

가스검지관법에 의한 플라스틱재료의 연소가스 독성평가 The Combustion Gases Toxicity Evaluation of Plastics Material by Colorimetric Gas Detector Tubes

박영근[†] · 김동일 · 현성호*

Young-Keun Park[†] · Dung-Il Kim · Seong-Ho Hyun*

(사)한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, *경민대학 소방학과
(2002. 11. 7. 접수/2002. 12. 12. 채택)

요 약

본 연구는 플라스틱재료 중 비드발포폴리스티렌폼, 압출발포폴리스티렌폼, 연질폴리우레탄폼, 경질폴리우레탄폼, 경질PVC파이프, 비닐장판, 폴리에틸렌폼(비난연), 폴리에틸렌폼(난연)를 대상으로 연소가스 독성평가를 위하여 NES 713 방법에 따라 발생하는 연소가스를 가스텍(GASTEC) 가스검지관을 이용하여 조사하였다. 연구결과 플라스틱재료의 연소시 발생하는 연소가스에 인간이 30분 동안 노출될 경우 사망에 이르는 독성지수 1 이상을 갖고 있었으며, 각 실험체의 독성지수 결과는 4.3~179.2로 나타났으며 경질 PVC파이프가 179.2로 가장 높았다.

ABSTRACT

In this paper, we had analyzed combustion gases using a GASTEC colorimetric gas detector tube according to the method of NES 713 in order to combustion gases toxicity evaluation for beads polystyrene foam, extruded polystyrene foam, rigid polyurethane foam, flexible polyurethane foam, flexible polyvinyl chloride pipe, vinyl floor cover, polyethylene foam(flame retardant untreated) and polyethylene foam (flame retardant treated) of plastics material. As results of gas analyses by using this method, combustion gases produced from small specimens of plastics material had reached fatal to man at 30 minutes exposure time that had possessed toxicity index of more than 1. Toxicity indexes of each specimen were estimated range of 4.3~179.2, flexible polyvinyl chloride showed the highest toxicity index at 179.2, and beads polystyrene foams showed the lowest toxicity index at 4.3.

Keywords : Plastics material, NES 713, Combustion gases, Toxicity index

1. 서 론

건축구조 및 용도 등의 다변화에 따라서 각종 플라스틱재료의 사용이 증가되고 있는 추세로서 목재, 플라스틱류 등 그 종류도 상당히 다양하다. 실제로 건물 내에서 사용되고 있는 각종 플라스틱재료가 화재로 연소하는 경우 발생하는 연소생성물 중에서 유독가스(CO, CO₂, HCl, HCN, SO₂, NO_x 등), 불포화탄화수소류, 포화탄화수소류 등 인체에 유해한 각종 성분이 다량 함유되어 있으며 이들 성분이 일정농도를 초과할 경우

두통, 의식불명, 중독 등을 초래하여 사망하게 된다.

최근에 화성 씨랜드 수련원 화재, 인천 인현동 호프집 화재 및 다중이용업소의 화재에서 나타난 바와 같이 플라스틱재료의 연소시 유독성가스 등에 의해 대형 인명피해를 발생시켰다. 화재로 인한 사망 원인 중 우리나라의 경우 '95년에 질식사자가 48.6%,¹⁾ 일본의 경우 최근 5년('93~'97년)에 CO가스 중독 또는 질식사자가 약 37.4%,²⁾ 미국의 경우 '92년에 유독성연기가 72.2%³⁾를 차지하고 있는 것으로 조사되었으며, 화재에 의한 희생자 원인 중 종래에는 열에 의한 사망이었지만 화재시 발생하는 유독가스의 영향에 의한 사망이 증가하고 있다.⁴⁾

[†]E-mail: yeffort@unitel.co.kr

본 연구에서는 재료의 위험성을 결정하는 요소중 화재시 인명피해의 주된 요인인 연소가스독성에 관하여 경질폴리우레탄폼 등 8종의 플라스틱재료에 대하여 화재시 발생하는 연소가스 중 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 염화수소(HCl), 시안화수소(HCN), 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO_x), 브롬화수소(HBr), 불화수소(HF)가스를 NES(Naval Engineering Standard) 713⁵⁾의 가스택(GASTEC) 가스검지관(Colorimetric gas detector tubes)을 이용하여 평가하였다.

