

B-01

## 산업용 단열재의 연기밀도에 관한 연구

박영근, 김동일, 윤명오\*, 현성호\*\*

한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, 서울시립대학교\*, 경민대학\*\*

### A Study on the Optical Smoke Density of Industry Using Insulating Materials

Young-Keun Park, Dung-Li Kim, Myung-O Yoon\*, Seong-Ho Hyun\*\*

Fire Insurers Laboratories of Korea, a Subsidiary of Korean Fire Protection Association, University of Seoul\*, Kyungmin College\*\*

#### 1. 서론

폴리우레탄폼, 스티로폼 등 발포플라스틱은 단열성능이 우수하면서도 가볍고 취급 및 시공이 상대적으로 용이한 장점이 있어 단열재로서 냉동창고 등의 사업장에서 널리 사용되고 있다. 그러나 이들 발포 플라스틱들은 연소하기 쉬운 재료로서 급속한 화염전파, 높은 열방출율, 많은 양의 연기발생 등 화재의 위험성이 상대적으로 높다는 문제점을 안고 있다.

폴리우레탄은 315 °C ~ 370 °C<sup>1)</sup>의 범위에서 착화가 가능하고, 일부 발포플라스틱의 경우 휘발유와 비슷한 발열량을 갖는 것도 있어 화재시 엄청난 양의 열이 방출시킬 수 있다. 또한 이들 단열재의 연소로 인해 발생하는 농후하고 검은 색의 연기는 피난 및 소화활동에 커다란 장애요인이 되고 있으며 사업장에 따라서는 연기로 인한 피해가 화재로 인한 피해를 초과할 만큼 심각한 경우도 있다.

화재에 의한 희생자의 사인이 종래에는 화재시의 열에 의한 화상을 중심으로 하는 소사였지만 화재시 발생하는 유독가스의 영향에 의해 사망하는 경우가 증가하고 있다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 산업용 단열재료 많이 쓰이고 있는 폴리스티렌보드, 폴리우레탄보드, 발포 폴리에틸렌시이트, 암면에 대하여 연소시 발생하는 연기발생량을 ASTM E 6623)에 의하여 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험체

유기질 및 무기질 산업용 단열재로 비드법 발포폴리스티렌, 압출법 발포폴리스티렌, 경질 폴리우레탄폼, 발포 폴리에틸렌 보온재, 압면 등 11종의 실험체로 선정하였으며 실험체의 규격은 Table 1과 같다.

Table 1. 실험체의 규격

구분	실험체명	구성성분	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	두께 (mm)
A	폴리스티렌보드 (비드법)	폴리스틸렌, 발포제 등	21.1	25
B			20.5	
C			25.9	
D			30.2	
E	폴리스티렌보드 (압출법)	폴리스틸렌, 발포제 등	22.0	25
F			42.0	
G	폴리우레탄보드	MDI, Polyol 등	38.0	25
H	발포 폴리에틸렌 시이트(경질, 난연)	폴리에틸렌수지, 폴리프로필렌수지, 아조디카본아미드, 가교제, 할로겐화합물 난연제	28.9	10
I			70.0	
J	발포 폴리에틸렌 시이트(경질, 비난연)	폴리에틸렌수지, 폴리프로필렌수지, 아조디카본아미드, 가교제	43.3	10
K	압면	미네랄울	80.0	25

### 2.2 실험장치

연기밀도실험장치는 ASTM E 662에 적합한 자동변압기, 교류조절장치, 전압계, 전기압력, 복사판, 점화장치, 마이크로광도계 등으로 구성되어 있으며, 내부크기는 914 mm ± 3 mm (L) x 914 mm ± 3 mm (H) x 610 mm ± 3 mm (D)이며, 이 실험장치는 Fig 1과 같다.

