

# NFPA 269에 의한 건축물 마감재의 연소가스독성평가연구

천지홍·이종천·최재범·조남욱\*

한국건설기술연구원

## A study on assessment for combustion toxic gas of building finish materials by NFPA 269

Chun Ji Hong · Lee Jong Chun · Choi Jae Bum · Cho Nam Wook\*

KICT

### 요 약

건축물 마감재료의 연소시 발생하는 독성가스는 대형화재로 인한 인명피해의 주된 원인 중의 하나이다. 현행 건축법에서는 건축물마감재료에 대하여 동물의 평균행동정지시간을 측정하는 가스유해성시험을 실시하고 있다. 본 연구는 동물시험이 아닌 NFPA 269에 의한 유효량분율(FED: Fractional effective does)을 이용하여 건축물 마감재의 독성지수를 도출하였다. 현행 가스유해성 평가 방법에서 사용되는 체임버(피검상자)를 이용하여 적외선분광분석 및 산소분석기로 연소가스를 정량분석하였으며, NFPA269에서 규정하는 FED를 도출하였다. 몇 가지 건축재료에 대한 가스유해성시험의 평균행동정지시간과 FED의 상대적인 비교를 통해 연소가스독성평가를 수행하였다.

### 1. 서 론

건축물 마감재로 우레탄은 저렴한 비용과 단열성이 우수한 장점으로 많이 사용되고 있다. 하지만 우레탄은 유기제품으로서 착화와 연소가 용이해 화재에 노출될 경우, 다량의 열과 유독가스를 배출함으로써 막대한 인명적, 재산적 피해를 발생시킨다. 현 건축법에서는 가스유해성시험방법(KS F 2271)으로 건축물마감재료의 가스유해성시험을 수행하고 있지만 이러한 방법은 단순히 마우스의 행동시간을 측정하여 유독성을 판단하므로 시험체가 연소될 때 발생하는 유독가스의 종류 및 양을 측정하는데는 한계가 있었다.<sup>1)</sup> 따라서 본 시험에서는 FT-IR(Fourier Transform Infrared) spectrometer를 이용하여 다양한 연소가스를 동시에 정성, 정량 분석하였다. 실험재료는 난연성능이 없는 일반우레탄 2종을 대상으로 하여 가스유해성시험을 수행하였으며, 가스유해성시험기의 피검상자로부터 연소가스를 샘플링하여 정량분석하였다.

### 2. 건축물마감재의 연소독성가스 실험

#### 2.1 가스유해성 실험

건축법의 가스유해성시험(KS F 2271)은 실험동물(mouse)의 평균행동정지시간을 이용하

여 시험체 연소가스의 유독성을 평가한다. 시험체는 30일 간 양생시킨 후 40℃의 건조기와 데시케이터로 다시 48시간을 양생하였다. 내부 온도 30℃인 피검상자에는 실험용 흰 쥐를 한 마리씩 넣은 회전바구니를 8개를 사용한다. 가열을 시작해서 시험용 흰 쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간을 측정하였으며, 각 시험은 종류에 따라 총 15분간 2회 반복 실시하였다.<sup>1,2)</sup> 본 시험에 사용된 실험용 쥐는 ICR계 생후 5주(18~22g)의 암컷이었다.

## 2.2 FT-IR 연소가스분석(KS F 2271 피검상자)

가스유해성시험기의 연소로 발생된 가스생성물은 FT-IR과 산소분석기를 이용하여 동시에 측정하였다. 실험절차는 ISO 19702에 기반하여 이루어졌다. 분석조건으로 스펙트럼 범위는 4500~650cm<sup>-1</sup>, 파장의 분해능은 0.5cm<sup>-1</sup>, 가스셀은 10m를 사용하였고 실험(30분)간 150℃로 유지 하였다. 가스셀로 3.5L/min로 기체양을 흡입하여 실험(30분)간 실험하였다.<sup>3)</sup>

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 KS F 2271에 의한 가스유해성시험

표 1 시험체의 물리적 특성 및 시험 결과

구 분	A-1	A-2	B-1	B-2
두 계(mm)	100.1	100.2	100.1	100.0
밀 도(kg/m <sup>3</sup> )	42.0	44.4	45.4	44.6
무게(시험전/시험후)(g)	219.9/140.6	216.0/127.8	196.8/102.5	215.2/123.8
평균행동정지시간	3분 52초	3분 48초	4분 52초	4분 18초

