

## 콘칼로리미터 화재 모델을 적용한 건축 재료의 독성지수산정에 관한 연구

김성수 · 조남욱\* · 천지홍\* · 이동호\*\*

인천대학교 대학원, 건설기술연구원\*, 인천대학교 소방방재연구센터\*\*

A Research for calculation FED of construction material  
according to conecalorimeter model

Sung-Soo Kim · Nam-Wook Cho\* · Ji-Hong Chun\* · Dong-ho Rie\*\*

Graduate School of Safety Engineering

korea Institute of Construction Technology(KICT)\*

Fire Disaster Protection Research Center, University of Incheon\*\*

### 요 약

본 연구에서는 건축물 내장 재료에 대한 연소독성평가와 독성지수연구로써 FT-IR을 이용한 연소가스분석실험을 하였다. 독성지수를 산정하기 위한 실험의 화재모델로 콘 칼로리미터 화재모델(KS F ISO/TR 9122-4)을 사용하였으며 ISO 19702의 절차에 따라 FT-IR을 이용하여 건축 재료의 연소로부터 발생하는 가스의 분석을 수행하였다. 국제규격에서 제시하고 있는 몇 가지 독성지수 산정법 중 ISO 13344에서 규정하는 방법에 따라 FED 값을 산정하였으며, 30분간 시험동물에 노출 시 대상의 50%가 사망하는 농도인 LC<sub>50</sub>을 기준으로 하여 3가지 재료의 독성지수화를 통해 상대적인 독성 위험도를 평가하였다.

### 1. 서 론

최근 건축물은 고층화, 대형화되고 있어 화재시 재실자의 피난에 더 많은 시간이 소요된다. 화재가 발생했을 때 초기에 대피하지 못하였다면 고온과 연소가스에 노출된 상태로 이동할 수밖에 없기 때문에 독성가스에 의한 피해를 받기 쉽다. 따라서 건축물에 사용되는 자재는 각종 화재시험이 요구되며, 연소가스의 독성을 평가하기 위한 연기독성시험도 실시된다. 본 연구에서는 KS F ISO/TR 9122-4에 제시된 화재모델 중 콘칼로리미터 법을 선택하여 연소실험을 하고 연소가스분석은 ISO 19702에서 제시된 적외선분광분석(FT-IR)

을 이용하여 연소가스를 분석하였다. 적외선 분광분석이란 적외선에 노출된 각각의 화학 종이 고유의 진동을 일으켜 적외선 흡수로 나타나며 흡광도 또한 화학종의 양에 따라 달라지는 특성을 이용하여 정량분석도 가능한 분석기법이다.

ISO 13344에는 연소가스의 발생농도 데이터를 이용하여 FED(Fractional Effective Dose)를 산출하는 방법을 제시하고 있다. FED란 독성물이 무력화를 유발하는데 필요한 노출량으로 유해가스 내에서 독성에 효과를 나타내는 여러 요소를 한 번에 계산하여 지수화하기 때문에 위험도를 예측하고 확인, 비교하는데 유리하다.<sup>4)</sup>

## 2. 연소 가스의 독성 측정 실험

### 2.1 화재 모델 - 콘칼로리미터

연소실험의 중요 요소 중 하나인 화재모델을 규정하고 있는 KS F ISO/TR 9122-4 “화재 생성물의 독성시험 - 화재모델”은 화재생성물의 독성연구에 사용되는 화재 모델(시험실 연소 장치)에 관한 내용이다. 이 중 콘칼로리미터 모델은 Conical Heater로 가열하고 전기스파크에 의하여 점화시키는 방법으로 본 연구에서 채택하여 실험하였다.<sup>1)</sup>

### 2.2 FT-IR을 활용한 연소가스 분석

FT-IR을 사용한 연소가스 분석의 장점은 다양한 가스를 분석할 수 있으며 실시간 정량분석이 가능한 것이다. 그리고 시간함수로 표현되는 결과를 가지기 때문에 다양한 종류의 화재 생성물을 연속적으로 모니터링 할 수 있고 분석을 실시한 이후에도 저장된 스펙트럼데이터로부터 새로운 정량 Method를 설정함으로써 재분석이 가능하다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 ISO 19702에 따라 샘플링 라인과 가스셀의 온도를 150℃로 설정하여 산성가스 및 기타 물질이 샘플링 시스템이나 가스셀에 흡착되는 것을 방지하였다. 가스셀은 필터로 보호하였는데 그을음과 산성기체를 걸러내는 것을 목적으로 5 $\mu$ m 필터를 사용하였다. 샘플링 라인의 길이는 3m, 흡입펌프유량은 3.5 l/min로 하였다.

