

벽지의 종합적 화재 위험성 평가에 관한 연구 A Study on Total Fire Risk Assessment of Wallpapers

박미라[†] · 김광일 · 김태구

Mi-Ra Park[†] · Kwang-Il Kim · Tae-Gu Kim

인제대학교 보건안전공학과
(2003. 1. 21. 접수/2003. 2. 21. 채택)

요 약

본 논문에서는 벽지의 방염성능 및 열 안정성을 평가하고 연소가스인 CO, CO₂, HCN, HCl의 독성지수를 정량적으로 독성평가를 하여 벽지의 종합적 화재 위험성을 평가하였다. 방염성능은 방염성능기준인 45° 연소시험방법으로 열 안정성은 DSC분석과 TGA분석으로 평가하였다. 그리고 독성평가는 CO, CO₂, HCN, HCl 연소가스의 농도를 NIST N-GAS Model에 적용하여 독성지수로 평가하였다. 위의 평가로 얻은 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 방염성능 평가결과 방염한 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지는 방염성능기준에 적합한 것으로 나타났다. 둘째, 열 안정성 평가인 DSC 분석 결과 미방염한 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지가 방염한 것보다 상대적으로 저온부에서 발열개시가 되었으며, 더 많은 발열량을 내었으므로 열적으로 더 위험하였다. 그리고 TGA 분석 결과 미방염한 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지의 분해속도가 방염한 것보다 훨씬 빨랐으므로 열 분해 위험성이 더 크다고 판단된다. 셋째, 연소가스 독성평가 결과는 방염한 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지가 미방염한 것보다 독성지수가 더 높게 나타났다. 또한 종이벽지와 콜크벽지보다 PVC벽지가 상대적으로 독성지수가 더 높음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate flame retardant performance, thermal stability and toxicity of combustion gases for some commercial wallpapers. To evaluate flame retardant performance 45 degree combustion experiment method was used and thermal stability was evaluated using DSC and TGA apparatus(DSC-50/Shimadzu, TGA2050/TA Instruments Inc). Concentrations of CO, CO₂, HCN and HCl were measured with (GASTEC/Japan, MSA400 Gas Monitor/Inficon Inc) and toxicity indices using NIST N-Gas Model were applied to evaluate the toxicity of combustion gases. The evaluation produced the following results : First, paper, cork and PVC wallpaper treated with flame retardants were found to be suitable for flame retardant performance standards. Second, paper, cork and PVC wallpaper non-treated with flame retardants were shown to be relatively more hazardous because they had greater calorific values and a faster decomposition time than the flame retardant treated wallpapers. Third, the toxicity indices of non-treated wallpapers were found to be higher than those of treated wallpapers, and the toxicity index of PVC wallpapers was higher than those of paper and cork wallpapers.

Keywords : Fire risk, Flame retardant performance, Thermal stability, Toxicity of combustion gases, Paper wallpaper, Cork wallpaper, PVC wallpaper

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

1.1.1 연구 배경

지난 10년 간 화재건수는 매년 평균 8.6%씩 증가하

여 '92년도에는 17,458건이던 화재발생이 2001년도에는 36,169건의 화재가 발생하여 '92년보다 107.2% 증가한 것으로 나타났다. 사망자는 지난 10년간 연평균 0.3%의 증가율을 보였으며 2001년도에 516명의 사망자가 발생하여 '92년보다 1.2% 증가하였다.¹⁾ 그 대표적인 사고사례로, 경기도 화성군 씨랜드 청소년수련원 화재사고와 경기도 성남시 아미존 단란주점 화재사고

[†] E-mail: alfk1004@hanmail.net

를 들 수 있다. 두 사고의 경우 모두 가연성 실내내장재 및 마감재 사용으로 화염이 급속도로 전파되었고, 엄청난 연기발생과 동시에 유독가스 발생으로 인해 엄청난 인명피해와 재산피해를 입게된 참사였다. 화재시 가연성 실내마감재들은 화염을 급속히 진전시키고, 다량의 유독가스가 발생되어 치명적인 손상을 일으킨다.

국내에서는 KS F2271(건축물의 내장재 및 구조의 난연성 시험방법)에 의하여 불연재료, 준불연재료 및 난연재료 등 상대적인 분류 등급을 정하고 방염성능 평가에 의하여 연소성을 기준으로 적합 및 부적합을 판정하고 있으나 재료의 유독성 가스 방출량보다는 가연성 또는 불연성을 근거로 분류하고 있는 실정이다. 그러므로 연소시 유독성 가스에 관한 위험성을 기준한 상대적인 등급 평가방법이 필요하다.

