

## 룸코너 시험기의 발열량 측정에 대한 불확도 산정 Calculation of Uncertainty in Measuring Heat Release Rate in Room Corner Test

노광철 · 김치훈\* · 이승철\*\* · 이덕희\*†

Kwang-Chul Noh · Chi-Hoon Kim\* · Seung-Chul Lee\*\* · Duck-Hee Lee\*†

연세대학교 기계공학부, \*한국철도기술연구원, \*\*강원대학교 소방방재공학전공  
(2011. 10. 12. 접수/2012. 2. 2. 수정/2012. 2. 10. 채택)

### 요 약

화재시험에 있어서 정확한 발열량의 측정은 시험체의 화재 안정성을 결정하기 위한 중요한 정보이다. 발열량 측정값은 측정 인자들의 오차에 기인하여 영향을 받는다. 본 연구에서는 한국철도기술연구원에 설치된 룸코너 시험기에 대한 불확도의 인자를 분석하였고 이를 이용하여 KTX 내장재 화재시험의 발열량 측정 불확도를 계산하였다. 화재 발열량 불확도 계산 결과, 화재시작단계에서 불확도가 매우 높은 값으로 나타났다고 화재가 성장하면서 불확도는 점차적으로 감소하였다. 불확도 인자들 중 산소 농도가 발열량 측정 불확도에 가장 크게 기여하는 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

In fire test, accurate heat release rate measurements provide important information to define the fire safety characteristics of products. The calculation of heat release rate depends on the errors of measuring parameters in experimental set-up. In this study, the uncertainty factors of heat release rate in the room corner test facility, which is installed at Korea Railroad Research Institute, were analyzed. Through the fire testings for the KTX interior materials, the uncertainties of heat release rate were calculated. Results showed that uncertainty was high in the initial stage of fire test and gradually decreased with the growth of fire. The oxygen concentration was a major factor contributing to the combined relative standard uncertainty.

**Key words :** Room corner test, Heat release rate, Uncertainty

### 1. 서 론

룸코너 시험(Room corner test)은 내장재의 발화 및 확산 현상을 실제적으로 해석하기 위해 실험규모(Full scale) 화재 시나리오를 기준으로 실시되고 있다. 현재 ISO의 룸코너 시험(ISO 9705)<sup>1)</sup>은 국제적인 인지도와 함께 여러 나라에서 이를 기준으로 한 내장재의 시험이 활발하게 진행되고 있다. ISO 9705 시험은 벽, 천장의 마감재가 최초 10분간은 100 kW, 이후 10분간은 300 kW 화원에 노출된 조건에서 공간 내 열 방출량이 대략 1 MW에 이르면 플래시오버(Flashover)가 발생된다고 본다.

룸코너 시험기를 이용하여 다양한 내장재의 발열량 및 실물 화재 특성실험에 대한 연구들이 진행되고 있다. 권오상 등<sup>2)</sup>은 창고 화재 위험성을 평가하기 위해 룸코너 시험기를 이용하여 단위 구성품의 화재 특성 데이터베이스를 작성하였으며 이를 바탕으로 화재에 취약할 것으로 판단되는 의류 창고를 실험 모델로 구성하여 실물 화재실험 장비인 라지 스케일 칼로리미터(Large scale calorimeter)에서 실물 화재실험을 실시하였다. 이덕희 등<sup>3)</sup>은 화원의 규모를 조절하여 대구 지하철 사고 이전의 철도 차량 내장재의 조합이 가지는 객관적인 화재 저항성을 평가하였다. 또한, 실물 화재 시험 및 FDS(Fire Dynamics Simulator)를 이용한 철도 차량 화재 시뮬레이션과 ISO 9705 설비를 이용한 간단한 화재시험 등의 결과를 분석하여 플래시오버 전후

† E-mail: dhlee27@krii.re.kr

단계에서 나타나는 철도차량의 화재곡선 특성을 분석하고 룸코너 시험설비를 이용하여 프리 플래시오버(Preflashover) 단계의 화재곡선 추정 방안을 제시하였다.<sup>4)</sup> 최병일 등<sup>5)</sup>은 룸코너 시험기를 이용하여 침대, 책상, 냉장고 및 장롱의 화재 발열량을 측정하였고 화재특성 자료를 확보하였다. 국외에서는 Axelsson et al.<sup>6)</sup>이 룸코너 시험기에 대해 발열량과 스모크 발생량의 오차요소를 개별적으로 정의하였고 각 요소별 오차로부터 150 kW급과 1 MW급 화재 시험에서 합성 상대 불확도를 계산하였다. Bryant and Mulholland<sup>7)</sup>는 산소 소모량법을 이용하여 2.7 MW급 화재의 발열량 측정을 수행하면서 라지 스케일 칼로미터의 불확도를 상세히 분석하였다.