2. 각국 재료의 연소가스독성 실험방법 현황 및 적용

재료의 연소가스독성 실험방법은 미국에서 70년대 중반 고분자산업 위주로 연방무역위원회의 추진하에 최초로 개발되었고, 초기에 가장 폭넓게 사용된 실험방법은 NBS(U.S.-National Bureau of Standards) 및

UPITT(U.S.-University of Pittsburgh)이었으며 그 후 U.S.-Rad(Radiant Furnace Test) 실험방법이 개발되었다. 거의 같은 시기에 일본에서 JGBR(Japanese Government Building Regulation Toxicity Test) 및 독일에서 DIN 53436(Deutsches Institut fuer Normung)⁶⁾의 연소가스독성 실험방법이 개발되었다. 재료의 연소가스독성 평가를 위한 대부분의 실험방법은 동물노출을 이용한 방법이었으나 몇몇 정부기관 및 생산회사가 재료의 선택을 위하여 독성가스를 정량적으로 분석하기 위하여 개발된 실험방법 중 하나인 가스검지관을 이용한 NES 713(British-Naval Engineering Standard)을 채택하였다.⁷⁾ 이후 재료의 연소가스독성 실험방법으로 86년에 프랑스에서 NF X 70-100,⁸⁾ 국제표준화기구(ISO)에서 89년에 ISO TR 9122,⁹⁾ 영국에서 BSI(영국표준협회)DD 180,¹⁰⁾ 국제해사기구(IMO)에서 96년에 IMO MSC 61.Part2¹¹⁾ 등이 제정되었다. 이들 각국 연소가스독성 실험방법을 Table 1에 정리하였다. 재료 연

Table 1. List of combustion gas toxicity test standards

시험기준 구분	NES 713	ISO TR 9122	DIN 53436	NF X 70-100	IMO MSC 61. Part 2.	BSI DD 180
연소장치	연소챔버 최소용적 0.7 m ³ 이상	DIN, CAMI, NBS U.S.- Rad, UPITT, USF, JGBR 중에서 선택	이동가능한 Tube Furnace	Tube Furnace	연소챔버 (914(L)×914(H)× 610(D) mm	NES 713, DIN 53436 중에서 선택
로온도	Bunsen burner에 서의 불꽃 온도 1,150°C		고정, 200~600°C	400, 600, 800°C	복사열	
시 편	일정질량		고정, 동일부피 (질량)	1±0.05 g	75×75×25(1.0) mm	
전처리	23±2°C, 상대습 도 50±5%에서 24 h		-	23±2°C, 상대습 도 50±5%에서 24 h	23±2°C, 상대습도 50±5%에서 48 h 이상	
화 원	Bunsen burner, 메탄가스		전기	전기	전기	
공기흐름	동적		동적	동적	동적	
노출시간	완전연소시		30분	20분	10분	
측정가스	CO, CO ₂ , HCHO, NO _x , HCN, SO ₂ , HCl, NH ₃ , HF, HBr, CH ₂ CHCN	CO, CO ₂ , O ₂ , HCHO, NO _x , HCN, HCl, HF, HBr	CO, CO ₂ , O ₂ , 선택가스	CO, CO ₂ , SO ₂ , HCN, HCl, HF, HBr	CO, NO _x , HCN, HCl, HF, HBr, SO ₂	
분석방법	가스검지관	각 가스별로 측정방법을 규정함(예 CO, CO ₂ : 가 스크로마토그 래프)	규정되지 않음	각 가스별로 측정 방법을 규정함(예 HCN : 비색법)	규정되지 않음(가스 검지관, 이온크로마 토그래프, 이온선택 전극, 적외선분석기, 가스크로마토그래프, NDIR분석기, FTIR 분석기)	