외국의 연소가스 독성 평가방법에 관해서 살펴보면 다음과 같다.²⁾ 미국의 경우 1986년 New York주의 최초 연소생성물 규제를 시작으로 해서 건자재, 플라스틱제품, 섬유류를 대상으로 LC₅₀과 CO, HCN, CO₂, 등을 측정해서 상대적인 평가를 하는 NIST(미국표준기술연구소) 독성시험 방법 제도가 있다. 일본의 경우 방염제품 및 방염제의 품질을 인정할 때 화재에 대하여 인체의 안전성을 확보할 목적으로 방염협회의 방염제품인정위원회에서 각 제품(특히 의복류, 침구류 및 Upholstered furniture)에 대하여 사용범위를 고려하여 LD₅₀, 발암시험, 피부자극성 등 독성시험 방법 제도가 있다.

기존의 연구를 보면 마감재인 벽지에 관한 CO의 유독성평가는 다른 유독성가스를 고려하지 않아서 미흡한 점이 많고,³⁾ 화재위험을 예방하기 위해서 방염제품이 많이 생산되어 방염성능 평가가 소방법에 의해서 일부 적용되고 있으나 방염으로 인한 유독성은 고려되고 있지 않는 실정이다. 따라서 벽지에 관한 종합적 화재 위험성 평가에 관한 연구가 필요하게 되었다.

1.1.2 연구 목적

화재시 발화가 용이하고 유독성 가스가 다량 방출되는 가연성 실내마감재의 무분별한 사용으로 대량의 인명피해가 발생되었다. 따라서 실내마감재에 대한 안전성 확보와 신뢰성 있는 안전성 평가 자료의 확보가 매우 중요하다. 국내에서 최근 발생한 화재참사의 대부분을 살펴보면 연소가스에 의한 질식사(사망원인)로 판명됨에 따라 연기발생농도와 연소가스 유해성이 가장 중요한 평가요소로 부각되고 있다.⁴⁾ 이러한 이유 때문에 실내마감재 중에서 벽지에 대한 화재의 정량적 위험성 평가 자료가 요구되지만, 실제적으로 부족한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 벽지의 방염성능 및 열 안정성을 평가하고 연소가스인 CO, CO₂, HCN, HCl의 독성지수를 정량적으로 평가를 하여 벽지의 종합적인 화재 위험성을 평가하였다.

2. 연구 범위 및 방법

2.1 연구범위

본 논문에서는 실내마감재 종이벽지, 콜크벽지, PVC 벽지의 미방염·방염 처리된 제품을 시료로 몇 가지 실험을 통해 방염성능 평가와 열 안정성 및 연소가스의 유독성에 대해 알아보았다.

첫 번째, 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지에 대한 방염성능을 평가하기 위해 소방법 제11조에 규정되어 있는 방염성능기준인 45° 연소실험방법으로 하였다.

두 번째, 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지에 대한 열적 특성을 정확히 파악하기 위해서 DSC(시차주사열량계)와 TGA(열중량분석계)를 이용해 열분석 실험을 실시하였다.

마지막으로 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지의 연소시 발생하는 유독가스를 측정해서 NIST(미국표준기술연구소)의 N-GAS Model을 이용해서 독성지수(Tx)로 정량화 하여 독성가스 위험성을 평가하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 실험재료

본 논문의 실험 재료로 사용된 제품은 신호제지의 방염종이벽지와 콜크하이텍의 콜크벽지(콜크 + 방염종이), 방염콜크벽지(방염콜크 + 방염종이)와 (주)대동벽지의 종이벽지, PVC벽지, 방염 PVC벽지이다. 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지는 미방염과 방염으로 된 두 가지를 시료로 사용하였다. 그리고 시료는 50±2°C인 항온건조기 안에서 24시간 건조한 후 실리카겔을 넣은 데시케이터 안에 2시간 동안 방치해둔 상태에서 각 실험방법에 맞는 적정량과 크기를 취해 사용하였다.