### 2.3 분석절차 및 FED 계산

가연물의 연소가스를 샘플링하여 FT-IR로 분석하는 방법은 그림 1과 같다. 실험은 가로, 세로가 각각 100mm로 제작된 시료를 준비하고 Conical Heater의 예열과 기기의 Calibration을 수행한 후 Igniter를 이용하여 점화시켜 실험을 진행함과 동시에 FT-IR로 발생 가스의 분석을 실시하고 실험시간인 30분간의 발생 가스 데이터를 수집하였다.

실험대상은 건축마감재들을 대상으로 목재에서부터 고분자소재까지 다양한 재료를 선택하기위해 OSB 합판, 카펫, 우레탄으로 하였다.

FED의 계산은 ISO TR - 13344에서 제시되었고 계산방법은 식 (1)과 같다.

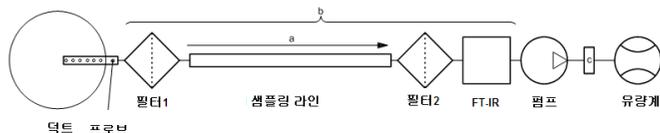


그림 1. 실험장비의 개략도

$$FED = \frac{[CO]}{LC_{50,CO}} + \frac{[HCN]}{LC_{50,HCN}} + \frac{[HCl]}{LC_{50,HCl}} + \frac{[C_i]}{LC_{50,i}} \quad \text{-----}(1)$$

[CO]	= CO의 분당 평균 농도(ppm-min)	$LC_{50,CO}$	= CO의 $LC_{50}$
[HCN]	= HCN의 분당 평균 농도(ppm-min)	$LC_{50,HCN}$	= HCN의 $LC_{50}$
[HCl]	= HCl의 분당 평균 농도(ppm-min)	$LC_{50,HCl}$	= HCl의 $LC_{50}$
[C <sub>i</sub> ]	= 임의의 물질 i의 분당 평균 농도(ppm-min)	$LC_{50,i}$	= 임의의 물질 i의 $LC_{50}$

식(1)은  $LC_{50}$ (반수치사농도 : 30분간 시험동물에 노출 시 대상의 50%가 사망하는 농도)을 분모로, 실제 측정값을 분자로 유효분율을 계산하므로 계산된 FED의 값이 1을 넘는 가연물은 그 연소가스에 노출된 재실자를 사망시킬 수 있는 것으로 간주한다. 식 (1)을 살펴보면 기체별 위험도뿐만 아니라 각 위험도의 합이 1을 넘어도 위험한 것으로 간주하는데 이는 기체별 위험도와 전체 기체의 위험도를 함께 고려하기 위함이다. 또한 C<sub>i</sub>는 임의의 물질을 추가하여 계산할 때 이용되는 항목이다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 연소가스 분석결과

FT-IR을 이용하여 수집된 스펙트럼으로부터 정성·정량분석을 수행하여 시간-농도 그래프로 나타내었다. 4종의 시료를 이용한 연소실험을 각각 3회씩 실시하여 총 12회의 실험 결과를 수집하여 발생량을 구하였고 각 시료별 1회차 실험의 결과 값을 그래프로 나타내면 그림 2, 그림 3과 같다.