소시 발생하는 연소가스의 독성평가로는 2가지 종류의 평가방법이 있다. 한가지 방법으로는 마우스, 토끼, 원숭이 등의 동물을 연소과정에서 발생한 연소가스에 직접 노출시켜서 동물의 행동을 조사하는 방법이며, 또 다른 방법은 연소가스를 화학분석에 의하여 발생량을 정량적으로 평가하는 방법이 있다. 이들 2가지 평가방법의 장·단점은 연소가스에 동물을 직접 노출시키는 방법에 있어서는 직접적인 연소가스의 종합적인 평가가 가능하다는 장점이 있지만 동물의 개체차원에서 인간과 동물간의 관계가 불명확하다는 것과 동물보호의 관점에서 그다지 바람직스럽지 못하다는 단점이 있다. 화학분석에 의한 방법은 독성평가를 정량적인 수치로서 표현하는 것으로 재료 상호간의 독성평가가 용이하다는 등의 장점이 있다. 그러나 기본적인 독성자료가 없다는 것, 화학분석으로 검출 불가능한 미량의 독성이 있는 가스의 경우에는 평가가 불가능하다는 것 등의 단점이 있다.¹²⁾ 본 실험에서는 재료의 연소시 발생

되는 연소가스를 정량적인 수치 값으로 얻기 위한 가스검지관(Colorimetric gas detector tubes)을 이용한 실험방법인 NES 713을 적용하였다.

3. 플라스틱재료의 연소가스 독성실험

3.1 실험체

비드발포폴리스티렌폼, 압출발포폴리스티렌폼, 연질폴리우레탄폼, 경질폴리우레탄폼, 경질PVC파이프, 비닐장판, 폴리에틸렌폼(비난연), 폴리에틸렌폼(난연) 8종으로 각 실험체의 밀도는 IEC 811-1-3의 8절¹³⁾에 따라서 측정하였으며 그 결과는 가장 낮은값과 가장 높은값의 평균값으로 실험체 현황은 Table 2와 같다.

3.2 실험장치

실험장치는 체적 0.96 m³인 연소챔버, 분젠버너(높이 125 mm, 구경 11 mm), 연소챔버 벽면에 가스검지관

Table 2. Specimens of experiment

구분	재 료 명	밀도(kg/m ³)	실험체 크기(mm)
1	비드발포폴리스티렌폼	26	200(폭)×200(길이)×50(두께)
2	압출발포폴리스티렌폼	25	200(폭)×100(길이)×50(두께)
3	연질폴리우레탄폼	67	200(폭)×200(길이)×50(두께)
4	경질폴리우레탄폼	50	200(폭)×200(길이)×50(두께)
5	경질PVC파이프	1,450	∅100(지름)×4(두께)
6	비닐장판	450	200(폭)×200(길이)×2(두께)
7	폴리에틸렌폼(비난연)	47	200(폭)×200(길이)×10(두께)
8	폴리에틸렌폼(난연)	46	200(폭)×200(길이)×10(두께)

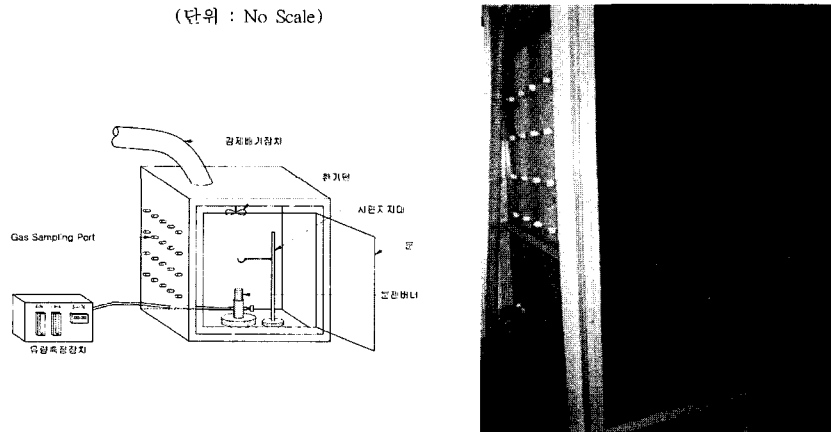


Fig. 1. Combustion gases analysis apparatus.