2.2.2 실험방법

(1) 방염성능 평가 방법 및 기준

방염성능 평가는 소방법 제11조에 규정된 45° 연소 실험방법으로 했으며, 벽지(한국산업규격 KS M 7305)⁵⁾의 난연성 시험법을 참조해서 측정하였다. 실험방법은 준비된 각 시료를 시험체 받침틀 안에 느슨하지 않게 고정시킨 후 버너의 불꽃 길이가 45 mm가 되도록 한 뒤 불꽃 끝이 시료(시험체) 중앙하단에 접하도록 하였다. 탄화길이는 시험체의 탄화부분에서의 최대 길이로 하였다. 그리고 가열은 시료에 대해 1분간, 이 경우 가

열시간 중에 착염하는 시료에 대해서는 착염한 후부터 3초 후에 버너를 제거하였다. 그리고 방염성능 평가 기준은 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리며 연소하는 상태가 그칠 때까지 시간은 20초이내, 버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리지 아니하고 연소하는 상태가 그칠 때까지 시간은 30초이내, 탄화한 면적은 50제곱센티미터이내, 탄화한 길이는 20센티미터이내, 불꽃에 의하여 완전히 녹을 때까지 불꽃의 접촉횟수는 3회이상이다.

(2) 열 안정성 평가⁶⁾

(a) 시차주사열량계(DSC)

본 실험에서 실내마감재인 벽지(종이벽지, 방염종이벽지, 폴크벽지, 방염폴크벽지, PVC벽지, 방염PVC벽지)에 대한 열 안정성을 조사하기 위해 시차주사열량계(DSC)[Model : Shimadzu DSC-50, JAPAN]를 이용하여 발열개시온도, 발열최고온도, 발열종료온도 및 발열량 등을 측정하였다. 승온속도를 15°C/min으로 일정하게 한 상태에서 500°C까지 DSC 분석을 실시하였다.

(b) 열중량분석기(TGA)

본 실험에서 실내마감재인 벽지의 열분해 위험성을 평가하기 위해 열중량 분석기(TGA)[Model : TA Instruments Inc. 2050 Thermogravimetric Analyzer]를 이용하여 분해개시온도 및 무게감량을 측정하였다. 승온속도를 15°C/min으로 일정하게 해서 시료의 분해에 따른 무게감량을 측정함으로써 분해개시온도나 분해특성을 480°C까지 TGA로 분석하였다.

(3) 연소가스 독성 평가

(a) 실험장치 및 방법

연소 가스의 측정 실험에 있어서 플라스틱 연소가스의 측정방법(한국공업규격 KS M 3047-1993)을 참조했고,⁷⁾ 일정 크기의 시료를 태운 후 GASTEC 검지관과 Gas Monitor[Model : MSA400 gas monitor, (주)인퍼트론]를 이용해 CO, CO₂, HCN, HCl의 농도를 측정하였다.

(b) 연소가스 독성 평가 방법

종이벽지, 방염종이벽지, 폴크벽지, 방염폴크벽지, PVC벽지, 방염PVC벽지에 관한 연소독성을 평가하고자 화재 발생시 연소가스 독성(급성)의 위험성 평가인 NIST의 N-GAS Model을 이용하였으며 식 (1)에 나타내었다.^{8,9)} 그 기본적인 방법은 화재생성물의 독성을 전부 합산하고 전체의 독성을 독성지수로 정량화 하는 것이다.

$$T_x = \sum \frac{C_j}{LC_{50}} \quad (1)$$

Table 1. LC₅₀ concentration of combustion gases for 30 minutes¹¹⁻¹³⁾

Combustion gases	Concentration	30 minutes LC ₅₀ (ppm)
CO		4,600
CO ₂		18,000
HCN		110
HCl		5,278

여기서 C_j : 연소가스 j의 농도(ppm)

LC₅₀ : 한정된 노출시간까지 동물의 50%가 사망하는 연소가스의 농도(ppm)

본 논문에서는 CO, CO₂, HCN, HCl 4가지를 기준 되는 유독성 가스로 정하고 위의 식 (1)을 이용해서 독성지수(T_x)를 (2) 식과 같이 표현하였다.¹⁰⁾

$$독성지수(T_x) = \frac{C_{CO}}{(LC_{50})_{CO}} + \frac{C_{CO_2}}{(LC_{50})_{CO_2}} + \frac{C_{HCN}}{(LC_{50})_{HCN}} + \frac{C_{HCl}}{(LC_{50})_{HCl}} \quad (2)$$

