



콘칼로리미터와 가스유해성 시험법을 이용한 카페트류의 연소특성 평가

Evaluation of the Burning Properties of Various Carpet Samples by using the Cone Calorimeter and Gas Toxicity Test

저자 (Authors)	이봉우, 권성필, 이장원, 이병호, 김희수, 김현중 Bong-Woo Lee, Seong-Pil Kwon, Jang Won Lee, Byoung-Ho Lee, Hee-Soo Kim, Hyun-Joong Kim
출처 (Source)	한국화재소방학회 논문지 23(6) , 2009.12, 1-9 (9 pages) FIRE SCIENCE AND ENGINEERING 23(6) , 2009.12, 1-9 (9 pages)
발행처 (Publisher)	한국화재소방학회 KOREAN INSTITUTE OF FIRE SCIENCE & ENGINEERING
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01368215
APA Style	이봉우, 권성필, 이장원, 이병호, 김희수, 김현중 (2009). 콘칼로리미터와 가스유해성 시험법을 이용한 카페트류의 연소특성 평가. 한국화재소방학회 논문지, 23(6), 1-9.
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.64.*** 2018/10/04 14:50 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

콘칼로리미터와 가스유해성 시험법을 이용한 카펫류의 연소특성 평가 Evaluation of the Burning Properties of Various Carpet Samples by using the Cone Calorimeter and Gas Toxicity Test

이봉우* · 권성필** · 이장원*** · 이병호 · 김희수 · 김현중†

Bong-Woo Lee* · Seong-Pil Kwon** · Jang Won Lee*** ·
Byoung-Ho Lee · Hee-Soo Kim · Hyun-Joong Kim†

*한국소방산업기술원 위험물안전부,

한국소방산업기술원 기술개발팀, *한국소방산업기술원 산업지원부,

서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공 농업생명과학연구원 바이로매스 기반 바이로소재 연구팀
(2008. 9. 22. 접수/2009. 12. 11. 채택)

요 약

본 연구에서는 나일론, 폴리프로필렌, PTT(poly(trimethylene terephthalate)), 양모(wool), 그리고 나일론/양모로 이루어진 5 종류의 카펫에 대한 연소거동을 열류량 50kWm²의 콘 칼로리미터를 이용하여 평가하였으며, 가스유해성 평가는 KS F 2271의 시험방법에 따라 평가하였다. 콘 칼로리미터 실험결과 나일론 카펫은 쉽게 불이 붙는 것을 알 수 있었다. 점화 정도 혹은 초기 가연성은 나일론/양모로 이루어진 카펫이 가장 높은 값을 나타냈다. 불의 세기인 열방출량은 폴리프로필렌 카펫이 가장 큰 것으로 나타났다. 나일론 카펫이 가장 높은 연기 발생량을 보인 반면, 나일론/양모로 이루어진 카펫은 가장 낮은 가스 발생량을 나타냈다. 질량 감소율은 나일론/양모 > 양모 > 나일론 > 폴리프로필렌 > PTT 카펫 순으로 나타났다. 연소 시 발생하는 유해성 가스인 일산화탄소의 경우 PTT에서 가장 많은 발생량을 보였으며, 나일론과 양모로 이루어진 카펫에서 가장 적은 양이 발생했다. 이산화탄소의 발생량은 폴리프로필렌이 가장 높았으며, 나일론/양모 카펫에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 쥐의 행동정지시간을 통해 살펴 본 결과 카펫류의 가스유해성은 PTT 카펫이 가장 해로운 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In this study, the burning behaviours of five different kinds of carpet samples covered with nylon, PP (polypropylene), PTT (poly(trimethylene terephthalate)), wool fabric and NW (nylon and wool) were evaluated by using the cone calorimeter having a radiant flux of 50kW/m². And the combustion gas toxicity was evaluated according to KS F 2271 test method. As a result of the cone calorimeter test (KS F ISO 5660-1), nylon carpet samples were ignited most easily. In ignition ability or initial flammability, NW carpet samples showed the highest value. In heat release rate (HRR), fire intensity, PP carpet samples were larger than any other samples. Nylon carpet samples were the highest smoke production rate, while N/W carpet samples the lowest. The following were in mass loss rates: NW > wool > nylon > PP > PTT. CO (carbon monoxide) was one of the most toxic gases released from the combustion. PTT carpet samples gave rise to the highest CO concentration, while NW carpet samples the lowest. In addition, PP carpet samples caused the highest CO₂ (carbon dioxide) concentration, while NW carpet samples the lowest. Toxicity of the gas produced from carpet samples was determined by the mouse stop motion, and it resulted in the fact that the combustion gas of PTT carpet samples was more toxic than that of any other samples.