삼입구, 강제배기장치, 메탄가스 및 공기를 조절하는 유량조정장치, 시편지지대, 시간측정장치, 가스검지관 등으로 구성된 연소가스분석장치를 사용하였다. 이 장치의 구조는 Fig. 1과 같다.

3.3 실험준비

실험체로부터 1~3 g 크기의 시편 3개씩을 절취하여 23±2°C, 상대습도 50±5%의 조건에서 24시간 보존하였으며, 연소챔버 바닥의 중앙에 버너를 설치하고 메탄가스를 10 l/min, 공기를 15 l/min로 조정하여 불꽃 높이를 약 100 mm로 유지 가장 뜨거운 지점에서의 온도가 1,150±50°C가 되도록 하였다.

3.4 실험절차

실험장치는 체적 0.96 m³인 연소챔버, 분젠버너(높이 125 mm, 구경 11 mm), 연소챔버벽면에 가스검지관 삼입구, 강제배기장치, 메탄가스 및 공기를 조절하는 유량조정장치, 시편지지대, 시간측정장치, 가스검지관 등으로 구성된 연소가스분석장치(Fig. 1)를 이용하였다. 연소챔버 바닥 중앙에 위치한 시편 지지대에 시편을

올려놓고 버너의 불꽃을 1,150±50°C로 하여 시편에 노출시켰으며, 녹거나 용융되기 쉬운 재료에 대해서는 시편을 와이어메쉬 시편 지지대위에 놓은 글라스올판에 올려 놓고 연소로 인하여 시편이 손실되는 것을 방지하였다. 연소챔버의 밀폐를 확인하고 강제배기장치가 꺼져 있는지 확인한 다음, 연소챔버 벽면에 가스검지관 삼입구를 통하여 가스검지관을 삼입하고 연소챔버의 문을 닫고 버너에 연료를 공급과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시편이 완전 연소될 수 있는 충분한 시간 동안하며, 이 시간을 기록하고 버너를 끈 후 30초 동안 혼합팬을 작동시킨 후 즉시 연소챔버로부터 각각의 가스검지관을 통하여 차례로 가스를 뽑아내는 가스샘플링을 개시하였다. 가스 분석이 끝나면 즉시 문을 열고 강제배기장치를 통하여 연소챔버내의 잔류 연소생성물들을 배기시키고 강제배기는 3분이상 계속하였다. 시편 모두 연소되었는지 확인하기 위해 시편의 잔량을 확인한 다음, 만약 타지 않은 부분이 있는 것은 새로운 시편을 사용하여 전체 실험을 다시 실시하였다. 식 (1)을 사용하여 재료 100 g 이 연소하여 발생된 각각의 가스의 농도와 체적 1 m³

Table 3. Hazard of the major toxicity gas concentration

기준	가스명	노출시간					
		2분(ppm)		5분(ppm)		30분(ppm)	
		의식장해	사망	의식장해	사망	의식장해	사망
NES 713	CO ₂	-	-	-	-	-	100,000
	CO	-	-	-	-	-	4,000
	HCl	-	-	-	-	-	500
	SO ₂	-	-	-	-	-	400
	NO _x	-	-	-	-	-	250
	HCN	-	-	-	-	-	150
	HBr	-	-	-	-	-	150
	HF	-	-	-	-	-	100
BSI DD 180	CO ₂	70,000 (7%)	150,000 (15%)	70,000 (7%)	100,000 (10%)	60,000 (6%)	100,000 (10%)
	CO	12,500	40,000	5,000	16,000	1,000	3,000
	HCl	1,000	40,000	1,000	16,000	200	3,000
	HCN	200	400	150	300	50	100
ISO TR 9122	CO ₂	-	-	70,000~80,000 (7~8%)	100,000이상 (10%이상)	60,000~70,000 (6~7%이상)	90,000이상 (9%이상)
	CO	-	-	6,000~8,000	12,000~16,000	1,400	1,700
	HCN	-	-	150~200	250~400	90~120	170~230
	HCl	-	-	-	500~1,000	-	50~135
	HF	-	-	-	250~400	-	1774이상