여기서 C_{CO}, C_{CO₂}, C_{HCN}, C_{HCl} : 각 연소가스의 분석 농도(ppm)

LC₅₀ : 한정된 노출시간까지 동물의 50%가 사망하는 연소가스의 농도(ppm)(Table 1)

Table 1은 한정된 노출시간(30분)까지 동물(rat)이 연소가스(CO, CO₂, HCN, HCl)에 노출되었을 때 50%가 사망하는 농도를 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 방염성능 평가

방염성능 평가 결과는 Table 2와 같다. 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지를 방염과 미방염으로 구분해서 방염성능을 측정한 결과 방염한 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지는 탄화길이 -4~6.3 cm, 탄화면적 -11.7~18.4 cm², 잔염시간 -0~1초, 잔진시간 -0초로 방염성능 기준에 적합한 것으로 분석되었다. 따라서 방염된 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지가 화재시 방염성능을 갖고 있음을 알 수 있었다. 그러므로 실제 화재시 화염전파가 지연되어 화재 예방하는데 좋을 것으로 사료된다.

3.2 열 안정성 평가

종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지에 대한 열 안정성을

Table 2. Results of flame retardant performance

Measure		Carbonization length (cm)	Carbonization area (cm ²)	Rresidual flame time (s)	After glow time (s)	Note
Paper	Mean	35	875	43.3	0	Occur soot around carbonized samples when applied heat for 1minute.
	SD	0	0	2.91	0	
FR Paper	Mean	6.3	18.4	0	0	After fire adheres, when removed burner after 3 seconds, 100% of samples disappeared.
	SD	0.14	0.9	0	0	
Cork	Mean	30	593	116.7	121.7	Occur soot around carbonized samples when applied heat for 1minute.
	SD	0.94	5.45	2.72	2.72	
FR Cork	Mean	5.5	12.5	0	0	Occur soot around carbonized samples when applied heat for 1minute.
	SD	0.08	1.16	0	0	
PVC	Mean	35	875	56.7	0	After fire adheres, when removed burner after 3 seconds, 100% of samples disappeared.
	SD	0	0	0	0	
FR PVC	Mean	4	11.67	1	0	Occur soot around carbonized samples when applied heat for 1minute.
	SD	0.16	0.68	0	0	

FR : Flame retardant, SD : Standard deviation.

Table 3. Mean results of thermal stability using DSC

Sample Name		Temperature(°C)			Peak time (min)	Sample Weight(mg)	Heat Power (mW/mg)	Heat (KJ/g)
		Onset	Peak	Endset				
Paper	Mean	306.77	368.05	456.06	25.91	5.0	7.56	4.46
	SD	0.18	0.44	0.02	0.01	0	0.09	0.05
FR Paper	Mean	303.45	374.28	466.16	26.66	5.0	4.87	3.85
	SD	0.07	0.27	0.45	0.25	0	0.09	0.09
Cork	Mean	342.81	431.62	468.69	30.73	5.0	8.81	6.96
	SD	0.48	0.20	0.22	0.06	0	0.12	0.03
FR Cork	Mean	399.63	468.50	469.64	37.84	5.0	5.92	5.19
	SD	0.09	0.27	0.28	0.08	0	0.07	0.04
PVC	Mean	292.43	458.50	465.70	32.36	5.0	8.57	5.30
	SD	0.31	0.31	0.18	0.03	0	0.23	0.14
FR PVC	Mean	312.85	461.66	468.48	33.89	5.0	4.98	3.58
	SD	0.47	0.19	0.28	0.06	0	0.04	0.05

FR : Flame retardant, SD : Standard deviation.

조사하기 위한 시차주사열량계(DSC) 분석 결과는 Table 3과 같다. 미방염한 벽지가 방염벽지보다 열량값(Heat)이 약 0.3배 가량 더 많은 발열량을 냈고(Fig. 1), 발열개시 온도는 거의 비슷하거나 저온부에서 나타났다. 따라서, 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지의 경우 방염한 것보다 미방염이 발열개시온도가 비슷하거나 낮으며, 발열량이 많아 열적 위험성이 더 크다는 것을 알 수 있

었다.

