

B-16

고분자재료의 연기밀도 및 독성가스 평가

박영근, 이두형, 현성호*, 이정일**
한국화재보험협회, 경민대학*, 서울시립대학교**

The Combustion Gases Toxicity and Smoke Density Evaluation of Polymer Maternal

Young-keun Park, Doo-hyung Lee, Seong-ho Hyun*, Jeong-il Lee**
Korean Fire Protection Association, Kyungmin College*, University of Seoul**

1. 서론

건축물의 대형화, 구조의 전문화 및 용도가 다양화 되면서 고분자재료들이 다양하게 개발되고 있다. 고분자재료로 사용상의 장점들이 많지만 대부분 가연성인 경우가 많다. 화재로 인한 사망 원인으로 우리나라의 경우 질식사자 48.6 %¹⁾, 미국의 경우 유독성연기가 72.2 %²⁾를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. '06년 1일 평균 화재건수는 87건, 인명피해 6명, 재산피해 4.1억원이 발생하고 있으며 2006년 한해 동안 전국에서 31,778건의 화재가 발생하였고 이로 인해 2,180명이 사망하거나 부상했으며 1,508억원의 재산피해가 발생하였다³⁾. '03년 대구 지하철 화재, '06년 7월 송파노래연습장 화재 등에서 나타난 바와같이 대형 인명피해에 있어 화재시 유독성가스 등이 주원인으로 조사되었다.

본 연구에서는 고분자재료가 화재조건에 노출되었을 때 사망사고의 주된 원인인 연기 및 독성가스에 대하여 ISO 5659-2⁴⁾, FTIR(Fourier Transform Infrared) spectrometer에 의하여 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험체

고분자재료인 폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 경질PVC(난연, 비난연)의 실험체로 선정하였으며 실험체의 규격은 Table 1과 같다.

Table 1. 실험체의 규격

구 분	구성성분	밀도(kg/m ³)	두께(mm)
경질폴리우레탄폼 (Rigid polyurethane foam : PU)	폴리우레탄수지, 이소시아네이트, 인계화합물난연제 등	38.0	25
폴리에틸렌폼 (polyethylene foam : PE)	폴리에틸렌수지, 아조디카본아미드, 할로젠화합물난연제 등	53.0	10
경질 PVC(난연) (Rigid polyvinyl chloride(flame retardant : PVCF)	polyvinyl chloride, 난연제 등	370	2.5
경질 PVC(비난연) (Rigid polyvinyl chloride(non-flame retardant : PVCNF)	polyvinyl chloride 등	930	2.5

2.2. 실험방법

실험체를 ISO 5659-2: 1994에 의한 25 kW/m²의 복사열만으로 가열방식인 훈소상태(Non-Flaming mode)와 25 kW/m²의 복사열 앞에 점화장치로 프로판가스 마이크로버너(불꽃길이: 6.4 mm)를 동시에 점화시키는 불꽃상태(Flaming mode)를 10 동안 시험하여 발생하는 연기를 집연챔버에 모아 집연챔버를 통과된 빛의 강도를 수직방향에서 연속적으로 연기농도를 측정하였으며, 독성가스는 FTIR(Fourier Transform Infrared) spectrometer를 의하여 독성가스를 측정하였다.(Fig 1. 연기밀도실험장치, Fig 2. FTIR spectrometer)

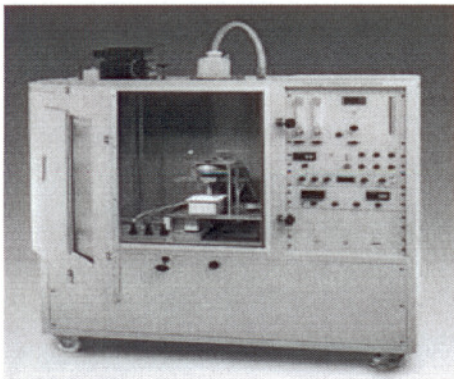


Fig 1. 연기밀도실험장치

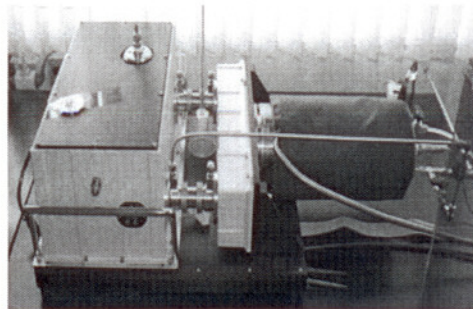


Fig 2. FTIR spectrometer

3. 결과 및 분석

3.1 연기밀도실험

고분자재료(폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 경질PVC)에 대하여 연기밀도실험(ISO 5659-2: 1994)결과를 Table 2, Fig 3에 나타내었다. 최대연기밀도는 폴리우레탄의 경우 Flaming mode보다 Non-Flaming mode에서 7.4배 많이 발생하였으며, Flaming mode

에서 경질PVC(비난연)는 폴리우레탄폼보다 11.6배 많이 발생하였으며, Non-Flaming mode에서는 1.2배 더 발생하였다. 폴리에틸렌폼에서는 최대연기발생량은 Non-Flaming mode보다 Flaming mode에서 1.6배 많이 발생하였다.

