

내장벽지의 연소특성에 관한 연구

김해림 · 김영탁* · 박영주 · 이해평**

강원대학교 방재전문대학원, *강원대학교 산업과학대학원, **강원대학교
소방방재학부

A Study on Combustion Characteristics of Various Wallpapers

Kim, Hae Rim · Kim, Young Tak* · Park, Young Joo · Lee, Hae Pyeong**

Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

Graduate School of Industry Science, Kangwon National University*

School of Fire & Disaster Prevention, Kangwon National University**

요 약

본 연구에서는 실내 내장재료 많이 사용되고 있는 벽지를 대상으로 선정하여 연소특성을 고찰하고자 콘 칼로리미터, 연기밀도 시험기, 발화점 시험기, 산소지수 시험기를 이용하여 각각의 발열성, 발연성, 착화성, 난연성을 측정하였다. 벽지의 발열특성은 기능성 벽지인 쑥벽지와 특정벽지인 질석벽지가 다른 벽지에 비해 많은 열을 방출하는 것으로 나타났으며, 방염벽지의 연기밀도가 130.8로 가장 높은 값을 나타냈다. 질석벽지는 61초에 착화가 되어 다른 벽지에 비해 착화시간이 최소 4배 이상 늦게 착화가 되었으며, 발화온도 또한 270.8℃로 높게 나타났다. 산소지수 측정 범위는 18.9~23.2%의 값으로 공기 중의 산소농도와 비슷한 범위인 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

건축재료 중 내장재는 실내화재가 발생 할 경우 화재를 확대시키는 주요원인이 되므로 사회적으로 규제가 요구되는 추세이다. 생활양식이 다양해지고 주거 환경에 관심이 높아져 다양한 실내공간이 연출됨에 따라 사용되는 내장재의 선택의 폭이 넓어져 건축시공 시 재료 선정에 있어 안전성 보다 디자인 및 경제적인 측면에 비중을 두고 선택하여 화재 발생 시 위험성은 배가 되고 있다. 특히 건물화재의 성상은 화재 시 방출되는 열이나 연기 또는 가스등이 인명안전에 미치는 영향이 클 뿐 아니라 재료가 가지고 있는 특성에 따라 좌우되어 실내 내장재의 연소특성에 대한 연구의 필요성이 중요하게 되었다. 내장 벽지에 관한 앞선 국내 연구를 살펴보면 벽지의 방염성능 및 열 안정성을 평가하고 연소 시 발생하는 가스의 독성지수를 정량적으로 평가(박미라, 2003)한 것과 내장벽지의 열 발생 특성, 연기 및 연소가스의 유독성을 분석하여 화재위험성을 평가(오규형, 2007)한 연구 등이 있다. 본 연구는 실내 마감재료 많이 사용되는 벽지를 대상으로 하여 콘 칼로리미터, 발화점

시험기, 산소지수 시험기를 이용하여 각각의 발연성 착화성 난연성 측정함으로써 벽지의 연소특성을 고찰 하고자 한다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 실험재료

실험에 사용된 재료는 실내 내장재로 많이 사용되고 있는 벽지로 가장 많이 사용되는 합지벽지와 실크벽지 그리고 최근 친환경적인 제품을 선호하여 여러 종류의 기능성 벽지가 사용되는데 그 중 쪽 벽지와 옥수수전분이 주 구성요소인 옥수수벽지를 선정하고, 특정벽지인 질석벽지와 방염벽지 총 6종의 일반적으로 주거용 건물에서 사용되는 벽지를 선정하여 표 1에 제시하였다.

표 1. 실험재료

종 류		구 성
1	쪽벽지	paper, 쪽
2	합지벽지	paper
3	실크벽지	paper, PE
4	방염벽지	paper, PVC
5	질석벽지	paper, 가공질석
6	옥수수벽지	paper, 옥수수전분

2.2 실험방법

2.2.1 콘 칼로리미터시험

연소 과정에서 소비되는 산소량을 기준으로 방출되는 열량을 측정하는 원리로 ISO 5660-1에 의한 시험을 실시하였다. 각각의 재료에 대하여 시편을 100mm×100mm크기로 준비하여 재료가 화재 조건에 노출되는 동안 착화시간, 열방출율 등을 동시에 연속적으로 측정하였다. 시험방법은 시편을 연소하기 위해 가열로를 이용하여 가열로 속에서 50kW/m²의 일정한 heat flux를 공급하였고 점화를 위해 점화장치를 사용하였다. 시간이 지나면서 외부 복사열로 인해 재료 표면의 온도가 상승하고 열분해가 시작된다. 가연성 기체가 연소 하한범위를 넘게 되면 발화하면서 발화시간이 측정된다.