중의 공기중에 확산된 각각의 가스농도를 계산하였다.

$$C_{\theta} = \frac{C \cdot 100 \cdot V}{m} \quad (1)$$

여기서 C_{θ} : 분석된 가스농도(ppm)

C : 연소챔버내의 가스농도(ppm)

m : 시편 질량(g)

V : 연소챔버의 체적(m^3)

각각의 가스에 대해 3개의 C_{θ} 값을 평균한다. 단, CO , CO_2 , NO_x 가스농도는 실험전 연소챔버내에서 버너의 불꽃을 $1,150 \pm 50^{\circ}C$ 로 조정된 다음 점화한다. 1분동안 자유 연소시킨후 연료를 차단하고 30초 동안 혼합관을 작동시킨후 CO , CO_2 , NO_x 가스 농도를 분석(보정값)하고, 최종결과의 값은 C_{θ} 에서 CO , CO_2 , NO_x 보정값을 제외한 값으로 하였다.

3.5 독성가스의 위험성기준

각 독성가스에 인간이 가벼운 활동에서 2분, 5분 및 30분 동안 노출될 때 의식장애 및 사망에 이를 수 있는 독성가스농도의 위험성 기준은 Table 3과 같다.

3.6 결과 및 분석

3.6.1 결과

각 실험체에 대하여 NES 713 연소가스분석장치를

Table 4. Toxicity concentration fatal to man at 30 minutes exposure time(C_f , ppm)⁵⁾

가스명	농도 (ppm)	가스명	농도 (ppm)
이산화탄소(CO_2)	100,000	일산화탄소(CO)	4,000
염화수소(HCl)	500	이산화황(SO_2)	400
이산화질소(NO_2)	250	시안화수소(HCN)	150
브롬화수소(HBr)	150	불화수소(HF)	100

Table 5. Combustion gases concentration for each material(ppm/100 g)

재료명	가스명	CO_2	CO	HCl	SO_2	NO_x	HCN	HBr	HF	시편평균 중량(g)	연소시간 (분)
비드발포폴리스티렌폼		90,640	5,490	-	345	138	-	-	48	1.7	2
압출발포폴리스티렌폼		98,450	6,480	-	650	188	41	140	242	1.6	2
연질폴리우레탄폼		91,250	3,880	540	-	1,610	310	-	-	2.9	2
경질폴리우레탄폼		67,940	7,850	980	440	1,090	420	1,200	2,670	2.6	2
경질PVC파이프		198,930	7,590	4,340	1,720	433	432	6,510	11,410	3.0	4
비닐장판		153,980	8,990	4,830	1,450	398	449	3,540	9,710	2.3	4
폴리에틸렌폼(난연)		68,580	7,660	-	1,330	570	-	-	-	2.7	3
폴리에틸렌폼(난연)		101,780	9,250	-	710	510	220	-	-	2.5	3

이용하여 과잉공기 상태에서 재료의 소형 시편 1~3 g 을 불꽃온도 $1,150 \pm 50^{\circ}C$ 로 $1 m^3$ 인 연소챔버 내에서 완전연소시켜 발생된 각각의 연소가스를 가스검지관 (Colorimetric gas detector tubes)을 사용하여 분석한 연소가스농도를 재료 100 g이 연소시 발생된 각각의 연소가스 및 체적 $1 m^3$ 중의 공기중에 확산된 각 연소가스를 식 (1)을 이용하여 계산한 연소가스농도(C_{θ}) 결과는 Table 5에 나타내었다. 또한 식 (1)에 의해 계산된 연소가스농도(C_{θ})와 Table 4의 각 독성가스농도에 30분 노출시의 치사농도(C_f)를 이용하여 식 (2)에 의해 계산된 독성지수(Toxicity Index, T.I)를 Table 6에 나타내었다.

