

## 건축용 외장재의 연소가스 독성평가

박영주 · 이해평\* · 김해림\*\* · 이원석\*\*\* · 양영숙\*\*\* · 이미리\*\*\*

강원대학교 화학공학연구소, 강원대학교 소방방재학부\*, 강원대학교 방재전문대학원\*\*,  
서울소방학교 소방과학연구센터\*\*\*

### A Study on Combustion Gas Toxicity of Architecture Surface Material

Lee, Hae Pyeong · Park, Young Ju\* · Kim, Hae Rim\*\* ·

Lee, Won Seok\*\*\* · Yang, Young Suk\*\*\* · Lee, Mi Li\*\*\*

Dept. of Fire & Emergency Management, Kangwon National University,

\*Chemical Engineering Research Center, Kangwon National University,

\*\*Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University,

\*\*\*Fire Science Research Center, Seoul Metropolitan Fire Service Academy

### 요 약

본 연구에서는 건축물에 화재가 발생 시, 건축용 외장재로부터 발생하는 연소가스의 독성을 분석함으로써 소방관을 비롯한 건물 재실자들에게 미치는 영향에 대해서 고찰하였다. 실험 방법은 건물의 외장재로 많이 사용되는 일반스티로폼, 강화스티로폼, 우레탄폼 그리고 유리섬유 재질의 외장재를 대상으로 NES 713 방법을 이용하였다. 실험 결과를 살펴보면, 대부분의 시료들로부터 CO, CO<sub>2</sub>, HCHO, CH<sub>2</sub>CHCN, NO<sub>x</sub> 등이 검출되었으며, 우레탄폼의 경우, 다른 시료들과 달리 HCl과 HCN이 추가적으로 검출되었다. 하지만 대부분의 시료들로부터 검출된 독성가스들은 치사농도에는 훨씬 못미치는 것으로 나타났으며, 독성지수 값들을 살펴보면, 일반스티로폼<강화스티로폼<유리섬유<우레탄폼의 순으로 나타났다.

### 1. 서 론

화재 대비와 안전관리 대책이 담보되지 않는 초고층 건물의 주거 시설 허용은 대규모 참사와 인명 피해로 이어질 수밖에 없다는 사실을 지난 2010년 10월 부산 해운대에 소재한 우신골드스위트 화재를 통해서 확인할 수 있었다. 화재가 발생한 곳은 38층의 주상복합건축물이다. 아직까지 고층 빌딩에 대한 별다른 규제가 없는 우리나라 소방법은 11층 이상의 일반 건축물과 동일하게 소방법규를 적용받고 있는 게 현실이다. 해당 화재에서는 4층에서 발생한 화재가 삼시간에 꼭대기까지 번지면서 피해를 키웠으며, 건물 외장재로 쓰인 알루미늄 복합 판넬이 주된 원인이었다.

업계에 따르면 고층건물용 외장재로는 주로 알루미늄 판넬과 알루미늄 복합 판넬 등이 사용되지만 이 건물에는 화재에 취약한 알루미늄 복합판넬이 쓰였다. 이 복합 판넬의 경우 4mm 기본 두께로 알루미늄판과 판 사이에 접합시킨 심재에 따라 내화성이 크게 달라지는

데 폴리에틸렌이 사용될 경우는 불에 타기 쉽고 무기질 심재가 사용될 경우는 난연성을 보인다. 현재 오피스 빌딩이나 호텔, 백화점, 일반상가, 주택을 비롯해 천정이나 각종 쇼룸, 실내장식 등의 내외장재로 많이 쓰인다. 사실상 외벽 마감재에 대한 제도적 기준과 인증 체계가 정립되지 않은 상태이어서 건설사의 요구에 따라 자재를 선정해 시공되기 때문이다. 안전성보다는 경제성을 중시한 건설사의 자재 선택이 결국 화를 부른 꼴이다. 외장재의 접합부와 내부 심재는 해당 화재사고를 보더라도 건축물의 총체적인 안전성을 위협할 수 있어 구체적인 성능기준을 정립해 제도적 기준을 마련해야만 한다.

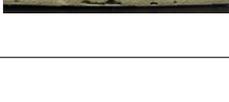
따라서 본 연구에서는 현재 건축물 외장재로 널리 쓰이는 재료들 가운데 4가지를 선정해서 NES 713방법에 따른 독성가스 평가를 통해 화재 발생 시, 외장재로부터 발생하는 연소가스의 독성을 평가해보고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험대상

본 연구에서는 건축용 외장재로 사용되는 재료들 가운데 가장 많이 사용되는 것으로 알려진 일반스티로폼, 강화스티로폼, 우레탄폼, 유리섬유를 선정하여 실험을 수행하였으며, 표 1에는 대상 시료들에 대한 간략한 특성을 제시하였다.