2.2.2 연기밀도시험

연기밀도 측정원리는 시험시편이 챔버 내에서 열원의 조건에 노출되었을 때 시편에서 발생한 연기의 광학적 밀도를 측정하는 방법으로 각각의 시편을 75mm×75mm크기로 준비하여 ASTM E 662 규격에 의한 시험을 실시하였다. 실험 방식은 Non-flaming 방식으로 수행하였으며 밀봉된 챔버 안에 평면 시편을 수직으로 세워 가열로를 점화하여 25kW/m²의 복사열이 되도록 설정 한 후 연소하면서 발생하는 연기가 집연 챔버에 모아지고 수직으로 설치된 광학장치에 통과된 빛의 강도를 측정하여 연기농도로 환산된다.

2.2.3 발화점 시험기

일본 구라모찌사 KRS-RG-9000의 Group식 발화점 시험기는 물질의 발화온도(발화대기시간=4초)를 측정하는 시험법으로 주요구성은 연소실, 가열로, 시료투입장치, 전류조정장치로 구성되어 있고 물질의 발화온도(발화점) 측정 뿐 아니라 발화점에 따른 위험성을 분석하고 위험물 성상을 판정하는 장비이다. 온도 20±5℃, 습도 50±10%, 풍속 0.3~0.4 m/sec 조건에서 0.2g의 시편을 가지고 도가니를 전기로에 준비하고 열전대를 온도 측정공에 설치한 후 온도조절기를 이용해 온도를 설정하고 온도하강시의 전압을 하강속도가 2℃/분이 하가 되도록 전압조정기를 조정한다. 투입공에 시편 투입과 동시에 스톱워치로 발화까지의 대기시간을 측정한다. 5℃ 강하할 때마다 발화대기시간인 4초대 값이 10회 이상 나올 때 까지 반복 실험하며 발화점을 측정한다.

2.2.4 산소지수실험

LOI란 어떤 연소 물질에 대하여 일반적으로 질소 불활성 분위기에서 연소 조연제로서 필요한 산소의 최소 농도를 말한다. 이러한 시험법의 종류는 착화의 용이성, 표면 연소성, 열량, 발열성, 연소 생성 기체의 유독성, 연소 계속성 등이며 이중에서는 착화의 용이성에 대표적인 시험법이다. 실험장치는 ASTM D 2863-91 기준에 적합한 것으로 연소부, 가스 공급부, 측정부 및 점화기로 구성되어 있다. 길이 140mm, 폭 52±0.5mm, 두께 10.5mm의 시편을 채취하여 온도 50±2℃의 항온조 내에서 24시간 유지한 후 시편을 고정기구에 수직으로 설치하였다. 시편의 추정산소농도를 선택하여 그 농도에 해당하는 산소유량 및 질소유량을 설정하였다. 시편에 15~20mm의 불꽃의 점화기로 점화하여 점화시켜 연소시간이 180초 이상 이거나 연소 길이가 50mm이상 연소가 되는 산소 농도를 찾는다. 산소지수는 부피 퍼센트에 오차범위에 대한 보정 값을 주는 형식으로 구해지며 다음에 주어진 관계식으로 부터 계산한다.

