

## 침대 매트리스 실물 화재 평가의 열 방출율 측정에 대한 Uncertainty 연구

박계원 · 정재균


한국화재보험협회 부설 방재시험연구원

본 연구에서는 침대 매트리스에 대해서, 실물규모 화재시험을 이용한 열방출율(Heat release rate: 이하 HRR)을 측정할 때의 불확도(Uncertainty) 산정을 위한 정보제공을 목적으로 함. 실제 실험데이터를 바탕으로 불확도에 영향 미치는 개별요인들을 도출한 개별 요인들의 합성을 통해 불확도를 산정하였음.

### 1. Uncertainty 산출 개요

실물크기 침대 매트리스(슈퍼싱글 사이즈 1 100 mm × 2 000 mm × 27 mm)에 대한 실물규모화재시험(ISO 12949)를 수행하였으며 그에 대한 최대 HRR 결과값(Table 1)에 대한 불확도를 산출하고자 하였음. HRR 산출을 위한 모델식은 산소소모율법에 의한 HRR 기본모델식(Table 3)을 사용하였고, 이에 대한 HRR 불확도 요인은 크게 6가지(Table 2)으로 도출하였음.

Table 1. Test data on bed mattress

peak HRR : 735.5 kW (elapsed time :469s)					
		initial molefraction	peak molefraction		initial molefraction
	$O_2$	0.209 43	0.188 27	$CO_2$	0.000 64
					peak molefraction
					0.012 50

이 중  $\dot{m}$ 은 덕트의 단면적(A), 유속비( $k_t$ ), 차압비( $\Delta p$ ), 덕트내 온도( $T_s$ ), 레이놀즈상수( $k_p$ ), 산소 및 이산화탄소분석기의 오차율(flow)로 세분화되어짐.

Table 2. Factors on Uncertainty of bed mattress's fire test

① MFC : factor on mass flow controller for the ignition burner-output	A : duct area
② $\dot{m}$ : mass flow rate in the measurement duct $\dot{m} = A \frac{k_t}{k_p} \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho} = A \frac{k_t}{k_p} \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_{298} \frac{298}{T_s}}$	$k_t$ : air-velocity rate of duct
	$\Delta p$ : pressure gap
	$T_s$ : temperature of duct
	$k_p$ : reynolds constant value
③ $O_2$ analyser's error	$flow$ : $O_2, CO_2$ flowmeter
④ $CO_2$ analyser's error	
⑤ E-factor	
⑥ molecular weight	

Table 3. Principle equation on heat release rate

$q = \frac{E \dot{m} \frac{M_{O_2}}{M_{air}} (1 - X_{H_2O}^0)}{\frac{\alpha - 1}{X_{O_2}^0} + \frac{1 - \frac{X_{O_2}}{1 - X_{CO_2}^0}}{X_{O_2}^0 - \frac{X_{O_2}(1 - X_{CO_2}^0)}{1 - X_{CO_2}^0}}}$	<p>where</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\dot{Q}</math> = the heat release rate from the fire, HRR [kW]</li> <li><math>E</math> = amount of energy developed per consumed kilogram of oxygen [kJ/kg]</li> <li><math>\dot{m}</math> = mass flow in exhaust duct [kg/s]</li> <li><math>M_{O_2}</math> = molecular weight for oxygen [g/mol]</li> <li><math>M_{air}</math> = molecular weight for air (actually the molar weight for the gas flow in the duct, see Section 5.7) [g/mol]</li> <li><math>\alpha</math> = ratio between the number of moles of combustion products including nitrogen and the number of moles of reactants including nitrogen (expansion factor)</li> <li><math>X_{O_2}^0</math> = mole fraction for <math>O_2</math> in the ambient air, measured on dry gases [-]</li> <li><math>X_{CO_2}^0</math> = mole fraction for <math>CO_2</math> in the ambient air, measured on dry gases [-]</li> <li><math>X_{H_2O}^0</math> = mole fraction for <math>H_2O</math> in the ambient air [-]</li> <li><math>X_{O_2}</math> = mole fraction for <math>O_2</math> in the flue gases, measured on dry gases [-]</li> <li><math>X_{CO_2}</math> = mole fraction for <math>CO_2</math> in the flue gases, measured on dry gases [-]</li> </ul>
---	--

## 2. Uncertainty Result & Discussion

Peak HRR에 대해 개별 불확요인들이 미치는 기여율은 Table 4와 같으며, 이에 대한 최종 불확도(약 95% 신뢰수준,  $k=2$ 에서의 확장불확도)는 Table 5와 같이 산출되어짐. 이는 peak HRR에 대해 약  $\pm 2.793$  %의 불확도를 보유할 수 있음을 의미하는 것임.

최종적인 불확도의 표현은 peak HRR = (735.5  $\pm$  41.0) kW로 산출되어짐.

Table 4. Contribution to combined relative uncertainty

Quantity, $X_i$	① Relative standard uncertainty (%)	② Relative sensitivity coefficient	Contribution to combined relative uncertainty * ③ = ① $\times$ ②
MFC (burner)	0.12	1	0.12
Mass flow ( $\dot{m}$ )	1.80	1	1.80
$X_{O_2}$	0.115	-14.374 4	-0.165 31
$X_{CO_2}$	1.155	0.001 646	0.001 901
E-factor	2.041 2	1	2.041 2
Molecular weight of gas species	0.577 35	1	0.577 35

Table 5. Expanded standard uncertainty  $U$  [kW]

measurement			Contribution to combined relative uncertainty						Combined relative standard uncertainty $u_{c,r}$	주1) standard Uncertainty
$X_{O_2}$	$X_{CO_2}$	peak HRR [kW]	$\dot{m}$	$O_2$	$CO_2$	E-factor	Mole weight	MFC for burner		
0.193	0.012	735.5	1.80	-0.165	0.001	2.041	0.577	0.12	2.793	20.5 kW
<b>Expanded Uncertainty <math>U</math> (<math>k=2</math>, approx. 95% Confidence level)</b> 주1) 표준불확도 = (합성상대표준불확도 * 최대열방출율)/100										<b>41.0 kW</b>