표 1. 실험대상

구 분		특 징
일반스티로폼		스티로폼(styrofoam)은 발포 스타이렌 수지를 일상적으로 이르는 말로서 거품처럼 작은 기포를 무수히 지닌 스타이렌 수지는 가볍고 단열성이 좋아 단열재, 포장 재료, 흡음재, 장식재 따위로 널리 쓰인다.
강화스티로폼		압축스티로폼(reinforced styrofoam)은 일명 아이소핑크라고 하며 일반스티로폼보다 밀도가 더 높다. 즉, 표면을 비롯해 재료 전반적으로 더 단단하다.
우레탄폼		우레탄폼(polyurethane foam)은 아이소사이안산염화합물과 글리콜의 반응으로 얻어지는 폴리우레탄을 구성 재료로 하고, 구성성분인 아이소사이안산염과 다리결합제로 쓰는 물과의 반응으로 생기는 이산화탄소와 프레온과 같은 휘발성 용제를 발포제로 섞어서 만드는 발포 제품을 일컫는다.
유리섬유		유리섬유(glass fiber)는 용융한 유리를 섬유 모양으로 한 광물섬유이며 유리섬유의 성질은 다음과 같다. ① 고온에 견디며, 불에 타지 않는다. ② 흡수성이 없고, 흡습성이 적다. ③ 화학적 내구성이 있기 때문에 부식하지 않는다. ④ 강도, 특히 인장강도가 강하다. ⑤ 신장률이 적다. ⑥ 전기 절연성이 크다. ⑦ 내마모성이 적고, 부서지기 쉬우며 부러진다. ⑧ 비중은 나일론의 2.2배, 무명의 1.7배이다. ⑨ 매트로 만든 것은 단열·방음성이 좋다.

## 2.2 실험방법

건축용 외장재의 독성을 알아보기 위해서 NES 713 규격을 만족하는 영국 FTT사의 Toxicity Test Apparatus를 사용하였다. 이 시험 규격은 물질의 완전연소 후 각각의 독성가스를 측정할 수 있는 검지관을 이용하여 13가지의 개별 독성가스를 측정하여 최종적으로 독성지수 값을 계산하였다.

0.7~1m<sup>3</sup>의 일정한 부피를 가진 시험 챔버에 화염길이 100~125mm, 화염의 온도 1150±25℃의 버너를 사용하여 1g의 시편을 연소시킨다. 완전연소 후 챔버 내에 발생한 가스의 혼합을 위해 팬을 30초간 작동시킨 다음, 검지관을 이용하여 가스를 추출한다.

표 2. 치사농도

Gas	C <sub>f</sub> (ppm)
Carbon dioxide(CO <sub>2</sub> )	100,000
Carbon monoxide(CO)	4,000
Hydrogen sulphide(H <sub>2</sub> S)	750
Ammonia(NH <sub>3</sub> )	750
Formadehyde(HCHO)	500
Hydrogen chloride(HCl)	500
Acrylonitrile(CH <sub>2</sub> CHCN)	400
Sulphur dioxide(SO <sub>2</sub> )	400
Oxides of nitrogen(NO <sub>x</sub> =NO+NO <sub>2</sub> )	250
Phenol(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	250
Hydrogen cyanide(HCN)	150
Hydrogen bromide(HBr)	150
Hydrogen fluoride(HF)	100

각각의 가스에 대해서 시험 챔버의 부피 및 사용된 무게를 적용하여 100g의 시편이 연소됐을 경우로 환산한다. 각 가스의 농도는 식 (1)에 의해서 계산된다.

$$C_{\theta}(\text{ppm}) = \frac{C_i * 100 * V}{m} \quad (1)$$

여기에서,

- C<sub>i</sub> 시편의 연소의 결과 측정된 각각의 가스농도(ppm)
- m 시편의 질량(g)
- V 시험챔버의 부피(m<sup>3</sup>)

각각의 C<sub>θ</sub> 값과 치사농도를 이용한 독성지수는 식(2)에 의해 계산된다.

$$\text{Toxicity Index} = \frac{C_{\theta 1}}{C_{f1}} + \frac{C_{\theta 2}}{C_{f2}} + \frac{C_{\theta 3}}{C_{f3}} + \dots + \frac{C_{\theta n}}{C_{fn}} \quad (2)$$

여기에서,

$C_{\theta}$  식 (1)에 의해 계산된 가스의 평균값(ppm)

$C_f$  30분간 노출됐을 경우의 치사 농도(ppm)

각 가스에 대한 30분간 노출 시 치사농도는 표 2와 같다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 검출된 물질

NES 713 방법에 의하여 1g의 시험체를 밀폐공간에서 연소시킨 경우, 생성되는 유독가스를 Drager 직독식 검지관을 이용하여 측정된 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 총 4종의 대상물질 가운데 H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH, HBr, HF 등 6가지 물질은 검출되지 않았으며, CO<sub>2</sub>, CO, HCHO, NO<sub>x</sub> 등 4가지 물질은 모든 대상물질에서 검출되었다. 그리고 HCl은 우레판폼에서 검출되었고, HCN은 우레판폼과 유리섬유에서만 검출되었는데 CH<sub>2</sub>CHCN의 경우는 일반스티로폼에서만 검출되지 않았다.

