

Smoke density chamber를 적용한 건축물 마감재의 연소가스 독성 평가

이인구 · 조남욱* · 이봉재* · 이동호**

인천대학교 대학원, 한국건설기술연구원*, 인천대학교 소방방재연구센터**

A Study on the Toxicity of Closing material of building with chamber

In-Ku Lee · Nam-Wook Cho* · Bong-Jae Lee* · Dong-Ho Rie**

Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

Korea Institute of Construction Technology (KICT)*

Fire Disaster Protection Center, University of Incheon**

요 약

연소가스분석을 통한 건축물 마감재료의 연소독성평가를 위해 독성지수 계산법(NES 713)을 활용하여 독성평가를 수행하였다. 가연성 건축재료(우레탄, 고무바닥재)를 대상으로 독성가스를 측정하기 위해 ISO19702에서 규정하는 FT-IR(푸리에변환적외선분광분석기)을 이용하였으며, 화재 모델은 ISO5659의 Smoke Density Chamber를 사용하였다. 독성지수를 산정하기 위해 Cf(사람이 30분간 노출시에 사망할 수 있는 가스의 농도)를 기준으로 하였다. 본 연구를 통해 연소가스 독성지수 연구의 기초연구자료로 활용하고자 한다.

1. 서 론

경제가 발전함에 따라 대형 건축물등이 증가 하고 있고, 건축 구조 및 용도 등의 다변화에 따라서 각종 건축 재료의 사용이 증가하고 있는 추세로 그에 따른 화재의 위험성이 증가하고 있다. 화재에 의한 물질 피해는 물론 인적피해가 발생하고 있으며, 이들 화재에 의한 희생자의 사인은 화재시의 열에 의한 화상이 아니라 화재시 발생하는 유독가스의 영향에 의해 사망하는 경우가 증가하고 있다. 특히 각종 건축 재료가 연소하는 경우 연소 생성물 중에서 유독가스가 발생하여 화재시 많은 인명 피해를 야기하고 있다. 특히 화성의 씨랜드 수련원 화재 및 인천 인현동 호프집 화재, 이천 물류센터 화재등 내장재료의 연소시 나타나는 유독가스 등에 의해 대형 인명피해를 발생시키고 있다. 이에 화재에서의 연소 독성에 대한 정량적인 연구가 필요하다.

2. 실험 방법

우레탄과 고무바닥재를 대상으로 실험을 진행했다. 실험 방법은 ISO5659의 Smoke Density Chamber에서 50kW non-flame조건으로 화재 실험을 실시 한 후 연기 농도가 최대치가 되었을 때 발생된 연기를 FT-IR로 측정하였다. 측정된 스펙트럼을 정량화 한 후 이 수치를 독성지수 평가 방법중 하나인 NES713(Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials)에 적용하여 독성지수산정을 수행하였다.

기기는 SDC chamber와 FT-IR을 사용하여 실험을 진행하였으며 실험은 우레탄과 고무바닥재를 시료로 하여 각 3회씩 진행하였다. 시료의 높이와 무게, 밀도는 표1과 같다. 고무바닥재의 경우 우레탄에 비교하여 시료의 두께는 1/5이지만 무게나 밀도는 각각 9배와 40배를 나타내었다.

표 1. 실험 시료

실험 기기	실험 횟수	시료 두께(mm)	시료 무게(g)	밀도(g/cm ³)
우레탄	3회	25.3	5.4	0.04
고무바닥재	3회	5	46.3	1.62

2.1 화재 모델

연소 실험 중 중요한 요소 중 하나인 화재 모델은 NES713 chamber와 유사한 ISO 5659 smoke density chamber로 하였다. ISO 5659는 두께가 25 mm 이하인 평평한 재료나 복합 재료, 조립재 등의 시험편을 수평으로 놓고 밀폐된 공간(chamber)에서 점화불꽃을 사용하거나 사용하지 않은 상태로 규정된 방사열에 노출하였을 때 시험편의 노출면으로부터 발생하는 연기를 측정하는 시험 방법이다.¹⁾ 본 실험에서 사용한 챔버의 크기는 914mm×610mm×914mm이고 가열 조건은 50kW/m² non-flame로 실험하였다.

2.2 ISO 19702 규격에서의 독성 가스 측정

ISO 19702는 FT-IR을 이용한 가스 분석에 대해 제시하고 있다. 측정시의 샘플링 라인 및 가스셀은 150℃를 유지하였고, 흡입 펌프의 유량은 3.5 l/min로 적용하였다. FT-IR의 분석 분해능은 0.5 cm⁻¹으로 설정하였고 8회 측정한 적외선 흡수의 평균을 1개의 스펙트럼으로 도출하여 데이터를 얻었다. FT-IR은 플루오르화수소(HF), 이산화황(SO₂) 등 대부분에 기체에 적합하며 하나의 스펙트럼으로 다양한 기체를 분석할수 있으며 지속적으로 발생하는 연소가스의 실시간 분석이 가능하는 장점이 있다.³⁾

3. 실험 결과

연소가스를 FI-IR로 분석된 스펙트럼을 정량화 한 결과를 그림1과 그림2에 그래프로 나타내었다.