Key words : Cone calorimeter, Flame retardancy, Smoking emission, Toxicity

† E-mail: hjokim@snu.ac.kr

1. 서 론

최근 들어 편리하고 안락한 생활을 추구하려는 개인의 욕구가 증가함에 따라 건축물의 실내장식재가 점차 고급화 및 다양화되어 가고 있고, 그로 인해 건축물의 잠재 화재위험도는 점점 더 높아지고 있어서, 그에 대한 보다 정확한 예측이 요구되고 있는 실정이다. 건축 방화에 대한 연구는 내화 구조나 방화재 등을 사용한 피난로 확보 및 방화구획 설정에 의해 화재로부터 인명을 보호하고 재산 피해를 줄이는데 그 목적이 있다. 국내의 실내 내장재와 관련된 화재안전 관리규정은 건축법과 소방법 등에 들어있다.

건축법에서는 출화·화염확대방지 및 피난안전을 도모하기 위해 일정규모 이상의 건축물에 사용되는 내부 마감재료에 대하여 불연·준불연재료 및 난연재료를 사용하도록 의무화하고 있다.¹⁾ 그러나 건축물 내부 마감재²⁾ 적용범위가 모든 '실내 마감·장식·치장재 등에 미치지 못하고 건축물 내부의 천장, 반자, 벽 기둥' 등에 부착되는 자재로 규정하는 것으로 한 구조체에 밀착되어 있는 마감재에 한정되어 있고 준공 후 추가적으로 설치되는 실내 마감·장식재에 대한 방화·방염규제는 없다. 하지만 이러한 실내장식재는 대부분 가연성 물질들로서 화재 시 심각한 위험에 빠질 수 있다. 실내장식재는 화재 발생 시 높은 온도의 열기와 다량의 연기 및 독성 가스를 방출함으로써 인명 및 재산피해를 가중시킨다.³⁾ 화재는 필연적으로 많은 에너지를 발생시키는데 이러한 에너지는 열로 발생하게 된다. 발생한 열에 의해 사람의 피부는 통증을 느끼고 화상을 입으며 심할 경우 행동 불능에 빠지고 사망에까지 이르게 한다. 또한, 화재로 인한 인명피해의 주요 원인은 소위 "화재의 2차 효과"라고 불리는 연기 및 유해가스 흡입으로 인한 질식, 국부 폐 손상, 중독성 전신마비 등에 의한 사망 사고로서 이로 인한 사망자 수는 화재로 인한 전체 사망자 수의 70~80%에 달하는 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ 더욱이 유기합성재료로 된 건축용 실내장식물의 사용 증가로 화재 시 유해가스로 인한 사

망자 또한 증가하고 있다. 2003년 대구지하철 사건이나 1999년 인천노래방 화재사건의 경우가 그 대표적인 예이다. 특히 인천노래방 화재사건의 경우에는 복도에 설치된 우레탄폼 합성수지가 연소되면서 발생한 유독가스로 인한 질식사 사망이 많은 것으로 밝혀졌다.

외국에서는 합성섬유 및 합성수지의 연소가스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 프랑스에서는 일정규모 이상 건축물에서 합성재료를 25% 이상 사용할 경우 연소가스 중 질소와 염소가스를 규제하고 있다. 우리나라에서도 합성섬유나 합성수지에 대한 연소가스의 유해성에 대해서는 여러 편의 연구 결과가 발표되었지만, 실제 사용되어지는 건축 내장용 실내장식물의 연소가스에 대한 연구에 대해서는 아직도 연구가 미흡한 상황이다.

화재가 발생하여 확대되면 실내장식재는 발화하여 연소하게 되고 가연성 물질인 실내장식재에서 발생하는 열, 연기 그리고 연기 속에 포함된 독성가스는 사람에게 매우 치명적이다. 따라서 실내장식재의 발열량, 발연량 및 연소가스에 대한 광범위한 시험연구와 그 결과에 대한 데이터베이스 구축이 화재안전을 위해서 필수적으로 요구된다.^{5,6)} 따라서 본 연구에서는 건축물 실내장식재 중에서도 바닥재를 콘 칼로리미터와 연기유해성 실험 장치를 통하여 화재 시 발생하는 열과 연기에 관하여 관찰하였으며, 가스유해성 시험을 통하여 가스의 유해성을 생물학적으로 평가하는데 의의를 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 건축용 실내장식재는 국내에서 가장 널리 쓰이는 카페트 5종을 사용하였다. 각각의 시편은 제조된 재료에 따라 나누었으며 구체적인 시편의 특징은 다음의 Table 1에 나타내었다. 시편의 크기와 무게는 콘 칼로리미터의 시험용 시편 사이즈를 나타내었다.

Table 1. Characteristics of Various Carpet Samples

Materials	Size (mm)	Weight (g)	Abbreviation
Nylon	100 × 100 × 8.7	32.3	Ny
Polypropylene	100 × 100 × 7.8	17.8	PP
Poly(trimethylene terephthalate)	100 × 100 × 6.1	20.4	PTT
Wool	100 × 100 × 9.1	29	Wool
Nylon + Wool	100 × 100 × 10	27.4	NW

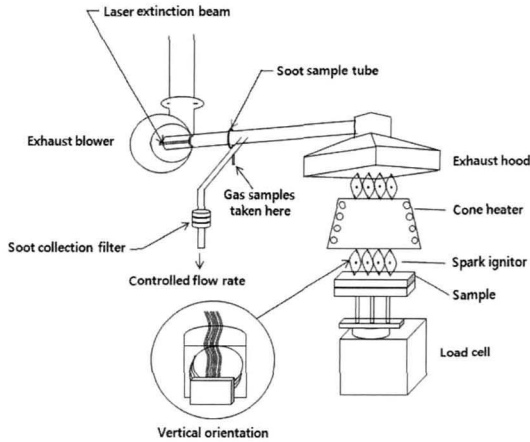


Figure 1. Schematic apparatus of the cone calorimeter.