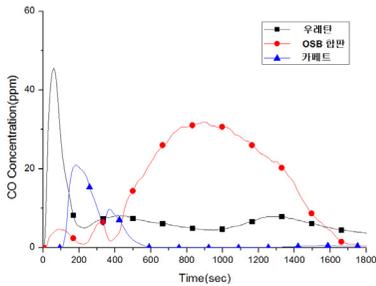


그림 2. 시간-CO농도 그래프

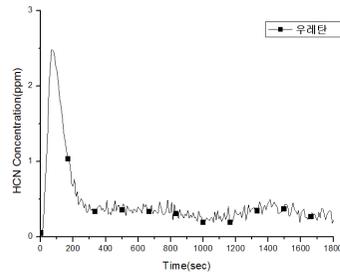


그림 3. 시간-HCN농도 그래프

#### 3.2 FED 계산

$LC_{50}$ 의 값은 ISO 13344에 제시되어있다. 식(1)과 연소가스 발생량을 이용하여 계산되는 FED는 3회 반복 실험을 실시하고 각 FED를 구하여 그 평균을 계산하였다.<sup>3)</sup>

이 시료별 연소생성기체를 분석한 결과를 이용하여 FED를 계산하기 위해 그 발생량의 분당 평균을 계산하고 3.1에서 제시된 시간-농도그래프를 적분하고 30(분)으로 나누어 분당 평균 농도를 구하였다. 계산된 평균값을 식(1)에 대입하여 도출된 FED는 표 1과 같다.

카페트와 OSB합판에서는 CO의 발생만이 확인되었으나 우레탄에서는 CO와 함께 HCN의 발생이 확인되었다. CO는 목재인 OSB 합판에서 가장 많이 발생하였고 카페트에서 적

게 발생하였다. 이는 카페트가 다른 시료에 비해 두께가 얇기 때문에 화재하중이 작아 연소가스가 적게 발생한 것이 원인으로 분석되었다.

우레탄은 CO 발생량은 OSB합판의 50%에도 미치지 못하였으나 HCN이 발생하여 가장 높은 FED값을 나타냈다.

표 1. 실험을 통하여 도출된 FED

시료명	회차	시료두께 (mm)	분당 평균 발생량		회차별 FED	FED 평균
			CO	HCN		
우레탄	1	50	470.1	27.5	0.249	0.285
	2		237.8	18.3	0.152	
	3		634.6	56.4	0.453	
OSB 합판	1	25	915.1	N.D	0.160	0.179
	2		1076.0	N.D	0.188	
	3		1080.7	N.D	0.189	
카페트	1	7.5	151.0	N.D	0.026	0.025
	2		138.7	N.D	0.024	
	3		145.7	N.D	0.025	
LC <sub>50</sub> (ppm)			5700	165		

#### 4. 결 론

KS F ISO/TR 9122-4에 따른 콘칼로리미터 화재모델, ISO 19702에 따른 FT-IR 연소가스 분석, ISO 13344에 따른 FED계산을 결합하여 3종의 시료를 연소실험하고 FED를 구한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

1. 우레탄, OSB합판, 카페트를 동일한 조건하에서 연소시켜 발생기체를 분석한 결과, 우레탄의 FED는 0.285, OSB합판은 0.179, 카페트는 0.025의 값을 나타냈다.
2. HCN은 LC<sub>50</sub>이 165ppm으로 5700ppm인 CO에 비하여 1/35의 발생량으로도 동일한 위험도를 나타냈으며 우레탄의 CO발생량은 OSB합판의 50%정도이나 HCN의 발생에 기인하여 FED는 1.6배 높은 값을 나타냈다.
3. 본 실험결과 FT-IR은 연소가스의 분석에 유효하게 활용될 수 있음이 확인됨으로써 독성지수 산정에 효과적으로 이용될 수 있으며, 다양한 소재의 FED Database 구축 및 ISO 13344, NES 713, BS 6853, NFPA 269등 독성지수 산정방법에 대한 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. KS F ISO/TR 9122 - 4 : 2004 "화재 생성물의 독성시험 - 제4부 : 화재모델(소규모 시험에 사용되는 연소 시험 장치)"
2. ISO 19702 : 2006 "Toxicity testing of fire effluents - guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FT-IR gas analysis"

3. ISO 13344 : 2004 “Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents”
4. G.E. Hartzell, D.N. Priest, W.G. Switzer(1988), “The Fractional Effective Dose Model for Assessment of Toxic hazards in Fires” Journal of fire science, pp.356-362