$$OI = C_f + Kd$$

여기에서, Cf : 소수점 첫째자리까지 부피 퍼센트로 나타낸 산소농도의 최종 값

d : 소수점 첫째자리까지 부피 퍼센트로 나타낸 산소농도 수준사이의 간격

K : 디슨의 '상승 및 하강' 방법에 의해 얻어진 값

3. 결과 및 고찰

3.1 발열특성

그림 1과 그림 2는 콘 칼로리미터의 ISO 5660-1에 따른 방법에 의한 실험으로 시간변화에 따른 열방출율과 총 발열량을 나타내었다. 그림 1을 보면 친환경소재인 썩 벽지는 7초대에 255.14kW/m²의 열을 방출하였다. 초기에 급격한 진행을 하고, 평균적으로 다른 벽지와 비슷한 열방출율을 보였다. 그림 2는 총 발열량을 나타낸 그래프로 썩 질석벽지가 10.7kW/m²의 값으로 가장 많은 열을 방출하였으며, 질석벽지, 썩 벽지, 옥수수벽지와 합지벽지, 실크벽지, 방염벽지의 발열패턴이 비슷한 모습을 보였다.

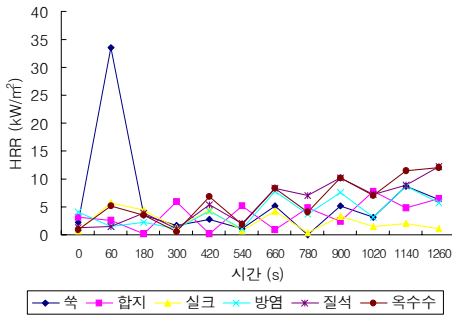


그림 1. 시간에 따른 열방출률

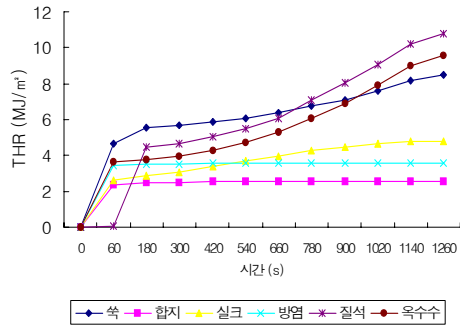


그림 2. 시간에 따른 총발열량

3.2 발연특성

그림 3은 6종류의 시편으로 연기밀도시험기를 이용하여 최대연기밀도 측정값을 그래프로 나타낸 것이고, 표2는 최대연기밀도 값과 그때의 시간을 나타냈다. 최대 연기밀도는 방염벽지(130.8)가 가장 높고, 송 벽지(88.15)가 다음으로 높았으며 옥수수벽지(75.87), 질석벽지(56.46), 실크벽지(52.02), 합지벽지(48.63) 순으로 나타났다.

표 2. 연기밀도 결과

실험재료		송벽지	합지벽지	실크벽지	방염벽지	질석벽지	옥수수벽지
Ds (ppm)	peak	88.15	48.63	52.02	130.8	56.46	75.87
	sec	292	627	984	1190	378	904

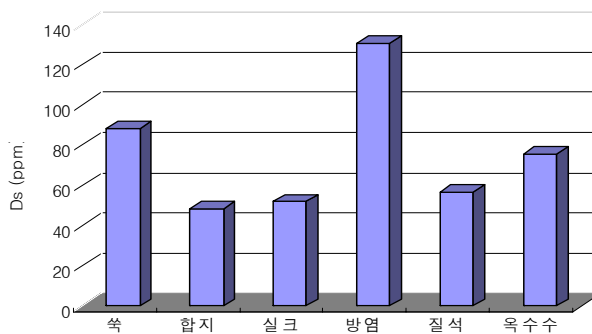


그림 3. 연기밀도 결과

3.3 착화특성

표 3은 6종의 벽지의 착화 시간과 발화온도 실험의 결과를 나타낸 것으로 착화시간은 큰 칼로리미터 실험에 의한 데이터를 활용 하였다. 착화시간은 질석벽지가 61초로 가장 늦게 착화가 되었고, 합지벽지와 실크벽지가 11초로 가장 빠르게 착화가 되었다. 발화온도

는 벽지 6종류 모두 240℃ 이상의 온도에서 발화가 되었다. 그 중 실크벽지가 242.8℃로 가장 낮은 온도에서 발화를 하였고, 합지벽지가 274.3℃로 가장 높은 온도에서 발화를 하였다.