2.2 실험방법

2.2.1 콘 칼로리미터 시험

본 연구에서는 건축용 내장재의 열방출률과 발생하는 연기량 등을 측정하기 위하여 콘 칼로리미터(Fire Testing Technology Ltd.)를 이용하여 측정하였다. 콘 칼로리미터 시험장치는 콘 형태의 복사전기히터, 시편의 질량을 측정하기 위한 무게 측정장치, 시편홀더, 산소 분석장치, 유량측정장치를 부착한 배출시스템, 스파크 점화회로, heat flux meter, 교정용 버너 등으로 구성되어 있다. 콘 칼로리미터 시험장치는 Figure 1에 나타냈으며 시험조건은 Table 2에 각각 나타내었다. KS F ISO 5660-1에 의거하여 측정하였으며 각 시편은 3개의 샘플의 평균값으로 산출하였다.

콘 칼로리미터 실험에 앞서 시편은 온도 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 5\%$ 에서 항량에 될 때까지 양생한다. 전처리된 시편은 알루미늄 호일로 비노출면을 감싸고 이때 호일의 반짝이는 면이 시편을 향하도록 한다. 실험 과정은 CO₂ 트랩과 최종 수분 트랩을 점검하고 필요

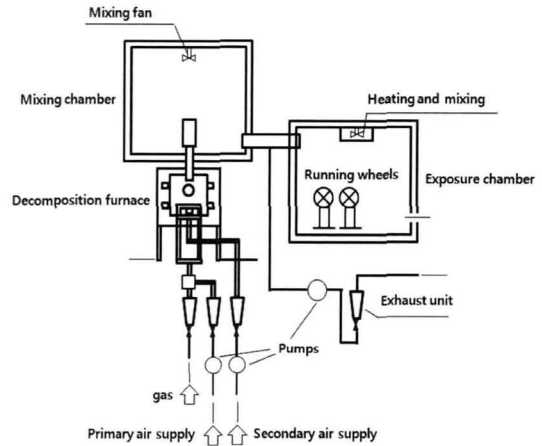


Figure 2. Tester for the combustion gas toxicity.

하다면 CO₂ 및 수분 제거제를 교체한다. 배출유량을 $0.027\text{m}^3/\text{s} \pm 0.002\text{m}^3/\text{s}$ 으로 설정한 다음 1분 동안 기준 데이터를 수집한다. 준비된 시편과 시편홀더를 질량측정장치 위에 놓고 실험을 실시한다. 실험이 진행되는 동안에는 지속적으로 데이터를 수집하고 3개의 시편에 대한 평균값을 통하여 결과를 산출하였다.

실험의 결과는 화재 시 최대 열방출률, 총방출열량, 평균 열방출률, 착화시간, 평균 질량감소율과 화재의 2차효과라 불리는 연기 발생은 평균 비광소멸면적, 평균 일산화탄소 생성률, 평균 이산화탄소 생성률을 이용하여 측정하였다.

2.2.1 가스유해성 실험

콘 칼로리미터는 가스의 발생량을 확인할 수 있다. 그러나 콘 칼로리미터는 연소 가스의 양을 측정할 수 있으나 유해성을 직접적으로 측정하는 방법은 아니다. 이에 본 실험에서는 연기의 유해성을 KS F 2271에 의거하여 쥐의 행동정지 시간을 바탕으로 측정하였다. 연

Table 2. Test Condition of the Cone Calorimeter

Test Method	Test Condition
Heating Method	Radiation, Mass Loss, Smoke Release, CO, CO ₂
Heating System	Cone Heater
Intensity Of Radiation	50kW/m ²
Heating Time	32 Minutes After Continuous Combustion
Size (mm)	100(W) × 100(L) × 50(H)
Flow System	Dynamic (Flow) System
Exhaust Flow Rate	0.024m ³ /s ± 0.002m ³ /s

Table 3. Method of Testing the Combustion Gas Toxicity

Test Method	Test Condition						
Heating Method	Tube Heater (9.5Ω), LP Gas						
Heating Condition	Time (min)	1	2	3	4	5	6
	Exhaust Temperature	70	85	100	140	170	195
Size (mm)	220 × 220, Thickness is under 50						
Emission Rate	10L/min						
Mouse	ICR, 8 Female Mouses						
Test Time	15 minutes						
Heating Time to Sample	6 minutes						