Table 2. 연기밀도실험결과

실험체	Flaming mode	Non-Flaming mode
	최대연기 발생량(Dm)	최대연기 발생량(Dm)
PU	61	452
PE	137	215
PVCF	368	239
PVCNF	730	538

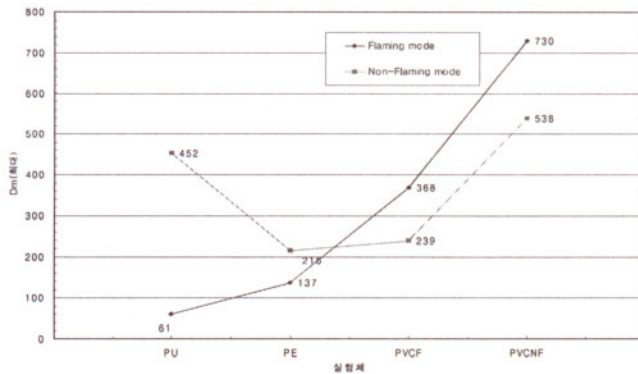


Fig 3. 실험체별 최대연기밀도

폴리우레탄폼, 경질PVC(비난연)는 Table 3에 비교하면 제한 연기밀도 실험체로 나타났다.

Table 3. 각 재료별 제한 연기밀도

기준	재료(용도)	제한 연기밀도
국제해사기구(IMO) FTP Code ⁵⁾	내장재, 천정재, 격벽	Dm(최대) : 200이하
	바닥재	Dm(최대) : 500이하
	PVC, 전선	Dm(최대) : 400이하
NFPA 101 ⁶⁾	내장재료	Dm(최대) : 450이하
소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한법 시행령 ⁷⁾	합성수지 등 방염물품	Dm(최대) : 400이하

3.2 독성가스실험

ISO 5659-2 연기발생장치 내에서 실험체에 복사열 25 kW/m²을 가하여 발생하는 연소가스를 FTIR spectrometer를 사용하여 분석한 독성가스 실험결과를 Table 4에 나

타내었다. 염화수소(HCl)는 폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼에서 측정되지 않았으나 경질 PVC(난연, 비난연) 측정되었으며, 이산화질소(NO₂)의 경우 폴리우레탄폼에 비해 경질 PVC(비난연)는 3.2배 더 발생하였다. Table 3에 비교하면 경질 PVC(난연, 비난연), 폴리우레탄폼에서 발생된 독성가스에 30분 노출시 사망할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 4. 독성가스 실험결과

실험체	실험조건	CO ₂	CO	HCl	SO ₂	NO ₂	HCN	HBr	HF
PU	Non-Flamming mode	3,520	265	N.D*	8	49	5	N.D	N.D
	Flamming mode	5,540	536	N.D	5	32	3	N.D	N.D
PE	Non-Flamming mode	4,340	350	N.D	43	42	N.D	N.D	N.D
	Flamming mode	7,830	652	N.D	65	58	N.D	N.D	N.D
PVCF	Non-Flamming mode	5,700	580	225	N.D	68	N.D	N.D	N.D
	Flamming mode	7,920	750	240	N.D	86	N.D	N.D	N.D
PVCNF	Non-Flamming mode	7,220	820	410	150	78	60	244	210
	Flamming mode	9,100	1,450	420	370	105	92	350	310

* N.D : Not detected

Table 5. 독성가스의 위험기준⁸⁾

가스명	인간에 고통을 주는 자극농도(ppm)	LC ₅₀ (ppm)*
CO ₂	-	90,000
CO	-	(2,500 ~ 4,000)
NO ₂	80	-
SO ₂	50 ~ 100	60 ~ 250
HCl	100	50 ~ 135
HCN	90 ~ 120	(170 ~ 230)
HBr	100	1,600 ~ 6,000
HF	120	1,600 ~ 6,000

* 쥐를 독성가스에 30분 노출시킨 후 14일 동안 노출대상 동물의 절반이 사망하는 농도를 말하며, ()는 30분 노출시의 즉시 사망농도를 말한다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼, 경질PVC(난연, 비난연)의 고분자재료의 연기 및 독성가스를 측정·분석한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최대연기밀도는 Flaming mode에서 경질PVC(비난연)는 폴리우레탄폼보다 11.6배 많이 발생하였으며, 경질PVC에서 비난연 실험체는 난연처리 실험체에 비하여 2.0배~2.3배 많이 발생하였다.
- 2) 독성가스는 폴리우레탄폼비하여 폴리에틸렌폼이 더 많이 발생하였으며 특히 경질 PVC에서 다양한 가스가 발생하였다. 질식성가스인 CO, HCN는 폴리우레탄폼에 비하여 경질PVC(비난연)에서 5.5배, 18.4배 더 분석되었다.

개별 독성가스가 인간에게 미치는 영향은 위험수준 해당 데이터로부터 유출할 수 있으

2007년도 추계학술논문발표회

나 분석된 가스로부터 가스 조합간의 상호 작용이 인간에 미치는 영향에 대한 연구가 필요한 분야인 것으로 사료된다.

참고문헌

1. '95화재통계년보, 내무부소방국, p.37(1996)
2. NFPA analysis of data from U.S. death certificates coded E890~E899(1995)
3. 2006년도 화재발생 현황 분석, 소방방재청 소방정책본부(2007)
4. ISO 5659-2 Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test(1994)
5. 국제해사기구(IMO) FTP Code Part 2(2003)
6. NFPA 101 Life Safety Code(1997)
7. “소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한법 시행령” 제20조
8. SFPE 방화공학핸드북(3판), 6장 연소생성물의 독성, pp.2-92,165(2005)