그리고 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지의 열분해 위험성을 조사하기 위한 열중량 분석(TGA)의 결과는 Table 4와 같다. 480°C까지 무게감량은 미방염한 벽지가 방염벽지에 비해서 더 많은 것으로 나타났으며, 분해속도도 미방염한 벽지가 방염벽지보다 더 빠른 것을 알 수 있었다(Fig. 2). 따라서 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽

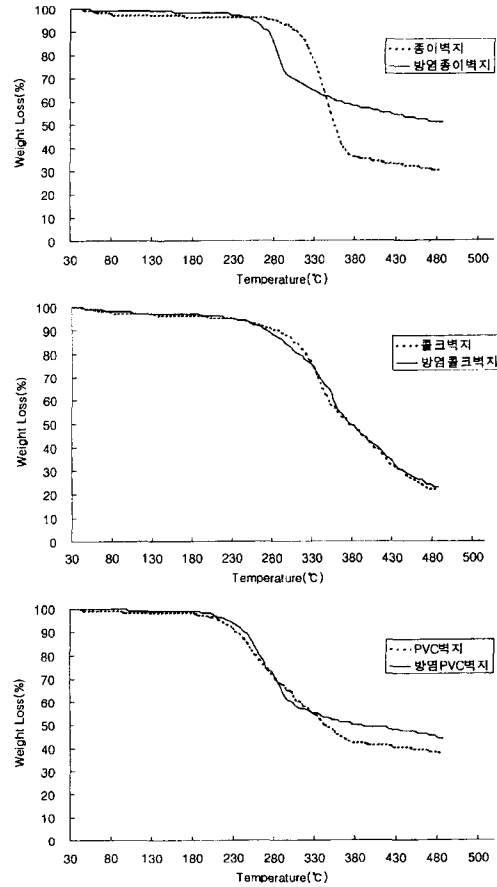
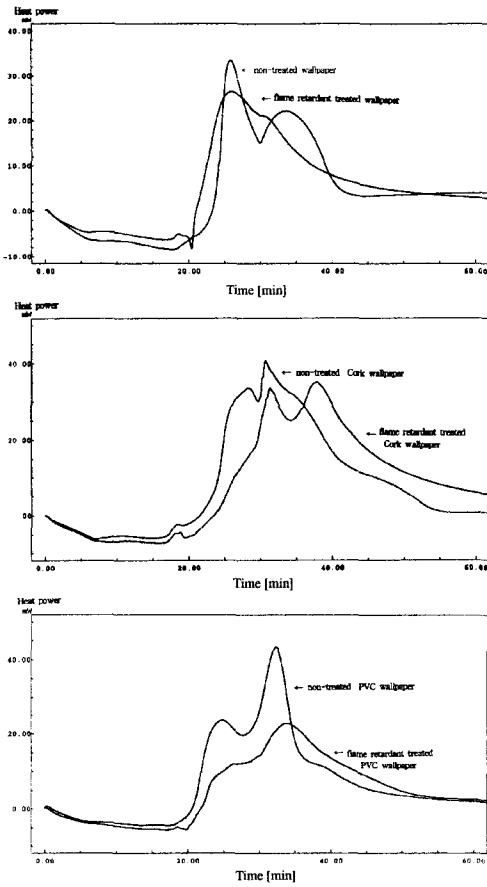


Fig. 1. Comparison of heat power between flame retardant treated and non-treated wallpapers.

Fig. 2. Comparison of weight loss between flame retardant treated and non-treated wallpapers.

Table 4. Mean results of weight loss using TGA (Unit : °C)

Samples	Weight loss	10%	20%	30%	40%	50%	55%	60%	Weight loss at 480°C
		loss	loss	loss	loss	loss	loss	loss	
Paper	Mean	305.30	323.70	335.14	343.53	352.30	356.68	362.65	70%
	SD	0.37	0.52	0.15	0.31	0.27	0.27	0.38	-
FR Paper	Mean	270.53	282.98	300.19	360.53	480.51	-	-	50%
	SD	0.24	0.28	0.26	0.25	0.4	-	-	-
Cork	Mean	278.77	319.52	334.71	348.51	376.53	392.31	406.47	79%
	SD	0.33	0.42	0.07	0.24	0.09	0.2	0.42	-
FR Cork	Mean	273.48	309.46	336.56	352.69	375.29	391.31	407.48	76%
	SD	0.34	0.4	0.45	0.46	0.4	0.38	0.31	-
PVC	Mean	231.98	256.57	281.45	310.79	341.84	360.51	438.34	63%
	SD	0.53	0.37	0.34	0.47	0.23	0.46	0.53	-
FR PVC	Mean	241.15	260.78	280.23	298.89	381.72	469.27	-	56%
	SD	0.65	0.37	0.49	0.45	0.44	0.45	-	-

FR : Flame retardant, SD : Standard deviation

지의 경우 방염한 것보다 미방염한 것이 무게 감량 분해속도가 더 빠르므로 열적 분해 위험성이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

그러므로 열적으로 안정하고 방염한 종이벽지, 콜크벽지, PVC벽지는 실제 화재가 발생한다면 화염의 전파가 지연되어 대형 화재를 예방하는데 좋을 것으로 사료된다.