기유해성을 측정하는 시험장치는 Figure 2에, 시험조건은 Table 3에 나타내었다. 쥐의 평균 행동정지시간은 시험용 쥐(Ld000) 8마리의 평균을 사용하며 다음의 식을 통하여 측정하였다.⁸⁾

시험은 부열원으로 3분간 가열한 후, 다시 주열원으로 3분 가열하여야 한다. 공기는 가열 중에 한하여 공급하며, 그 공급량은 가열로의 1차 공급 장치에 의해 매분 3L, 2차 공급장치에 의해 매분 25L로 하였다. 피검 상자 배출장치에 의한 기체는 가열 중에 한하여 배출하며, 그 배출량은 매분 10L로 하였다. 가열 시험은 시작할 때 피검 상자 내의 온도는 30로 하고, 시험용 흰쥐를 1마리씩 넣은 회전 바구니 8개를 피검상자에 넣었다. 이후 가열을 시작하여 시험용 흰쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간을 측정하였다.

$$x = \bar{X} - \sigma$$

$$\bar{X} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 \cdots + x_8)}{8}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 \cdots + (x_8 - \bar{X})^2}{8}}$$

x는 마우스의 평균 행동정지 시간, \bar{X} 는 8마리의 마우스의 행동정지까지의 시간(마우스가 행동을 정지하지 않은 경우에는 15분으로 한다)의 평균값, σ 는 8마리의 마우스의 행동정지까지의 시간(마우스가 행동을 정지하지 않은 경우에는 15분으로 한다)의 표준편차로 하며 x의 값이 9 이상의 기준을 만족할 경우에 가스유해성 시험을 합격한 것으로 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 콘 칼로리미터 시험

카펫 5종에 대하여 콘 칼로리미터 실험을 실시하였

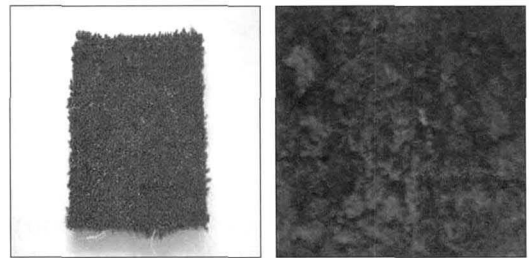


Figure 3. Nylon carpet specimen before and after a cone calorimeter test.

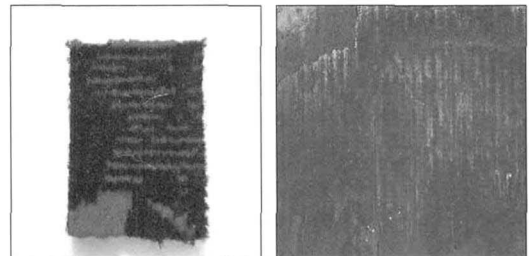


Figure 4. PP carpet specimen before and after a cone calorimeter test.

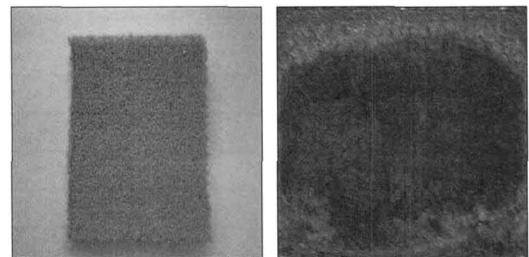


Figure 5. PTT carpet specimen before and after a cone calorimeter test.

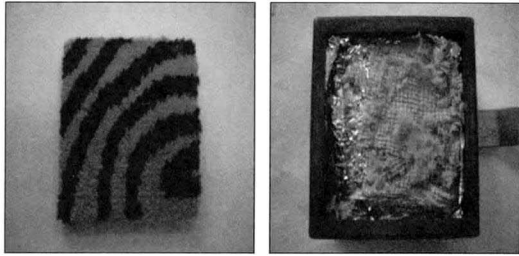


Figure 6. Wool carpet specimen before and after a cone calorimeter test.

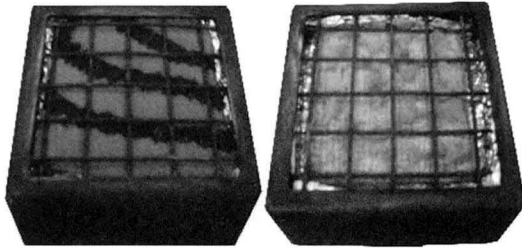


Figure 7. N/W carpet specimen before and after a cone calorimeter test.

으며, 실험 전·후의 시편에 대한 결과를 아래 Figure 3부터 Figure 7에 각각의 사진으로 나타내었다. 나일론 시험체와, PP 시험체 그리고 PTT 시험체의 경우는 색상이 검은색으로 변색되었으며, 양모와 NW 시험체에서는 상당 부분의 재료가 연소되었으나 잔유물이 남아 있는 것을 확인할 수 있었다.