표 3. 측정결과

실험대상 가스 (ppm)	일반 스티로폼	강화 스티로폼	우레탄폼	유리섬유
CO <sub>2</sub>	5,000	5,000	5,500	5,000
CO	5	10	100	10
H <sub>2</sub> S	0	0	0	0
NH <sub>3</sub>	0	0	0	0
HCHO	0.2	0.2	5	0.5
HCl	0	0	1	0
CH <sub>2</sub> CHCN	0	0.5	6	1
SO <sub>2</sub>	0	0	0	0
NO <sub>x</sub> =(NO+NO <sub>2</sub> )	5	5	10	10
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	0	0	0	0
HCN	0	0	5	1
HBr	0	0	0	0
HF	0	0	0	0
<b>Toxicity Index</b>	<b>4.9</b>	<b>5.3</b>	<b>11.7</b>	<b>6.8</b>

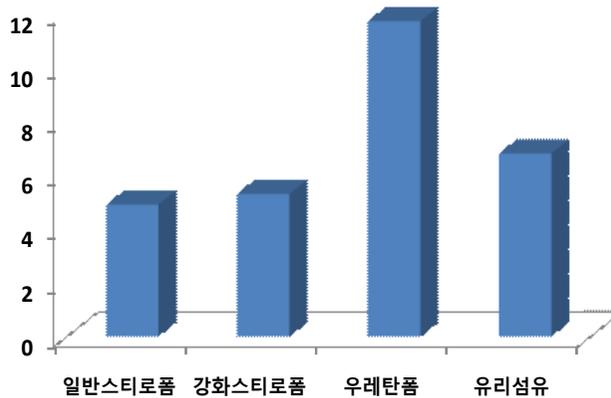


그림 1. 독성가스지수

### 3.2 독성지수

총 4개의 시료를 대상으로 독성지수를 산출해 본 결과를 살펴보면, 일반스티로폼이 가장 낮은 4.9를 나타냈으며, 우레탄폼은 11.7의 가장 높은 독성지수를 나타냈다. 아직까지 건축용 외장재에 대한 독성지수의 기준은 설정되어 있지 않기 때문에 독성지수를 이용한 건축용 외장재의 독성평가를 결론 내릴 수는 없는 실정이지만 미국의 MIL 기준을 참고한다면 일반스티로폼을 제외한 3개의 시료가 MIL의 독성지수시험법에서 요구하는 기준인 5를 초과하는 것으로 확인되었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 건축물에 화재가 발생 시, 건축용 외장재로부터 발생하는 연소가스의 독성을 분석함으로써 소방관을 비롯한 건물 재실자들에게 미치는 영향에 대해서 고찰하였다. 건물의 외장재로 많이 사용되는 일반스티로폼, 강화스티로폼, 우레탄폼 그리고 유리섬유 재질의 외장재를 대상으로 NES 713 방법을 이용하여 분석한 실험 결과를 살펴보면, 대부분의 시료들로부터 CO, CO<sub>2</sub>, HCHO, CH<sub>2</sub>CHCN, NO<sub>x</sub> 등이 검출되었으며, 우레탄폼의 경우, 다른 시료들과 달리 HCl과 HCN이 추가적으로 검출되었다. 아직까지 건축용 외장재에 대한 독성지수에 대한 기준값을 설정되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서 분석한 독성지수 값들만으로는 독성의 치명성에 대해서 언급할 수 없지만 대부분의 시료들로부터 검출된 독성가스들은 치사농도에는 훨씬 못미치는 것으로 나타났으며, 독성지수 값들은 일반스티로폼 < 강화스티로폼 < 유리섬유 < 우레탄폼의 순이었다.

### 감사의 글

본 연구는 2010년 서울소방학교 소방과학연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 서울소방학교에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. NES 713, Determination of the Toxicity Index of the Products of Combustion from Small Specimens of Materials.
2. 건축법시행령 제2조(정의) 건설교통부령 제523호(건축물의 피난·방화구조 등에 관한 규칙).
3. 건설교통부고시 제2006-476호(건축물 내부 마감 재료의 난연 성능 기준).
4. 한국산업규격 KS F 2271 : 2006(건축물의 내장재료 및 구조의 난연성시험방법) 중 6. 가스유해성시험.
5. 소방방재청 고시 제2005-71호(2005.11.4.) 방염제품의 성능시험 기술기준.