3.2.3 연소가스 독성 평가

벽지에 대한 CO, CO₂, HCN, HCl의 연소가스 독성 평가를 위해 NIST의 N-GAS Model을 이용해서 독성지수(Tx)를 정량화한 결과는 Table 5와 같다. 미방염한 종이벽지의 독성지수(Tx)는 1.13, 방염한 종이벽지의 독성지수(Tx)는 1.94를 나타냈고, 미방염한 콜크벽지의 독성지수(Tx)는 1.48, 방염한 콜크벽지의 독성지수(Tx)는 2.09를 나타냈다. 또한 미방염한 PVC벽지의 독성

지수(Tx)는 4.33을 나타냈고, 방염한 PVC벽지의 독성지수(Tx)는 4.60을 나타내었다. 그러므로 연소가스의 독성 측면에서 볼 때, 오히려 방염제가 첨가된 제품에서 독성지수가 더 높은 것으로 나타나므로 유독성 가스에 의한 인명피해를 유발시킬 수 있을 것으로 생각된다.

그리고 벽지에 대한 방염성능과 열 안정성 및 독성 평가에 대한 종합적 결과를 분석해보면 다음과 같다 (Table 6). 벽지를 방염과 미방염으로 구분하면 방염한 벽지가 상대적으로 열에는 안정하나 독성지수가 약간 높게 나타났다. 그리고 재질에 따라 구분했을 경우 열적 위험성은 콜크벽지>종이벽지>PVC벽지 순으로 나타났고, 독성지수로 PVC벽지>콜크벽지>종이벽지 순으로 나타났다. 또한 연소가스의 위험성 정도를 독성지수에 따라 등급으로 산정한 결과는 미방염 PVC벽지

Table 5. Results of toxicity index using CO, CO₂, HCN and HCl

Samples	Combustion gases				Toxicity index (Tx)
	CO	CO ₂	HCN	HCl	
Paper	0.16	0.97	-	-	1.13
FR Paper	0.26	0.83	0.84	0.01	1.94
Cork	0.14	0.97	0.36	0.01	1.48
FR Cork	0.16	0.52	1.40	0.01	2.09
PVC	0.10	1.02	3.13	0.08	4.33
FR PVC	0.14	0.50	3.85	0.11	4.60

FR : Flame retardant.

Table 7. A division of hazard class by toxicity index

Hazard class	Toxicity index extent	Hazard responses
0	0.4 below	None
1	0.4~1.5	A litter hazard
2	1.5~2	Hazard
3	2~4	Heavy hazard
4	4 above	Severe hazard

1. Cj is responses of CO, CO₂, HCN, HCl¹⁴⁻¹⁶.
2. LC₅₀ is 30 minutes LC₅₀ concentration of combustion gases (Table 1).
→Calculate toxicity index of 1,2 and divide hazard class according to hazard responses

Table 6. Results of flame retardant performance, thermal stability and toxicity

Samples	Flame retardant performance	Thermal stability (Heat/Loss)	Toxicity (Toxicity index)	Note
Paper	×	4.46 kg/J 70%	1.13	Thermal stability ↓ Toxicity index ↓
FR Paper	○	3.85 kg/J 50%	1.94	Thermal stability ↑ Toxicity index ↑
Cork	×	6.96 kg/J 79%	1.48	Thermal stability ↓ Toxicity index ↓
FR Cork	○	5.19 kg/J 76%	2.09	Thermal stability ↑ Toxicity index ↑
PVC	×	5.30 kg/J 63%	4.33	Thermal stability ↓ Toxicity index ↑
FR PVC	○	3.58 kg/J 56%	4.6	Thermal stability ↑ Toxicity index ↑

FR : Flame retardant.