3.1.1 착화시간

본 실험에서 착화시간은 50kW/m²의 heat flux로 콘칼로리미터를 이용하여 카페트류에 대한 착화시간을 측정하였다. Figure 8에서 살펴보면 나일론 및 양모 복합체(NW)가 다른 카페트에 비하여, 쉽게 착화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 나일론으로 이루어진 카페트의 경우는 착화시간이 54초로 다른 카페트보다 2배 이상의 착화 시간이 긴 것을 알 수 있었다. 이는 heat flux meter에 의한 착화가 표면 재질에 큰 영향을 받는 것을 나타낸다.

연소 시 착화시간 그 자체만으로는 물리적인 의미는 없지만 화재시 화재전과 위험성을 정상적으로 평가하는데 중요한 요소로 사용될 수 있다.

3.1.2 열방출 특성

카페트의 최대 열방출률과 평균 열방출률은 Figure

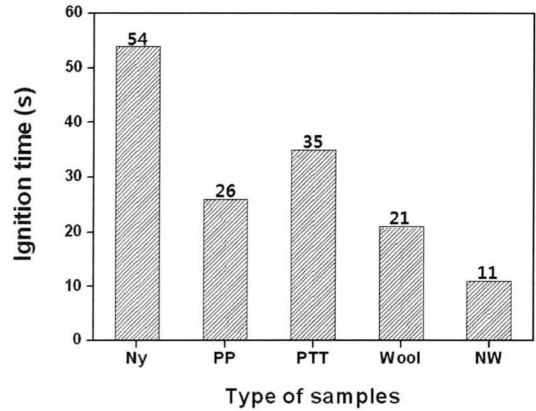


Figure 8. Ignition time of carpet materials.

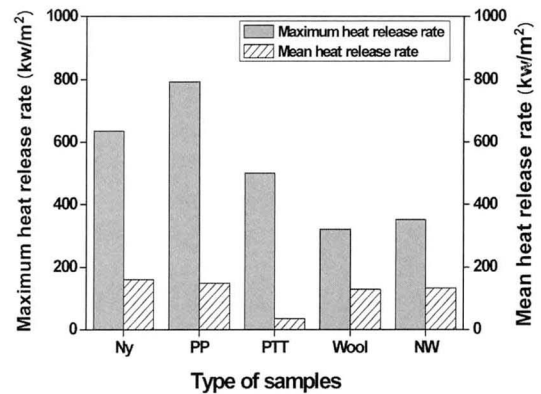


Figure 9. Maximum heat release rates and mean heat release of carpet materials.

9에 각각 나타내었다. 최대 열방출률은 PP 카페트가 가장 높은 값을 나타냈다. 반면 양모 카페트는 320kW/m²의 가장 낮은 열방출률을 나타냈다. PP 카페트가 가장 높은 열방출률을 나타낸 것은 PP의 경우 주 사슬 결합이 탄소-탄소 결합으로 이루어져 있어 쉽게 연소될 수 있으며⁹⁾, PTT의 경우 연소 시 char가 생산된다.

PTT와 유사한 구조의 polyester계의 poly(butylene threphthalate)의 경우에도 char가 생산되어 표면을 외부와 차단시키는 것을 확인할 수 있었다. 즉 아직 연소되지 않은 부분이 외부와 차단되어 난연성능을 높여주는 것이다.¹⁰⁾ 양모의 경우는 주로 동물성 섬유로 이루어져 있고 주성분이 아미노산으로 이루어져 있어 연소 시 최대 열방출률이 가장 적게 나타났다고 볼 수 있다. Figure 10는 시간에 따른 열방출을 나타냈다. 그림에서 PP 카페트의 경우는 초기에 발열량이 급속히

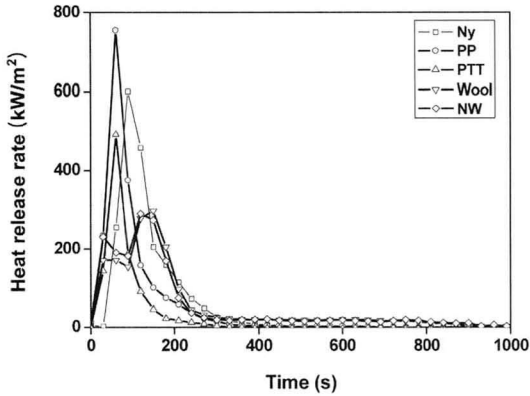


Figure 10. heat release rates of carpet materials.

감소되는 것을 통해 불꽃 연소 시간이 짧은 것을 알 수 있었다. PTT 카펫의 경우는 다른 카펫에 비해 발열량은 작지만 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 결과는 카펫 시편의 각각의 무게의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

카펫의 시간에 따른 총 발열량은 Table 4와 Figure 11에 나타났다. 총 발열량은 PP 카펫보다 나일론 카펫의 경우가 더 높은 총 발열량을 나타냄을 알 수

Table 4. Total Heat Release of Carpet Materials

Materials	Total Heat Release (MJ/m ²)
Ny	61.2
PP	55.0
PTT	30.2
Wool	59.3
NW	59.0

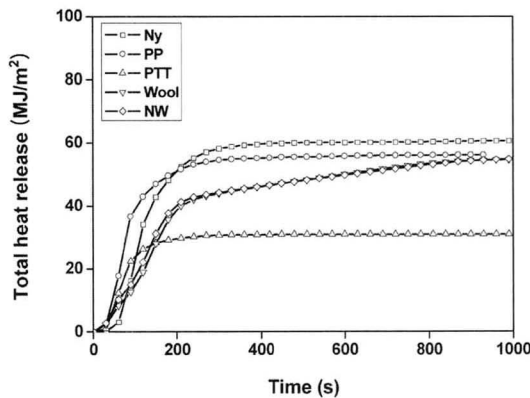


Figure 11. Total heat release of carpet materials.