독성지수(T.I)

$$= \sum_{i=1}^n \frac{C_{\theta i}}{C_{fi}} + \frac{C_{\theta 2}}{C_{f2}} + \frac{C_{\theta 3}}{C_{f3}} + \dots + \frac{C_{\theta n}}{C_{fn}} \quad (2)^{5)}$$

여기서 1, 2, 3 n : 각 연소가스

C_f : 30분 동안 노출시의 사망농도(ppm)

3.6.2 분석

Table 5, 6 및 Fig. 2에서와 같이 비드발포폴리스티렌폼 등 8종의 실험체중 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2), 염화수소(HCl), 시안화수소(HCN), 이산화황(SO_2), 질소산화물(NO_x), 브롬화수소(HBr), 불화수소(HF)가스가 분석된 재료는 경질폴리우레탄폼, 경질 PVC 파이프 및 비닐장판이었으며 비드발포폴리스티렌폼 등 8종 모두 독성지수(T.I)는 1 이상이었으며 그 중 가장 낮은 독성지수를 갖는 실험체는 비드발포폴리스티렌폼이 4.3인데 비해 가장 높은 독성지수를 갖는 실험체는 경질PVC파이프로 179.2로 나타났다.

재료별 및 독성가스별로 분석하면 다음과 같다.

(1) 재료별 분석

- 발포제를 함유한 폴리스티렌비드를 원료로 하여 가

Table 6. Toxicity index(T.I) of 30 minutes exposure at combustion gases concentration conducted with burning for each material

재료명	가스명	CO ₂	CO	HCl	SO ₂	NO _x	HCN	HBr	HF	독성지수 (T.I)
비드발포폴리스티렌폼		0.9	1.4	-	0.9	0.6	-	-	0.5	4.3
압출발포폴리스티렌폼		1.0	1.6	-	1.6	0.8	0.3	0.9	2.4	8.6
연질폴리우레탄폼		0.9	1.0	1.1	-	6.4	2.1	-	-	11.5
경질폴리우레탄폼		0.7	2.0	2.0	1.1	4.4	2.8	8.0	26.7	47.7
경질PVC파이프		2.0	1.9	8.7	3.9	1.7	3.5	43.4	114.1	179.2
비닐장판		1.5	2.2	9.7	3.6	1.6	3.0	3.0	97.1	121.7
폴리에틸렌폼(비난연)		0.7	1.9	-	3.3	2.3	--	-	8.2	
폴리에틸렌폼(난연)		1.0	2.3	-	1.8	2.0	1.5	-	-	8.6