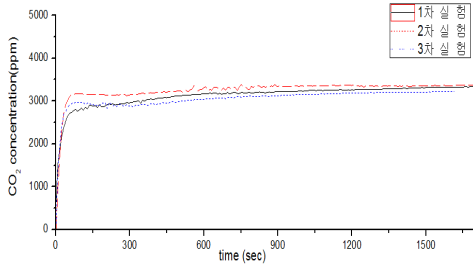


그림 1. 시간-CO₂농도 그래프(우레탄)

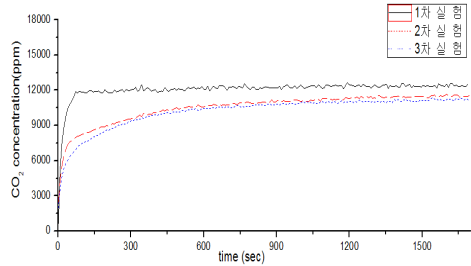


그림 2. 시간-CO₂농도 그래프(고무바닥재)

3.1. 독성 수치

1). 독성 수치의 계산

위의 그래프를 정량화를 해서 나온 수치를 식(1)에 넣어 독성 수치를 계산하였다. 여기서 C_{θ} 는 체임버 내에서 100g의 물질이 완전 연소될 때 1m³당 독성 가스의 농도를 의미한다.

$$C_{\theta} = \frac{C \times 100 \times V}{m} \text{ (단위: ppm)} \dots\dots (1)$$

C = 가스체임버 내의 가스농도

m = 시료의 질량 손실

V = Chamber의 용적(m³)

위의 수식으로 계산한 결과 시료의 독성 가스의 발생량은 표2와 같다. 우레탄의 경우에는 CO, CO₂, HCN이 발생되었고 고무바닥재에 경우에는 CO, CO₂가 측정되었다.

2). 독성지수

위의 독성수치를 계산하여 식 (2)에 의해 계산하였다.

$$\text{독성지수} = \sum \frac{C_{\theta 1}}{Cf_1} + \frac{C_{\theta 2}}{Cf_2} + \frac{C_{\theta 3}}{Cf_3} + \dots\dots\dots \frac{C_{\theta n}}{Cf_n} \dots\dots (2)$$

식 (1)에서 나타내는 Cf는 인간이 30분간 노출되었을 경우 사망에 이를 수 있는 가스 농도로서 표2에 나타내었다. 하지만 가스의 경우 각각의 가스가 개별적으로 영향을 미치지 않고 여러 가스가 동시에 인체에 영향을 미치기 때문에 위에 독성지수 식과 같이 발생된 모든 독성가스에 대해 고려하여야 한다.⁴⁾ 식(2)를 가지고 계산한 독성 지수를 결과는 표2에 나타내었다.

시험 결과에 나타난 바와 같이 우레탄의 경우 3.9g의 질량손실로 전체 70.8% 감소하였고, 고무바닥재는 15.3g의 질량손실로 33.8% 감소하였다. 고무바닥재바닥재에 비해 우레탄의 연소 감량이 큰 것으로 확인되었다.

독성지수를 계산한 결과 우레탄의 경우 독성 지수는 7.2이고 고무바닥재의 경우 0.74로 우레탄의 경우가 고무바닥재에 비하여 약 10배이상 높은 수치를 보여주고 있어 우레탄 소

재의 연소독성이 높은 것으로 확인되었다.

표 2. 시료에 따른 시험 결과

화학종	기준농도 (mg/m ²)	측정농도(ppm)									
		우레탄					고무바닥재				
		1차	2차	3차	평균	C ₀	1차	2차	3차	평균	C ₀
CO ₂	100,000	3,135	3,249	3,049	3,144	41,136	12,675	11,657	11,396	11,909	39,284
CO	4,000	289	294	284	289	3,780	394	438	431	421	1,389
HF	100	N.D	N.D	N.D	-	-	N.D	N.D	N.D	-	-
HCl	500	N.D	N.D	N.D	-	-	N.D	N.D	N.D	-	-
HBr	150	N.D	N.D	N.D	-	-	N.D	N.D	N.D	-	-
HCN	150	62	72	67	67	877	N.D	N.D	N.D	-	-
NO _x	250	N.D	N.D	N.D	-	-	N.D	N.D	N.D	-	-
SO ₂	400	N.D	N.D	N.D	-	-	N.D	N.D	N.D	-	-
질량 손실		3.9g (70.85%)					15.3g (33.83%)				
독성지수		7.2					0.74				

4. 결 론

NES713 method를 적용한 독성지수를 산정한 결과는 다음과 같다.

1. FT-IR은 마감재료의 화재실험에서 발생하는 가스의 연속적인 다중분석이 가능하였으며 향후 추가적인 독성지수 연구에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단하였다.
2. 우레탄은 독성지수 산정 결과 치사 농도를 훨씬 넘는 7.2의 독성지수를 나타냈으며 고무바닥재의 경우 30분 노출 치사 농도값인 1에 미달되는 값을 나타냈다.
3. 우레탄의 CO와 CO₂의 경우의 C₀ 값이 고무바닥재에 비하여 각각 2.7배와 1.04배의 값을 나타낸 반면 독성지수는 약 10배의 값으로 나타난 이유는 HCN의 발생에 기인한다. 따라서 HCN과 같은 맹독성 기체의 존재유무에 따라 결과가 크게 달라짐을 확인하였다.

참고문헌

1. 박수영, (2006), “샌드위치패널 단열재의 연기농도 및 연소독성가스에 대한 실험적 연구 (연소챔버법)” 한국화재소방학회 논문지, 제20권 제4호, pp 26-32
2. 이창우, (2006), “ 파스콘 트로프의 연기유독성에 관한 연구” 한국소방학회 논문지, 제 20권 제 2호, pp 1-7
3. ISO 19702:2006, Toxicity testing of fire effluents - Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FTIR gas analysis, ISO(2006).
4. NES 713, Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials. issue 03, (1985).