있다. 이는 PP 카펫의 경우 착화 직후 순간적인 열 방출이 일어나 화재크기는 큰 반면, 불꽃 연소 지속 시간 동안의 총 발열량은 오히려 적은 것을 알 수 있다. PTT 카펫의 경우는 전체 카펫 중에서 가장 적은 총 발열량을 보였다. 양모 카펫의 경우 초기 착화 후 총 발열량이 급격히 증가하다가 감소하고 다시 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 초기 카펫 외부의 양모 부분이 착화 후 열을 방출하고, 곧바로 양모 재질 부분이 소진되고 그 직후 카펫 내부의 연소로 발열량이 다시 증가하는 것이다.

3.1.3 질량감소율

질량감소율은 시편이 착화된 시점으로부터 6분 동안의 질량 감소율의 평균값으로 결정하였다. Figure 12은 시간에 따른 질량의 변화를 그래프로 나타냈다. 각각의 카펫 재료에서 살펴보면, 초기의 질량 감소가 큰 것을 알 수 있었다. 이는 질량은 연소가 되면서 열방출이 일어나고 연소와 동시에 질량이 감소하는 것을 나타낸다. 양모 카펫을 제외한 나일론, PP, PTT 카펫의 경우는 초기 질량 감소율이 컸으며 PP 카펫의 경우는 1,000초 전후로 불꽃이 사라지고 연소가 급격히 진행되어 멈춘 것을 알 수 있었다. 질량감소는 총 발열량과 밀접한 관계가 있어 질량 감소율이 높은 물질은 그 만큼 높은양의 열을 방출하기 때문에 중요한 의미를 갖는다. 나일론 및 양모 복합카펫(NW)가 질량 감소율이 제일 크고, PTT소재 카펫이 최소의 질량 감소율을 보여주고 있다. 이는 시편의 분자구조와 밀접한 연관을 가지고 있다. PTT 고분자 경우 terephthalate로 이루어져 내열성이 높은 구조를 가지고 있다. 반면 양모는 케라틴이 주성분이며 케라틴은 아

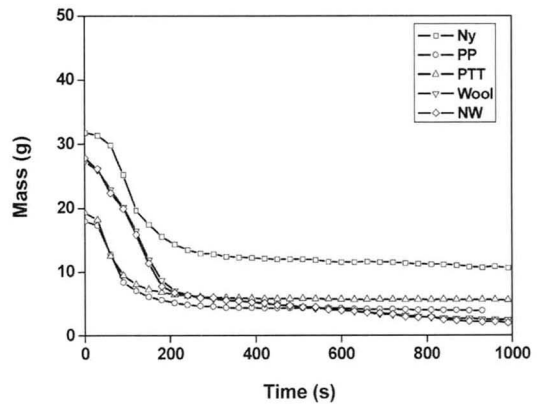


Figure 12. Mass of testing carpet materials.

미노산으로 이루어져 있기에 열에 약하고 쉽게 분해가 되는 특징을 나타낸다. 이러한 결과는 총 발열량과는 약간 차이를 나타내는데 이는 각 시편마다 단위 질량 당 발생하는 열량의 차이 때문인 것으로 판단된다.

3.1.4 연기 발생량

화재 시 발생하는 연기의 양은 착화에서 소화까지 발생한 전체 연기의 발생량을 Table 5와 Figure 13에 나타냈다. 나일론 카페트가 가장 많은 연기를 발생하였으며 나일론 및 양모가 혼합된 복합체(NW)가 가장 적은 연기 발생량을 나타냈다. 불완전 연소의 지표인 일산화탄소의 발생량은 PTT가 가장 높았으나 이산화탄소의 경우에는 PP가 가장 높은 발생량을 나타내었다.

3.1.4.1 일산화탄소 생성률

일산화탄소 생성율은 재료의 단위무게 당 일산화탄소가 생성된 비율로서 재료의 연기유해성 평가에서 핵심적인 위험요소이다. 이 가스분석은 다른 시험 장비인 가스전용 GC/MS나 콘 칼로리미터와 연결된 가스전용 FT-IR로 연속공정에 의한 분석도 가능하게 되었다.

이들의 일산화탄소 발생량은 Figure 14에서와 같이

Table 5. Total Gas Production of Testing Carpet Materials

Materials	Total Smoke Production (m ²)	Mean CO Yield (kg/kg)	Mean CO ₂ Yield (kg/kg)
Nylon	9.52	0.042	2.64
PP	7.29	0.052	3.54
PTT	8.74	0.068	3.09
Wool	8.98	0.032	1.79
N/W	6.37	0.029	1.67

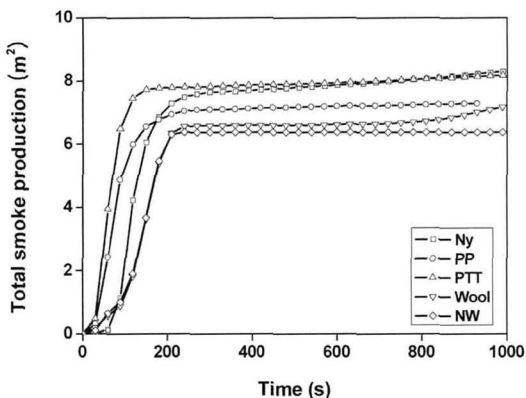


Figure 13. Total smoke production of testing carpet materials.

PTT > PP > N > Wool > NW 순으로 나타났다. 여기서 PTT는 질량 감소율은 가장 적게 나타나 열적으로 안정한 특성을 나타내었지만, 일산화탄소 방출량은 오히려 많았다. 이는 PTT 카페트의 경우 화재 시 검게 타게 되며 이는 불완전 연소로 많은 일산화탄소를 발생 시키게 된다. 즉 일산화탄소 중독에 쉽게 노출될 수 있는 재료라 판단된다. 반면 양모 카페트의 경우에는 최종적으로 질량 감소가 크고 연소가 많이 되지만 연소 과정에서는 일산화탄소의 발생이 적은 것을 확인할 수 있었다.

3.1.4.2 이산화탄소 생성률

이산화탄소의 발생량 또한 질식의 위험성이 크기 때문에 실내내장재의 가스유해성시험에서 중요하게 고려되어야 한다. 이산화탄소의 발생량은 Figure 15과 같이 PP > PTT > N > Wool > NW으로 발생하였다. 탄소와 수소의 결합으로 이루어진 PP의 경우 일반적으로 연소 시 다른 고분자 재료에 비해 이산화탄소의 발생량이

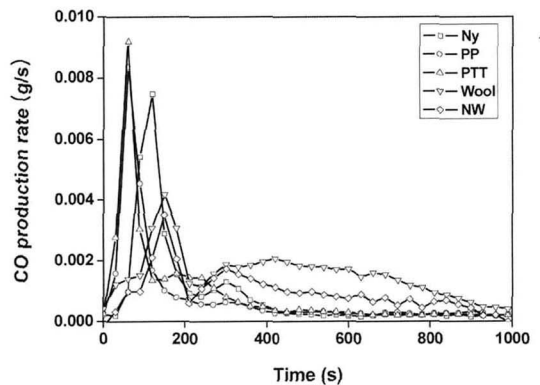


Figure 14. CO production of testing carpet materials.

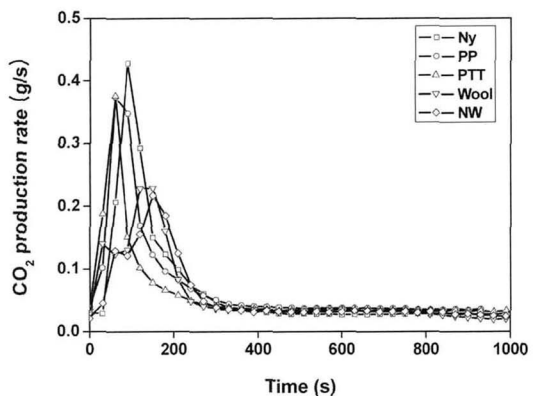


Figure 15. CO₂ production of testing carpet materials.

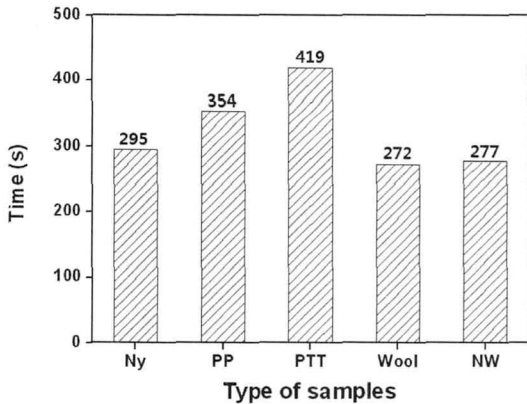


Figure 16. Lifetime of mouse in test of combustion gas toxicity.

높게 나타난다. 모든 종류의 카페트류의 이산화탄소 발생량은 열방출량과 비슷한 경향을 나타냈는데 이는 카페트를 구성하는 성분은 주로 탄소를 바탕으로 한 유기화합물이고 유기화합물은 연소 시 이산화탄소를 배출하기 때문이다.