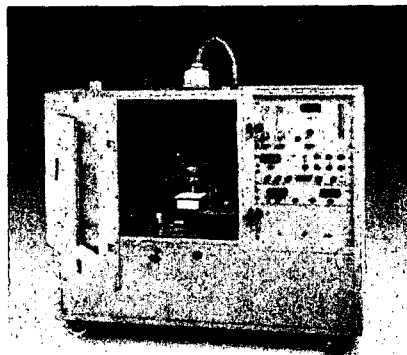


Fig. 1. 연기밀도시험장치

### 2.3 실험방법

실험체를 연기밀도실험장치인 Fig 1를 이용하여 25 kW/m<sup>2</sup>의 복사열만으로 가열방식인 혼소상태(Non-Flaming mode)와 25 kW/m<sup>2</sup>의 복사열 앞에 점화장치로 프로판가스 마이크로버너(불꽃길이: 6.4 mm)를 동시에 점화시키는 불꽃상태(Flaming mode)를 20 동안 시험하여 발생하는 연기는 집열챔버에 모아지고 집열챔버를 통과된 빛의 강도를 수직방향에서 연속적으로 연기농도를 측정하였다. 결과는 비광학밀도(Optical Smoke Density)로 표시되며 연기밀도

(Ds)는 (1) 식에 의하여 계산하였다.

$$Ds(\text{연기밀도}) = G(\log_{10} (100/T)) \dots\dots\dots(1)$$

여기서, G(연기밀도의 챔버의 기하학적요소) = V/(A · L)

V = 실험챔버 용적

A = 실험체의 폭로 면적

L = 연기를 통과하여 빛이 지나간 길이

T = PM(photo multiplier) 마이크로 광도계가 투과율(%)

Dm(최대)는 실험과정에서 얻은 최소 광투과량 T를 이용하여 식 (1)으로부터 계산된 최대 비광학밀도이다.

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1 결과

산업용 단열재로 쓰이고 있는 폴리스테렌보드, 폴리우레탄보드, 발포 폴리에틸렌시트, 암면에 대하여 ASTM E 662에 의하여 20분 동안 실험을 통하여 1.5분시, 4분시에 발생한 연기 및 최대연기밀도 측정결과를 Table 2 및 Fig 1, 2에 나타내었다.

Table 2. 연기밀도실험결과

실험체 구분	Flaming mode			Non-Flaming mode		
	Ds (1.5 min)	Ds (4.0 min)	Dm(최대)	Ds (1.5 min)	Ds (4.0 min)	Dm(최대)
A	0.4	23.1	102.4	0.6	2.0	15.7
B	1.3	75.3	235.6	0.6	2.0	15.4
C	0.7	191.4	344.2	0.5	2.1	21.9
D	1.5	250.0	573.9	0.9	3.2	26.4
E	7.7	31.8	137.6	1.6	6.8	23.4
F	10.6	77.9	289.3	1.9	13.5	54.1
G	210.2	222.9	224.1	55.5	78.1	144.4
H	61.5	81.8	149.4	1.2	25.2	69.2
I	93.3	128.8	161.4	1.3.5	33.7	122.9
J	114.8	201.7	202.9	13.4	45.6	146.5
K	0.3	0.4	1.8	0.2	0.3	1.4

