스이며, 사상자의 상당수가 연소시 발생하는 연기에 의해 사망한다. 본 논문에서는 실내마감재로 많이 사용하는 합지벽지, 실크벽지, 숯벽지, 황토·숯벽지, 녹차벽지, 질석벽지, 실크방염벽지의 열중량 분석 및 연기밀도시험 및 연소가스 농도를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 열중량 분석 결과 다른 벽지보다 실크벽지가 상대적으로 저온에서 열분해와 빠른 연소속도를 나타내었다. 이는 화재 시 위험성이 더 클 것으로 보인다.
- (2) Cone Heater 실험 결과 실크벽지는 낮은 heat flux에서 착화시간이 다른 벽지에 비해 빠르다. 이는 짧은 피난 시간을 요하며 더 많은 인명피해를 초래할 수 있다.
- (3) 연소가스 농도 분석결과 heat flux가 높아짐에 따라 실크벽지는 다른 벽지에 비해 더 많은 유독가스(HCl, HCN, NOx)가 발생하여 화재시 연기에 의한 질식 위험이 더 높아질 수 있음을 알 수 있다.
- (4) 벽지 시료의 연기농도 측정 결과 천연 재료의 경우 연기가 적게 발생하였으며, 합성수지 및 방염처리 제품일수록 연기가 많이 발생하였다. 실험 결과 실내 장식과 관리에 편리한 실크 벽지류가 천연재료 벽지에 비해 화재의 위험성과 연기의 유독성이 높은 것으로 보인다.

향후 연기의 독성 문제에 대한 문제의식이 증대되어 독성 평가에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. "Method for Measuring Smoke Density and Concentration of Gases Evolved by Incineration or Decomposition of Plastics", KSM 3047(1993)
2. Wall Paper and Wall Covering for Decorative Finish, KCM 7305(1994)
3. Marcelo M. Hirschler, "Smoke Toxicity Measurement Made so that the Results Can be used for Improved Fire Safety", Journal of Fire Sciences Vol. 9, pp.330-347(1991)
4. Bernard Martel, "Chemical Risk Analysis A Practical Handbook", Taylor & Francis, p.369(2000)
5. 박미라, 김광일, 김태구, "벽지의 종합적 화재 위험성 평가에 관한 연구", 한국화재소방학회, Vol.17, No. 1, (2003) "A Study on Total Fire Risk Assessment of Wallpapers"
6. 이석조, 장성기, 유승화, 김미현, 장 미, 서수연, 이홍석, 임준호, "벽지에서 발생하는 휘발성유기화합물 방출특성 분포" 한국대기환경학회 (2005) "Characteristics of Volatile Organic Compounds(VOCs) Emission from Wallpaper"
7. "화재시 유해가스발생에 관한 연구", 한국화재보험협회, p.69(1980)
8. 강성동, 이창우, 현성호, 윤명오, "다중이용시설 바닥마감재의 연소가스 독성평가에 관한 연구", 한국화재 · 소방학회, 제 16권 제 2호, (2002)
9. 김광일, "실내화재의 특성에 관한 연구", pp.114-115(1990)