3.2 가스유해성 평가

쥐를 이용한 카페트류의 가스유해성 평가를 Figure 16에 나타냈다. 쥐의 행동정지 시간은 앞선 가스 발생량과는 다소 다른 결과를 타나냈다. 일반적인 일산화탄소의 농도가 질식에 관련이 있으나 쥐의 행동정지 시간을 살펴볼 때 발생한 가스 중 일산화탄소 이외의 생성 가스가 쥐의 행동정지 시간에 영향을 미쳤다고 판단된다. 결과적으로 쥐의 행동정지시간으로 가스의 유해 정도를 살펴보면 Wool > NW > N > PP > PTT으로 나타남을 알 수 있다. 양모 카페트와 나일론과 양모로 이루어진 카페트의 경우 가장 낮은 행동정지 시간을 나타냈다.

이는 양모가 연소 시 시안화수소가 생성 되는데, 시안화수소는 일산화탄소보다 더 유독한 성분으로 알려져 있다.¹¹⁾ 반면 PP는 탄소와 수소로 이루어져 있으며 이러한 화합물의 연소에서는 주로 일산화탄소와 이산화탄소가 발생된다. 하지만 결과적으로, 가스유해성 평가의 합격 기준인 행동정지시간 9 이상을 만족시킨 카페트류는 없었다.

4. 결 론

본 연구에서는 건축용 장식재 중 국내에서 널리 쓰

이는 카페트 류 5종에 대하여 열적 특성 및 열분해, 가스 방출량을 ISO 5660-1의 기준에 따라 콘 칼로리미터로 측정하였고, KS F 2271에 의거해 가스유해성 평가를 실시하였다.

1. 착화시간의 경우 카페트 류에서 나일론 카페트의 경우에 착화가 가장 늦게 일어났으며, 양모 카페트의 경우는 다른 카페트에 비해 쉽게 착화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

2. 발열량은 PP 카페트의 경우에는 초기 방출량이 많아 순간 최대 열방출률은 높았으나 전체 열방출률의 경우에는 오히려 나일론 카페트가 높게 나타났다. 반면 PTT 카페트의 경우에는 다른 카페트에 비해서 초기에도 상대적으로 낮은 열방출률을 보이며 전체적인 열방출도 가장 적은 것을 확인할 수 있었다.

3. 일산화탄소 방출량은 PTT 카페트에서 가장 많이 나타났으며, 이산화탄소의 방출량은 PP 카페트에서 가장 많은 방출량을 나타냈다.

4. 일산화탄소와 이산화탄소의 방출량이 많은 PTT 카페트의 경우에 오히려 쥐의 행동정지 시간이 더 긴 것을 확인할 수 있었다. 반면 양모 카페트에서 쥐의 행동정지 시간이 가장 짧았으며, 이는 일산화탄소와 이산화탄소 이외의 방출 가스의 영향으로 판단된다.

본 연구에서는 일반적으로 널리 쓰이는 카페트에 대해서 화재 특성 및 가스유해성을 평가하는데 역점을 두었다. 그러나 일반적인 결론은 얻었으나 카페트만으로 건축물의 화재를 평가하는 것은 부족한 점이 많다. 이와 동시에 기타 건축물 내장재 및 장식재에 관한 종합적인 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 건축법 제 43조, “건축물의 내부 마감재료”(2005).
2. 하동명, “내장재의 발화시간, 열방출율 및 최대화염 높이의 예측을 위한 반응표면 방법론의 활용성 고찰”, 한국화재소방학회논문집, 제20권, 2호, pp.33-41 (2006).
3. 김형진, 김상철, “건축재료 방화시험의 국제동향과 관련기술의 국내적용 방안”, 환경관리학회 논문집, 제 8권, 4호, pp.299-308(2002).
4. 임홍순, 육근성, “복사열원에 의한 건축용 바닥마감재 화재시험방법에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술발표논문집, pp.73-80(2002).
5. 이근원, 김관용, “콘칼로리미터를 이용한 플라스틱 단열재의 화재 특성”, 한국화재소방학회논문집, 제17권, 1호, pp.76-83(2003).
6. 박영근, 김동일, “가스검지법에 의한 플라스틱재료의

- 연소가스 독성평가”, 한국화재소방학회 논문지, 제16권, 4호, pp.77-84(2002).
7. ISO 5660-1, “Reaction to Fire Part 1, Rate of Heat Release from Building Products (Cone Calorimeter)”, Generer(1993).
 8. KS F 2271, “건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법”, 한국표준협회(2006).
 9. A. De Chirico, M. Armanini, P. Chini, G. Cioccolo, F. Provasoli, and G. Audisio, “Flame Retardants for Polypropylene Based on Lignin”, *Polym. Degrad. Stabil.*, Vol.79, No.1, pp.139-145(2003).
 10. T. Ishikawa, I. Maki, and K. Takeda, “Flame Retardancy of Poly(butylene terephthalate) Blended with Phosphorous Compounds”, *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol.92, No.4, pp.2326-2333(2004).
 11. 박영근, “고분자재료의 연소가스 독성평가에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.15, No.3, pp.7-13(2001).