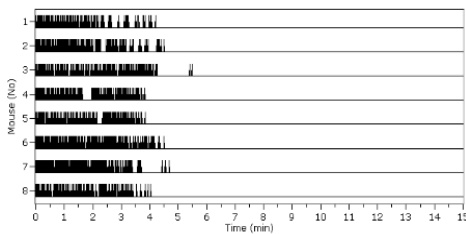


그림 1. 마우스 행동 그래프(A-1)

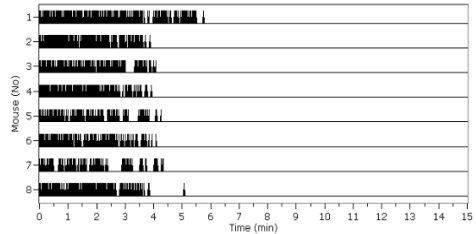


그림 2. 마우스 행동 그래프(A-2)

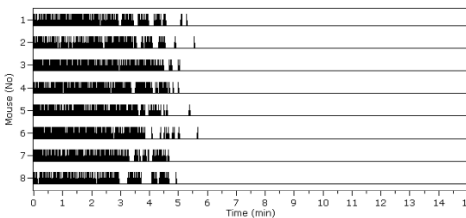


그림 3. 마우스 행동 그래프(B-1)

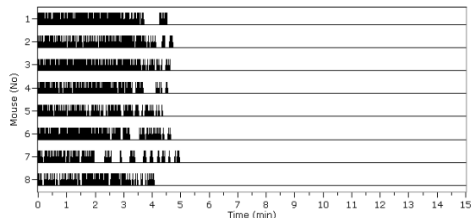


그림 4. 마우스 행동 그래프(B-2)

표 1과 그림 1,2,3,4는 KS F 2271에 의한 우레탄의 가스유해성시험결과이다. 연소가스에 대한 실험동물의 평균행동정지시간은 3분 52초(A-1), 3분 48초(A-2), 4분 52초(B-1), 4분 18초(B-2)로 측정되어 매우 짧은 시간 동안 유독한 가스의 발연이 있었음을 유추할 수 있었다.

### 3.2 FT-IR을 이용한 연소가스 분석

우레탄의 연소가스를 FT-IR spectrometer를 이용하여 측정하였다. 그림 3은 4500~650cm<sup>-1</sup>의 측정범위 내에서 나타난 적외선 흡수 스펙트럼이다. 파장(3360.0~3245.0)에서 HCN이 검출되었으며, 파장(2241.0~2286.0)에서 CO<sub>2</sub>가 검출되었고, 파장(2220.0~2040.0)에서 CO가 검출되어 정량, 정성 분석 하였다.

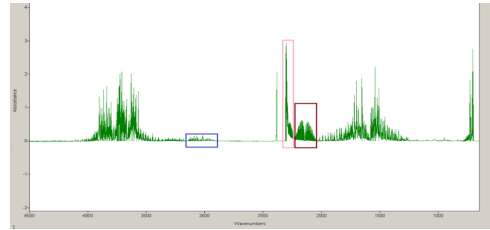


그림 5. 우레탄 연소가스 스펙트럼

그림 6(CO), 그림 7(CO<sub>2</sub>), 그림 8(HCN)은 우레탄의 연소로 생성된 연소가스이다. 연소가스는 3.5L/min로 샘플링하여 시험시간 30분(가스유해성시험기의 가열 조건下 15분, 비가열 조건下 15분) 동안 측정되었다.

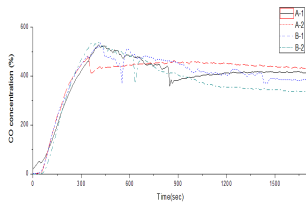


그림 6. CO 농도 그래프

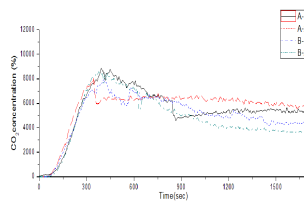


그림 7. CO<sub>2</sub> 농도 그래프

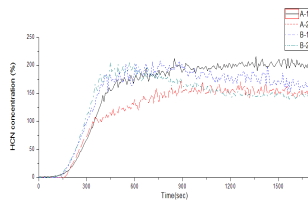


그림 8. HCN 농도 그래프

### 3.3 NFPA 269에 의한 독성지수 평가

표 2. FT-IR과 산소분석기로 측정된 가스 농도 및 FED

구 분	측정농도(ppm)								FED
	CO	CO <sub>2</sub>	HF	HBr	HCN	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> (%)	
우레탄A-1'	393.3	5,408.6	N.D	N.D	156.1	N.D	N.D	17.9	1.3
우레탄A-2'	405.2	5,662.3	N.D	N.D	121.2	N.D	N.D	17.9	1.1
우레탄B-1'	394.6	4,983.9	N.D	N.D	150.1	N.D	N.D	18.1	1.2
우레탄B-2'	366.7	4,689.7	N.D	N.D	138.3	N.D	N.D	18.8	1.1