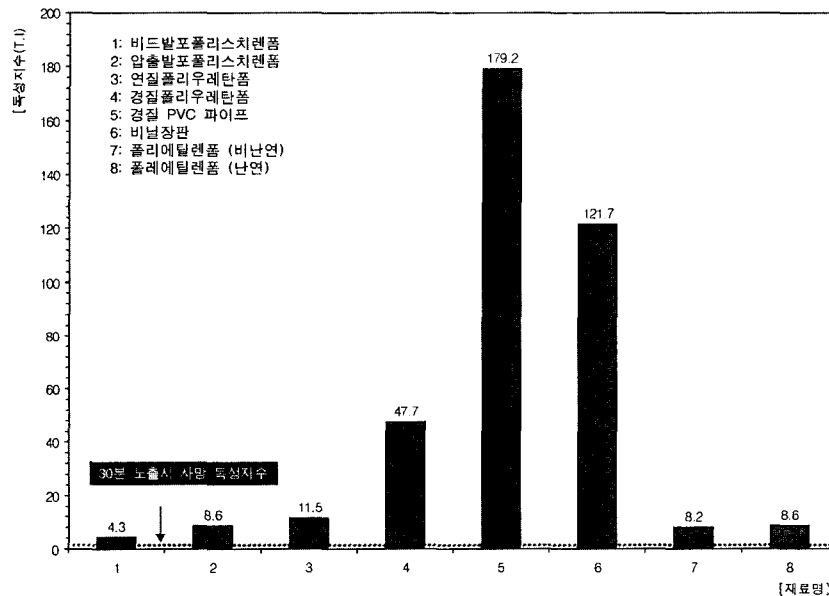


Fig. 2. Toxicity index(T.I) of each plastic material.

열 성형하여 만든 비드발포폴리스티렌폼에서 분석되지 않은 시안화수소(HCN), 브롬화수소(HBr) 가스가 발포제를 압출기 내에서 압출하여 만든 압출발포폴리스티렌폼에서는 분석되었다.

- 연질폴리우레탄폼에서 분석되지 않은 이산화황(SO₂), 브롬화수소(HBr), 불화수소(HF)가스는 경질폴리우레탄폼에서 분석되었으며, 질소산화물(NO_x), 이산화탄소(CO₂)가스는 경질폴리우레탄폼에 비하여 연질폴리우레탄폼에서 더 많은 양이 분석되었다.
- 경질PVC파이프와 비닐장판은 모두 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 염화수소(HCl), 시안화수

소(HCN), 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO_x), 브롬화수소(HBr), 불화수소(HF)의 가스가 비슷하게 분석되었으며, 그 중 일산화탄소(CO), 염화수소(HCl) 및 시안화수소(HCN)가스는 경질PVC파이프에서 더 많은 양이 분석되었다.

- 폴리에틸렌폼(난연)이 폴리에틸렌폼(비난연)에 비하여 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂)가스는 더 많이 분석되었으며, 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO_x)은 폴리에틸렌폼(난연)이 폴리에틸렌폼(비난연)에 비하여 적게 분석되었고, 폴리에틸렌폼(비난연)에서 분석되지 않은 시안화수소(HCN)가 폴리에틸렌

폼(난연)에서는 분석되었다.

이는 폴리에틸렌폼(난연)이 난연성을 증대시키기 위하여 비할로겐 또는 할로겐 난연물질을 첨가함으로써 시안화수소(HCN) 등의 독성가스가 더 분석된 것으로 사료된다.

- 경질폴리우레탄, 경질PVC파이프 및 비닐장판의 경우 시안화수소(HCN)가 420 ppm, 432 ppm, 449 ppm이 발생하여 Table 4(독성가스의 위험성기준)를 이용하여 분석하면 인체 흡입시 2분 이내에 사망할 수 있으며, 연질폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼(난연)의 경우 연소가스에 노출시 2분 이내에 의식장애를 일으킬 수 있으며, 경질폴리우레탄폼 등 8종 모든 실험체는 연소시 발생하는 일산화탄소(CO) 가스 등에 인간이 5분 동안 가벼운 활동에 노출될 때 의식장애 또는 사망에 이를 수 있는 위험성에 있는 것으로 나타났다.

(2) 독성가스별 분석

- 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 및 질소산화물(NO_x)가스는 경질폴리우레탄 등 8종의 모든 실험체에서 분석되었으며, 일산화탄소(CO)는 폴리에틸렌폼(난연)에서 이산화탄소(CO₂)는 경질PVC파이프에서 질소산화물(NO_x)은 연질폴리우레탄폼에서 가장 많은 양이 분석되었다.
- 염화수소(HCl)가스는 비닐장판에서 가장 많은 양이 분석된 반면, 비드발포폴리스티렌폼, 압출발포폴리스티렌폼 및 폴리에틸렌폼(비난연, 난연)에서는 분석되지 않았다.
- 이산화황(SO₂)가스는 경질PVC파이프에서 가장 많은 양이 분석되었으며, 연질폴리우레탄폼에서는 분석되지 않았다.
- 시안화수소(HCN)가스는 경질폴리우레탄폼, 경질PVC파이프 및 비닐장판에서 비슷하게 분석되었고, 비드발포폴리스티렌폼 및 폴리에틸렌폼(비난연)에서는 분석되지 않았다.
- 브롬화수소(HBr)가스는 경질PVC파이프에서 가장 많은 양이 분석되었으며, 비드발포폴리스티렌폼, 연질폴리우레탄폼 및 폴리에틸렌폼(비난연, 난연)에서는 분석되지 않았다.
- 불화수소(HF)가스는 경질PVC파이프에서 가장 많은 양이 분석되었으며, 연질폴리우레탄폼 및 폴리에틸렌폼(비난연, 난연)에서는 분석되지 않았다.

4. 결 론

압출발포폴리스티렌폼, 경질폴리우레탄폼 및 비닐장

판 등 8종의 플라스틱재료에 대한 연소가스독성을 평가하기 위하여 NES 713의 실험방법에 의한 가스검지관을 이용하여 실시한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 경질폴리우레탄폼 등 8종의 모든 플라스틱재료에서 연소시 발생하는 연소가스에 인간이 30분 동안 노출될 경우 사망에 이르는 1 이상의 독성지수(T.I)를 갖고 있었으며, 연질 폴리우레탄폼, 경질폴리우레탄폼, 경질PVC파이프, 비닐장판의 연소시 발생하는 독성지수(T.I)는 10 이상이었고, 특히 경질PVC파이프 및 비닐장판의 독성지수(T.I)는 179.2, 121.7로 나타났다.

2. 경질폴리우레탄, 경질PVC파이프 및 비닐장판의 경우 시안화수소(HCN)가 420 ppm, 432 ppm, 449 ppm이 발생하여 인체 흡입시 2분 이내에 사망할 수 있으며, 연질폴리우레탄폼, 폴리에틸렌폼(난연)의 경우 연소가스독성에 노출시 2분 이내에 의식장애를 일으킬 수 있으며, 경질폴리우레탄폼 등 8종 모든 플라스틱재료에서 연소시 발생하는 연소가스독성에 인간이 5분 동안 가벼운 활동에 노출될 때 의식장애 또는 사망에 이를 수 있는 위험성에 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. “95화재통계년보”, 내무부소방국, p37(1996).
2. “소방백서”, 소방청편, pp46-50(1998).
3. “NFPA analysis of data from U.S. death certificates coded”, NFPA, E890-E899(1995).
4. 윤명오, “화성씨랜드 화재문제 및 대책”, 한국화재·소방논문지. Vol. 12, No. 4, p58(1999).
5. NES 713, “Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials”, Issue 03(1985).
6. DIN 53436, “Generation of thermal products materials in air and their toxicological evaluation”, DIN(1981).
7. Gordon E. Hartzell, “Advances in Combustion Toxicology”, Vol. 3, Technomic Publishing Co., Inc., PA, pp.8-18(1989).
8. NF X 70-100, “Fire tests- Analysis of combustion and pyrolysis gases-Tube furnace method”, AFNOR (1986).
9. ISO TR 9122, “Toxicity testing of fire effluents”, ISO(1989).
10. BSI DD 180, “Draft for Development Guide for the assessment of toxic hazards in fire buildings and transport”, BSI(1989).
11. IMO MSC 61.(67), “Adoption of the international code for application of fire test procedures, Part 2.

- Somke and toxicity test”, IMO(1996).
12. Ejji Yanai, “고분자재료의 연소생성가스 및 그 독성”, 火災, Vol. 47, No. 6, p6(1997).
13. IEC 811-1-3, “Insulation and sheathing materials of electric cables - Common test methods - Part 1: General application - Section 3: Methods for determining the density - Water absorption tests - Shrinkage test”, IEC(1993).