와 방염PVC벽지가 4등급으로 대단히 위험으로 나타났고, 방염 폴크벽지가 3등급으로 매우 위험으로 방염종이벽지는 2등급으로 위험으로 나타났다. 마지막으로 미방염 종이벽지와 폴크벽지가 1등급으로 약간 위험으로 나타났다(Table 7).

따라서 화재예방을 위해서 방염처리를 할 경우 방염 성능의 적합성 유무와 더불어 열 안정성, 연소가스 유독성에 관한 종합적인 평가를 실시하는 것이 바람직하다고 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 실내마감재로 많이 사용되는 벽지 중에서 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지의 방염성능을 평가하고 열분석 실험을 통한 열 안정성 및 연소가스의 농도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 방염성능 평가결과 방염한 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지는 방염성능 기준에 적합하였다.

2) 열 안정성 평가인 DSC 분석 결과 미방염한 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지가 방염한 것보다 상대적으로 저온부에서 발열개시가 되었으며, 더 많은 발열량을 내었으므로 열적으로 더 위험하였다. 그리고 TGA 분석 결과 미방염한 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지의 분해속도가 방염한 것보다 훨씬 빨랐으므로 열 분해 위험성이 더 크다고 판단된다.

3) 연소가스 독성평가 결과는 방염한 종이벽지, 폴크벽지, PVC벽지가 미방염한 것보다 독성지수가 더 높게 나타났다. 또한 종이벽지와 폴크벽지보다 PVC벽지가 상대적으로 독성지수가 더 높음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. "2001화재통계백서", 행정자치부, pp.11(2002).
2. 이형섭, "각국의 연소생성물 독성기준에 관한 고찰", 방재기술, pp.31-39(1988).
3. 함성근, 김 홍, 김운형, "아파트 마감재의 연기유독성", 한국화재소방학회, Vol. 15, No. 3, pp.36-43(2001).
4. 박형주, 광동일, "다중이용업소에서 사용하는 실내장식재에 대한 방화·방염제도 개선에 관한 연구", 한국화재소방학회, Vol. 15, No. 3, pp.47-54(2001).
5. Wall Paper and Wall Covering for Decorative Finish, KSM 7305(1994).
6. 김영범, 송석정, "열분석기기(DSC, DTA, TGA, TMA)의 원리 및 응용", 고분자과학기술, Vol. 4, No. 5, pp.387-397(1993).
7. "Method for Measuring Smoke Density and Concentration of Gases Evolved by Incineration or Decomposition of Plastics", KSM 3047(1993).
8. Archibald Tewarson, "Correlation for the Generation of Carbon Monoxide in Small and Large Scale Fires", Ninth Meeting of the U.S./Japan Panel on Fire Research and Safety, May (1987).
9. Babrauskas, V., Levin, B.C. and Gann, R.G., "A New Approach to Fire Toxicity Data for Hazard Evaluation", ASTM Standardization News, September (1986).
10. 김광일, "실내화재의 특성에 관한 연구", pp.114-115 (1990).
11. Levin, B.C., Paabo, M., Bailey, C.S. and Harris, S.E., "Toxicity of the Combustion Products from a Flexible Polyurethane Foam and a Polyester Fabric Evaluated Separately and Together by the NBS(NIST) Toxicity Test Method", Fire Safety Science, Proceeding of the First International Symposium, Hemisphere Publishing Corporation, New York, NY, p.1111(1986).
12. Levin, B. C. *et al.*, "Effects of Exposure to Single or Multiple Combinations of the Predominant Toxic Gases and Low Oxygen Atmospheres Produced in Fires", Fundamental and Applied Toxicology 9, pp.236-250(1987).
13. Bernard Martel, "Chemical Risk Analysis A Practical Handbook", Taylor & Francis, p.369 (2000).
14. Harord kapalan, Ph.D and Gordon E. Hartzell, Ph. D., Modeling of Toxicological Effects of Fire Gases, I. Incapacitating Effects of Narcotic Fire Gases, Journal of Fire Sciences, Vol. 2, pp.286-305 (1984).
15. Harrold L. Kaplan, Arthur F. Grand, Gordon E. Hartzell, Combustion Toxicology, Principles and Test Methods, Technomic Publishing Co., pp.7-67 (1983).
16. 화재에 대한 연소생성물의 독성에 관하여, 조사연구위원회의 보고서, Japan(1987).