표 1은 FT-IR을 통해 정량화된 우레탄의 가스생성물과 산소분석기에 의해 수집된 평균 산소농도 및 NFPA 269에 의해 도출된 FED(Fractional effective does) 지수이다. 우레탄의 연소가스정량분석 결과 366.7~405.2 ppm의 CO, 4,689.7~5,662.3 ppm의 CO<sub>2</sub> 그리고

121.2~156.1 ppm의 시안화수소(HCN)가 검출되었다. 또한 산소분석기를 통해 측정된 평균 산소농도는 17.9~18.8%이었다. 우레탄 A, B 두 제품은 외관상으로 비슷하지만 측정된 이산화탄소의 발생량과 산소소모량으로 미루어 보아 우레탄 A의 연소성이 우레탄 B에 비하여 큰 것을 확인할 수 있었다. 발생된 가스생성물(CO, CO<sub>2</sub>, HCN)과 평균 산소농도를 대입하여 NAPA 269에서 제시하는 FED를 도출하였다. <sup>4,5)</sup>

$$FED = \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} + \frac{21 - [O_2]}{21 - LC_{50}O_2} + \frac{[HCN]}{LC_{50}HCN} + \frac{[HCl]}{LC_{50}HCl} + \frac{[HBr]}{LC_{50}HBr} \text{-----}(1)$$

총 가스 농도는 30분 시험동안 각각의 농도-시간 곡선에서 합산된 C<sub>t</sub> 생성값을 30으로 나눈 것이다. 백분율로 표시되는 O<sub>2</sub>는 %, 이외의 수치는 ppm이다. m 및 b에 대한 수치는 CO<sub>2</sub>의 농도에 따라 다르다. [CO<sub>2</sub>] < 5% 이면, m = -18 이고 b = 122,000이다. [CO<sub>2</sub>] > 5% 이면, m = 23 이고 b = -38,600이다. <sup>4,5)</sup> 본 실험에서 CO<sub>2</sub>는 약 0.5%이므로 m = -18 을 b는 122,000을 대입하여 계산하면 A-1'의 FED는 1.3, A-2'의 FED는 1.1, B-1'의 FED는 1.2, B-2'의 FED는 1.1로 계산되어 모두 1이상의 FED를 나타냈다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 우레탄의 연소가스에 대하여 가스유해성시험(KS F 2271)과 NAPA 269에 의해 도출된 FED 지수를 비교 분석하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 우레탄 2종에서 연소시 발생하는 연소가스의 FED는 1이상 이었고, 가스유해성시험(KS F 2271) 결과 약 4분의 평균행동 정지시간을 기록하였다. NFPA 인명안전코드 핸드북 5.2절에서는 FED값이 0.8이상이면 유해한 것으로 규정하고 있는데, 본 실험결과로 나타난 우레탄의 FED값이 1.1~1.3을 기록하였고, 동시에 동종시료의 가스유해성시험(KS F 2271) 결과가 모두 약 4분을 기록한 점을 보아 낮은 마우스평균행동정지시간과 비교적 높은 FED값에는 상관관계가 있음을 유추할 수 있었다.

2. FT-IR의 연소가스 스펙트럼을 분석한 결과 우레탄의 연소가스 생성물은 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 시안화수소(HCN)였다. 이중 시안화수소(HCN)는 극소량만으로도 무력화 및 사망으로 이어질 수 있다. 우레탄의 HCN이 121.2~156.1 ppm으로 측정되었고, NFPA 269에서 규정하는 HCN의 LC<sub>50</sub>이 150 ppm인 점을 고려하여 볼 때, 실험동물(mouse)은 HCN을 주요원인으로 하고 CO, CO<sub>2</sub>등의 복합가스의 상승작용으로 매우 짧은 평균행동정지시간을 기록한 것으로 추측할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. KS F 2271 : 2006 “건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험 방법”
2. 국토해양부 (2011). “국토해양부 고시 제 2011-39호. 건축물 마감재료의 난연성능 기준”
3. ISO 19702 : 2006 “Toxicity testing of fire effluents - guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FT-IR gas analysis”

4. NFPA 269 : 1996 “Standard Test Method for Developing Toxic Potency Data for Use in Fire Hazard Modeling”
5. ISO 13344 : 2004 “Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents”