

가스검지관법에 의한 플라스틱재료의 연소가스 위험성평가

박영근, 김동일, 노호성, 현성호[†]

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, [†]경민대학 소방과학과

A Risk Evaluation Combustion Gases of Plastics Material by Colorimetric Gas Detector Tubes

Park, Young-Keun, Kim, Dung-II, Ro, Ho-Seung, Hyun, Seong-Ho[†]

Fire Insurers Laboratories of Korea, a Subsidiary of Korean Fire Protection Association,

[†]*Dept. of Fire Protection Science, Kyungmin College*

1. 서론

건축물의 대형화, 구조의 전문화·세분화 및 용도가 다양화 되면서 새로운 재료들이 많이 개발되고 있다. 건축구조 및 용도 등의 다변화에 따라서 플라스틱류 등 그 종류도 상당히 다양하다. 목재, 섬유, 종이, 플라스틱 등의 고분자재료로 이루어진 새로운 재료들이 기존의 재료들에 비해 뛰어난 장점들이 많지만 대부분 가연성인 경우가 많다. 최근에 화성 씨랜드 수련원 화재 및 인천 인현동 호프집 화재에서 나타난 바와 같이 내장재료의 연소시 유독성가스 등에 의해 대형 인명피해를 발생시켰다. 화재로 인한 사망 원인중 우리나라의 경우 '95년에 질식사가 48.6 %, 일본의 경우 최근5년('93~'97년)에 CO가스 중독 또는 질식사가 약 37.4 %, 미국의 경우 '92년에 유독성연기가 72.2 %를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 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) 713의 가스검지관(GASTEC)가스검지관 (Colorimetric gas detector tubes)을 이용하여 위험성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험체

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

표 1. 실험체의 종류

실험체종류	재료명	밀도(kg/m ³)
1	비드발포폴리스티렌폼	26
2	압출발포폴리스티렌폼	25
3	연질폴리우레탄폼	67
4	경질폴리우레탄폼	50
5	경질PVC파이프	1,450
6	비닐장판	450
7	폴리에틸렌폼(비난연)	47
8	폴리에틸렌폼(난연)	46

2.2. 실험장치

실험장치는 체적 0.96m³인 연소챔버, 분젠버너(높이 125mm, 구경 11mm), 연소챔버 벽면에 가스검지관 삽입구, 강제배출장치, 혼합팬, 메탄가스 및 공기를 조절하는 유량조정장치, 시편지지대, 시간측정장치, 가스검지관 등으로 구성된 연소가스분석장치를 사용하였다. 이 장치의 구조는 그림 1과 같다.

(단위 : No Scale)

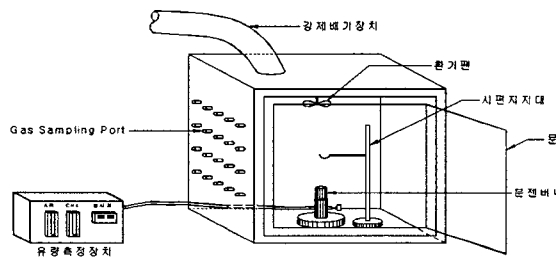


그림 1. 연소가스분석장치 구조도

2.3 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 불꽃높이를 약 100mm로 유지 가장 뜨거운 지점에서의 온도가 1,150±50°C가 되도록 하였다.

2.4. 실험절차

연소챔버 바닥 중앙에 위치한 시편 지지대에 시편을 올려놓고 버너의 불꽃을 $1,150 \pm 50$ °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 강제배출장치가 꺼져 있는지 확인한 다음, 연소챔버 벽면에 가스검지관 삽입구를 통하여 가스검지관을 삽입 하고 연소챔버의 문을 닫고 버너에 연료를 공급과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시편이 완전 연소될 수 있는 충분한 시간 동안하며, 이 시간을 기록하고 버너를 끈후 30초동안 혼합팬을 작동시킨 후 즉시 연소챔버로부터 각각의 가스검지관을 통하여 차례로 가스를 뽑아내는 가스샘플링을 개시하였다. 가스분석이 끝나면 즉시 문을 열고 강제배출장치를 통하여 연소챔버내의 잔류 연소생성물들을 배출시키고 강제배출은 3분이상 계속하였다.

시편 모두 연소 되었는지 확인하기 위해 시편의 잔량을 확인한 다음, 만약 타지 않은 부분이 있는 것은 새로운 시편을 사용하여 전체 실험을 다시 실시하였다. 아래의 주어진 식을 사용하여 재료 100 g이 연소하여 발생된 각각의 가스의 농도와 체적 1 m³중의 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(m³)

각각의 가스에 대해 3개의 C_θ값을 평균한다.

단, CO, CO₂, NOX 가스농도는 실험전 연소챔버내에서 버너의 불꽃을 $1,100 \pm 50$ °C로 조정 한 다음 점화하고 1분동안 자유 연소시킨후 연료를 차단하고 30초동안 혼합팬을 작동 시킨후 CO, CO₂, NOX가스 농도를 분석(보정값)하고, 최종결과의 값은 C_θ에서 CO, CO₂, NOX 보정값을 제외한 값으로 하였다.

독성지수(Toxicity Index, T.I)는 계산식 (1)에 의해 계산된 연소가스농도와 표 1을 이용하여 계산식 (2)에 의해 계산하였다.

독성지수(T.I)

$$= \sum_{i=1}^n \frac{C_{\theta 1}}{C_{f1}} + \frac{C_{\theta 2}}{C_{f2}} + \frac{C_{\theta 3}}{C_{f3}} + \dots \dots \dots \frac{C_{\theta n}}{C_{fn}} \quad (2)$$

여기서 1, 2, 3.... n : 각 연소가스
 C_f : 30분 동안 노출시의 사망농도(ppm)

표 1. 30분 동안 노출시의 사망농도(Cf)

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	시아니화수소(HCN)	150
브롬화수소(HBr)	150	불화수소(HF)	100

3. 결과 및 분석

3.1 결과

각 실험체에 대하여 NES 713 연소가스분석장치를 이용하여 과잉공기 상태에서 재료의 소형 시편 1~3g을 불꽃온도 1,150±50℃ 로 1 m³인 연소챔버내에서 완전연소시켜 발생된 각각의 연소가스를 가스검지관((Colorimetric gas detector tubes)을 사용하여 분석한 실험결과는 표 2, 표 3에 나타내었다.

표 2. 재료별 연소가스 발생량(ppm/100g)

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

표 3. 재료별 각 연소가스에 30분 동안 노출시의 독성지수(T.I)

재료명 \ 가스명	CO ₂	CO	HCl	SO ₂	NOX	HCN	HBr	HF	독성지수 (T.I)
비드발포폴리스치렌폼	0.9	1.4	-	0.9	0.6	-	-	0.5	4.3
압출발포폴리스치렌폼	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

3.2 분석

표 2, 3 및 그림 2와 같이 비드발포폴리스치렌폼 등 8종 모두 독성지수(T.I)는 1 이상이었으며 그 중 경질 PVC파이프가 179.2로 가장 높게 나타났다.

가장 낮은 독성지수를 갖는 시험체는 비드발포폴리스치렌폼로 4.3인데 비해 가장 높은 독성지수를 갖는 시험체는 경질 PVC파이프로 179.2로 나타났다.

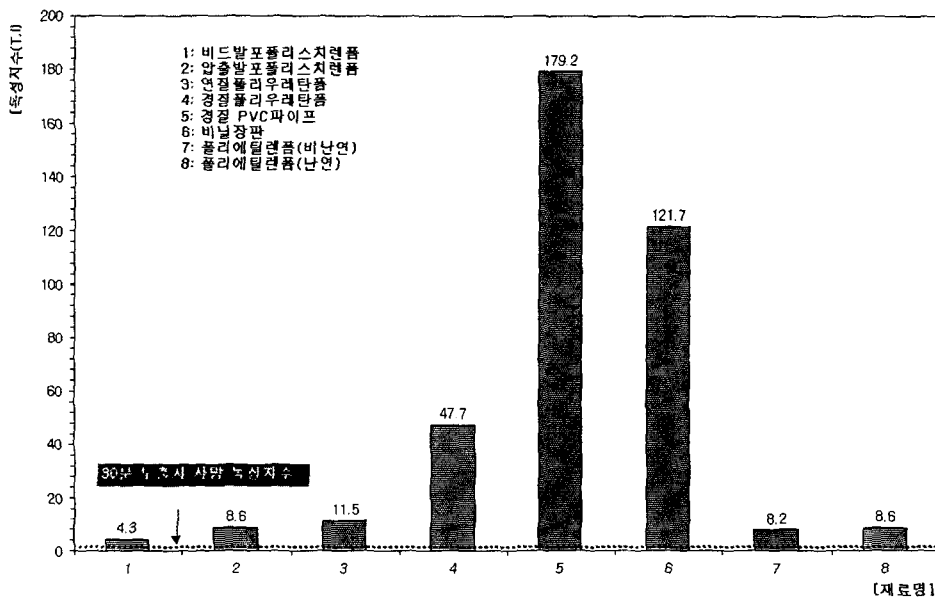


그림 2. 재료별 독성지수(T.I)

4. 결론

압출발포폴리스티렌폼, 경질폴리우레탄폼 및 비닐장판 등 8종의 플라스틱재료에 대한 연소가스를 정량적으로 위험성을 평가하기 위하여 NES 713의 실험방법에 의한 가스검지관을 이용하여 실시한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 연질폴리우레탄폼, 경질폴리우레탄폼, 경질 PVC파이프, 비닐장판의 연소시 발생하는 독성지수(T.I)는 10이상이었으며, 특히 경질 PVC파이프 및 비닐장판의 독성지수(T.I)는 179.2, 121.7로 나타났다. 경질 PVC파이프 등 8종의 모든 시험체는 연소시 발생하는 일산화탄소(CO)가스 등에 인간이 30분 동안 가벼운 활동에 노출될 때 사망에 이를 수 있는 위험성에 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. '95화재통계년보, 내무부소방국, p.37(1996)
2. 소방백서, 소방청편, pp.46~50(1998)
3. "NFPA analysis of data from U.S. death certificates coded", NFPA, E890~E899(1995)
4. NES 713, "Determination of the toxicity index of the products of combustion from small specimens of materials", Issue 03(1985)
5. 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)
6. "화재시 유해가스발생에 관한 연구", 한국화재보험협회, p69 (1980)