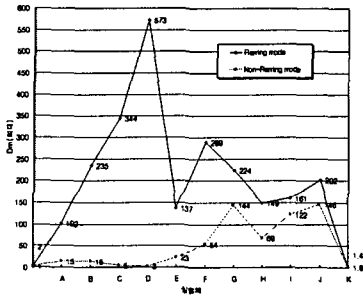


Fig 2. Ds(4 min) 연기밀도

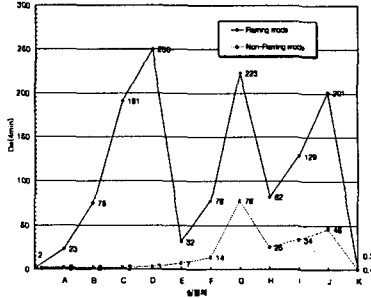


Fig 3. Dm(최대) 연기밀도

### 3.2 분석

유기질 재료 중 연기밀도는 Flaming mode에서 폴리스티렌보드(비드법, 밀도 30.2 kg/m<sup>3</sup>)가 가장 높았으며 폴리스티렌보드(비드법, 밀도 21.2 kg/m<sup>3</sup>)가 가장 낮게 발생되었다. Flaming mode, Non-Flaming mode에서 폴리스티렌보드(비드법)의 경우 밀도가 높을수록 높게 나타났으며 이는 복사열에 용융된 폴리스티렌이 불꽃에 의하여 착화되면서 높은 연기가 발생되었으며. Flaming mode에서 최대연기밀도는 암면에 비하여 폴리스티렌보드(비드법, 밀도 30.2 kg/m<sup>3</sup>)는 318배 많이 발생하였으며, 발포 폴리에틸렌시트의 경우 난연처리 제품이 난연처리 되지 않은 제품에 비하여 높은 연기가 발생된 것으로 나타났다 이는 성분 함량이 많은 난연제품이 복사열에 용융된 폴리에틸렌수지가 점화장치에 의하여 착화되면서 많이 연기가 발생한 것으로 사료된다.

Non-Flaming mode에서 제품이 복사열에 용융하지만 착화되지 않으므로 적은 연기가 발생하였다.

공업용도, 업무용도 등에 쓰이는 단열재료를 Table 3의 NFPA 101에 정하는 등급을 적용하면 폴리스티렌보드(비드법, 밀도 30.2 kg/m<sup>3</sup>)만이 등급에 벗어나는 것으로 나타났다.

Table 3. 각 재료별 연기밀도 등급

기준	재료(용도)	연기밀도 등급 (Flaming mode)
국제해사기구(IMO) FTP Code <sup>4)</sup>	내장재, 천정재, 격벽	Dm(최대) : 200이하
	바닥재	Dm(최대) : 500이하
	PVC, 전선	Dm(최대) : 400이하
Airbus Industric사 <sup>5)</sup>	덕트보온재, 마감재, 직물	Ds(4.0 min) : 100이하
	천정재, 플라스틱재료	Ds(4.0 min) : 200이하
NFPA 101 <sup>6)</sup>	공업용도, 업무용도 등 내장재료	Dm(최대) : 450이하
도시철도차량 안전 기준에 관한 규칙 <sup>7)</sup>	단열재, 내장재	Ds(4.0 min) : 100이하
소방시설 설치유지 및 안전관리에관한법 시행령 <sup>8)</sup>	합판 등 방염대상재료	Dm(최대) : 400이하

#### 4. 결론 및 제언

본 연구에서는 산업용 단열재료 많이 쓰이고 있는 폴리스티렌보드, 폴리우레탄보드, 발포 폴리에틸렌시이트, 암면에 대하여 연소시 발생하는 연기를 ASTM E 662에 의하여 평가한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Flaming mode는 Non-Flaming mode보다 많은 연기를 발생하였으며 .폴리 스티렌보드(비드법)의 경우 밀도가 높을수록 연기가 많이 발생하였다.
- 2) 폴리우레탄보드의 경우 Ds(1.5min)에서는 Flaming mode 및 Non-Flaming mode 모두 쉽게 착화되어 가장 많은 연기가 발생하였다.
- 3) 냉동창고, 유흥음식점 등 화재발생시 인명 및 재산피해가 발생할 위험성이 많은 사업장은 Dm(최대) 200이하, 공업용도, 업무용도에는 Dm(최대) 450이하의 연기밀도를 갖는 단열재를 사용하는 것이 화재로부터 인명피해를 최소화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Factory Mutual, "Caution-Plastics in construction, Part 1. Foamed Plastic Insulation", Record, 3rd Quarter, pp6~11(1997).
2. 윤명호, "화성씨랜드 화재문제 및 대책", 한국화재·소방학회지(1999).
3. ASTM E 662, Standard test methods for specific optical density of smoke generated by solid materials(2003).
4. 국제해사기구(IMO) International Code for Application of Fire Test Procedures(FTP Code) Part 2(2003).
5. J. Troitzsch, International Plastics Flammability Handbook, principles-Pegulation-Testing and Approval, Chapter 8. Macmillan Publishing Co., pp. 295-304(1983)
6. NFPA 101 Life Safety Code(1997)
7. 도시철도차량 안전 기준에 관한 규칙, 건설교통부(2004)
8. 소방시설설치유지 및 안전관리관한법 시행령 제20조(대통령령 제18404호, 2004.5.29)