표 3. 착화시간 및 발화온도 결과

실험재료	쑥벽지	합지벽지	실크벽지	방염벽지	질석벽지	옥수수벽지
착화시간(s)	19	11	11	15	61	12
발화온도(℃)	246.3	274.3	242.8	256.3	270.8	250.3

3.4 산소지수측정

산소지수는 가연물이 연소를 계속 유지시킬 수 있는 산소의 최적 농도로 연소성(난연성)을 측정하는 척도이다. 공기 중에 약 21%의 산소가 포함되어 있어 일반적으로 산소의 농도가 높을수록 연소는 잘 일어나고 일반가연물인 경우 산소농도 15% 이하에서는 연소가 어렵다(이춘하, 2003). 일반적으로 사용하는 벽지 6종류의 시편으로 실험 한 결과 기능성벽지인 쑥 벽지의 산소지수가 23.2%로 가장 높게 나왔으며, 합지 벽지가 18.9%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 나머지 시편의 결과 모두 18% 이상의 값으로 연소가 어려운 산소농도 15% 보다 높은 값을 나타내었다. 표 4에 실험재료의 산소지수를 나타내었다.

표4. 산소지수 결과

실험재료	쑥벽지	합지벽지	실크벽지	방염벽지	질석벽지	옥수수벽지
산소지수(%)	23.2	18.9	19.8	22.9	22.7	19.4

4. 결 론

이번 연구에서는 실내 내장재로 많이 사용되고 있는 벽지의 연소특성을 알아보기 위해 콘 칼로리미터시험기, 연기밀도 시험기와 산조지수 시험기를 이용하여 산소한계지수(LOI) 발화점 시험기를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 발열특성에서 열방출률은 쑥 벽지가 255.14kW/m²가 가장 높게 나타났고, 방염벽지 203.38kW/m², 옥수수벽지 197.40kW/m², 질석벽지 197.16kW/m², 실크벽지 164.47kW/m², 합지벽지 147.46kW/m²순으로 나타났고, 총발열량은 질석벽지 10.7kW/m², 쑥 벽지 8.5kW/m², 옥수수벽지 4.2kW/m², 실크벽지 3.8kW/m², 방염벽지 3.5kW/m², 합지벽지 2.5kW/m²순으로 나타났다.
- 2) 발열특성 결과 최대연기밀도가 방염벽지 130.8로 가장 높고, 쑥 벽지 88.15가 다음으로 높았으며 옥수수벽지 75.87, 질석벽지 56.46, 실크벽지 52.02, 합지벽지 48.63 순으로 나타났다. 이 결과 일반벽지보다 기능성 벽지의 연기밀도 값이 보다 높게 나타났다.
- 3) 착화시간과 발화온도의 측정 결과 질석벽지가 61s로 다른 벽지에 비해 최소 4배 이상 늦게 착화가 되었으며, 쑥 벽지 19s, 방염벽지 15s, 옥수수벽지 12s, 합지벽지와 실크벽지 11s의 순으로 나타났고, 발화온도는 합지벽지 274.3℃, 질석벽지 270.8℃, 방염벽지 256.3℃, 옥수수벽지 250.3℃, 쑥 벽지 246.3℃, 실크벽지 242.8℃순으로 나타났다.
- 4) 산소지수 측정 결과 기능성 벽지인 쑥 벽지의 산소지수가 23.2%로 가장 높게 나왔으

며, 방염 벽지 22.9%, 질석 벽지 22.7%, 실크 벽지 19.8%, 옥수수 벽지 19.4%, 합지 벽지 18.9%로 나타났다.

참고문헌

1. 박미라 (2003). “벽재의 종합적 화재위험성 평가에 관한 연구” 한국화재·소방학회 Vol. 17, No.1.
2. 오규형 (2007). “내장벽지의 연소특성에 관한 연구” 한국화재·소방학회 Vol. 21, No.1.
3. ISO 5660-1 (2002). “Reaction-to-fire-tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1:Heat release rate(cone calorimeter method).
4. ASTM E 662. “Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials”.
5. ASTM D 2863-91. “Standard test method for measuring the minimum oxygen concentration to support candle-like combustion of plastics”.
6. 이춘하, 고덕근, 김영수, 우성천 (2003). “소방학개론” p.63.