

플라스틱재료의 연소가스 및 연기밀도 위험성평가

현성호 · 박영근*

경민대학 소방행정과, *한국화재보험협회

1. 서론

화재로 인한 사망 원인중 연기 및 독성가스. 39명의 목숨을 앗아간 이천 냉동물류창고 화재, 27명의 목숨을 앗아간 여수 출입국관리사무소 화재, 4명 사망 및 20여명의 부상자가 발생한 경북궁 옆 현대미술관 신축공사장 화재의 공통점은 연기 및 유독가스로 인한 사망자가 늘었다는 분석¹⁾되었으며, 미국의 경우 유독성연기가 72.2 %²⁾를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 본 평가에서는 폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 폴리스틸렌보드, 폴리비닐크로라이드의 플라스틱재료에 대하여 화재시 발생하는 연기밀도 및 연소가스 중 CO, CO₂, HCl, HCN, SO₂, NO_x, HBr, HF 가스에 분석하여 위험성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험체

폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 폴리스틸렌보드, 폴리비닐크로라이드의 각 실험체의 현황은 표 1과 같다.

Table 1. Tests Materials

실험체	구성성분	밀도(kg/m ³)
폴리우레탄폼	폴리우레탄수지, 난연제, 이소시아네이트 등	45
폴리에틸렌폼	폴리에틸렌수지, 폴리프로필렌수지등	42
폴리스틸렌보드	폴리스틸렌, 발포제 등	30
폴리비닐크로라이드	polyvinyl chloride, 난연제 등	430

2.2. 실험방법

2.2.1 연기밀도실험

실험체를 ISO 5659-2에 의한 25 kW/m²의 복사열만으로 가열방식인 혼소상태 (Non-Flamming mode)와 25 kW/m²의 복사열 앞에 점화장치로 프로판가스 마이크로버너(불꽃길이: 6.4 mm)를 동시에 점화시키는 불꽃상태(Flamming mode)를 10 동안 시험하여 발생하는 연기를 집연챔버에 모아 집연챔버를 통과된 빛의 강도를 수직방향에서 연속적으로 연기농도를 측정하였다.

2.2.2 독성가스실험

NES 713 연소가스분석장치를 이용하여 과잉공기 상태에서 재료의 시편 2 g을 불꽃온도 (1,150±50) °C 로 1 m³인 연소챔버 내에서 완전연소시켜 발생된 각각의 연소가스를 가스검지관 (Colorimetric gas detector tubes)을 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 연기밀도실험

폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 폴리스틸렌보드, 폴리비닐크로라이드에 대하여 연기밀도실험 결과는 Table 2와 같이 나타났다. 폴리스틸렌보드에서 최대연기발생량은 Non-Flaming mode보다 Flaming mode에서 6.5배 많이 발생하였다.

Table 2. The smoke density test results

실험체	Non-Flaming mode	Flaming mode
	최대연기밀도	최대연기밀도
폴리우레탄폼	146	225
폴리에틸렌폼	153	185
폴리스틸렌보드	65	462
폴리비닐크로라이드	323	350

폴리비닐크로라이드는 NFPA 101 및 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령」에 정하는 제한 연기밀도(Table 3)가 발생하는 것으로 나타났다.

Table 3. Standards limit smoke density

기 준	재 료	최대연기밀도
NFPA 101(Life Safety Code) ³⁾	내장재료	450이하
소방시설 설치유지 및 안전관리에관한법률시행령 ⁴⁾	방염대상물품	400이하

3.2 독성가스실험

1 m³인 연소챔버 내에서 완전연소시켜 발생된 각각의 연소가스를 가스검지관(Colorimetric gas detector tubes)을 사용하여 분석한 실험결과는 표 4에 나타내었다.

HCl, HBr은 폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 폴리스틸렌보드에서는 측정되지 않았으나 폴리비닐크로라이드에서는 발생되었다.

Table 4. Combustion gases concentration for each material(ppm/100g)

가스명 재료명	CO ₂	CO	HCl	SO ₂	NO _x	HCN	HBr	HF
폴리우레탄폼	65,390	3,230	-	258	125	-	-	26
폴리에틸렌폼	68,450	4,350	-	450	158	45	-	-
폴리스틸렌보드	75,830	2,370	-	540	123	31	-	120
폴리비닐크로라이드	97,460	5,570	1,990	890	356	345	650	530

인간이 각 실험체에서 발생하는 독성가스에 노출되었을 때의 위험성(Table 5)과 비교하였을 때 5분이내에 의식장애 또는 사망할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 5. Hazard of the major toxicity gas concentration

기 준		가스명	CO ₂	CO	HCl	SO ₂	NO _x	HCN	HBr	HF
NES 713(30분(ppm), 사망)			100,000	4,000	500	400	250	150	150	100
ISO TR 9122	5분 (ppm)	의식장애	70,000~ 80,000	100,000 이상	-	-	-	500~ 1,000	-	-
		사망	6,000~ 8,000	12,000~ 16,000	500~ 1,000	-	-	150~ 200	-	250~ 400
	30분 (ppm)	의식장애	60,000~ 70,000	1,400	-	-	-	90~ 120	-	-
		사망	90,000이상	50~135	-	-	-	1,700	-	1,774이상

4. 결론

본 평가에서는 폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 폴리스틸렌보드, 폴리비닐크로라이드의 연기 밀도 및 독성가스를 분석한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 최대연기밀도는 불꽃상태(Flaming mode)에서 폴리비닐크로라이드, 폴리에틸렌폼, 폴리우레탄폼, 폴리스틸렌보드 순으로 연기가 많이 발생하였으며, 폴리스틸렌보드보다 폴리비닐크로라이드는 약 5배 많이 발생하였으며, 폴리스틸렌보드는 피난에 장애를 주는 최대연기밀도는 450보다 많은 462가 발생하는 것으로 나타났다.

2) 독성가스인 일산화탄소(CO)는 폴리스틸렌보드에 비해 폴리비닐크로라이드에서 2.4배 많이 발생하였으며, 폴리비닐크로라이드에서는 시안화수소(HCN) 등의 매우 많은 유독성독성가스가 발생하여 인간이 폴리비닐크로라이드 화재시에 노출시 5분이내에 사망할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 중앙통신뉴스, <기고>화재시 유독가스 배출 단열재 우레탄 사용 규제(2012.08.20.)
2. NFPA analysis of data from U.S. death certificates coded E890~E899(1995)
3. NFPA 101 Life Safety Code(1997)
4. 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령」 제20조