이와 같이 룸코너 시험기는 다양한 내장재에 대하여 발열량, 플래시오버, 연기 발생을 등의 화재특성 자료를 확보하고자 사용되고 있으나 실험결과의 신뢰도를 높이기 위한 불확도(Uncertainty) 분석은 제대로 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 한국철도기술 연구원에 설치되어 사용 중인 룸코너 시험기에 대한 불확도의 인자를 분석하고 이를 이용하여 실 규모 화재의 발열량에 대한 불확도를 계산하였다. 그리고 각 인자들이 발열량 불확도에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 불확도(Uncertainty)

본 연구에서는 EAL-R2<sup>8)</sup>와 GUM<sup>9)</sup>에서 표현된 측정 불확도를 결정하기 위한 원칙이 사용되었다. 합성 표준 불확도(Combined standard uncertainty)는 각 입력 변수의 불확도에 의해 결정된다. 불확도는 충분한 데이터가 있는 경우 통계적인 방법에 의해 유도되는 ‘A형’과 측정자의 판단 또는 경험, 장비의 규격에 의해 결정되는 ‘B형’이 있다.

측정 결과는 단순한 수학적 모델을 사용해서 식(1)과 같이 표현될 수 있다.

$$y = \mu + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + e_1 + e_2 + \dots \quad (1)$$

여기서, y는 측정값,  $\mu$ 는 참값,  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 는 A형에 기인한 불확도이고  $e_1, e_2$ 는 B형에 기인한 불확도이다. A형 불확도는 표준편차에 의해 대표되고 B형 불확도는 측정방법에 따라 달라진다. B형 중에서 디지털 장치는 측정값이 대칭 사각형(Symmetrical rectangle)으로 분포되는 것으로 가정되고 아날로그 장치에 대해서는 측정값이 대칭 삼각형(Symmetrical triangle)으로 분포되는 것으로 가정된다. 사각형 분포의 표준편차( $s_{rect}$ )는 오차 폭의 함수로서 결정된다.

$$S_{rect} = \frac{e_0}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

여기서  $e_0$ 는 오차의 절반이다.

삼각형 분포의 표준편차( $s_{trian}$ )도 오차 폭의 함수로서 다음과 같이 결정된다.

$$S_{rect} = \frac{e_0}{\sqrt{6}} \quad (3)$$

여기서  $e$ 는 오차 폭의 절반이다.

각각의 오차들이 상호 독립적이라면, 합성 표준 불확도는 다음과 표현된다.

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 s_i^2} \quad (4)$$

여기서  $c_i$ 는 각 인자의 민감도 계수(Sensitivity coefficient),  $s_i$ 는 A형 또는 B형 불확도를 나타낸다. n은 불확도에 영향을 미치는 인자의 개수이다. 민감도 계수는 입력 값이 변함에 따라 결과가 얼마나 변하는가를 나타낸다. 민감도 계수는 측정량에 대한 최종 결과의 편미분으로 정의되지만 수치적 또는 실험적으로 결정될 수도 있다. 식(4)를 측정값에 대한 상대적 표현으로 바꾸면 다음과 같다.

$$\frac{u_c}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{u(x_i)}{x_i} \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_{r,i}^2 \left( \frac{u(x_i)}{x_i} \right)^2} \quad (5)$$

$$y = f(x_1, x_2, \dots) \quad (6)$$

여기서  $c_{r,i}$ 는 각 인자의 상대 민감도 계수이다. 식(5)의 합성 상대 표준 불확도(Combined relative standard uncertainty)는 표준편차로서 표현되기 때문에 합성 표준 불확도의 범위인자(Coverage factor)는 1이 되고 이때 참값이 측정값의 합성 표준 불확도 이내에 포함될 수 있는 신뢰수준은 약 68%가 된다. 이 신뢰 수준을 향상시키기 위해서는 합성 상대 표준 불확도에 범위인자를 곱해야 한다. 식(6)에 범위인자를 곱한 확장 상대 표준 불확도(Expanded relative standard uncertainty)는 다음과 같다.

$$\frac{u_c}{y} = k \sqrt{\sum_{i=1}^n c_{r,i}^2 \left( \frac{u(x_i)}{x_i} \right)^2} \quad (7)$$

범위인자(k)를 2로 사용했을 때에는 신뢰 수준이 약 95%로 향상된다.

본 연구에서는 화재 발열량에 대한 불확도를 계산하기 위해서 각 인자들에 대한 상대 표준 불확도와 상대 민감도계수를 표로 정리하였다.

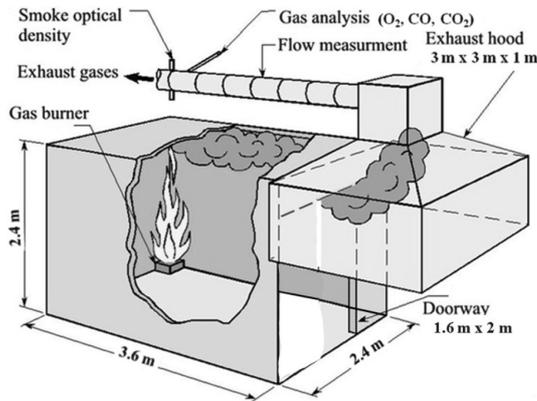


Figure 1. ISO 9705 room corner test.

### 3. 룸코너 시험기의 발열량

화재 시나리오를 연구하거나 비교할 때, 가장 중요한 사항은 시험체의 화재 안정성을 결정하기 위해 발열량(Heat Release Rate, HRR)을 측정하는 것이다. 발열량은 한 번의 직접 측정에 의해 획득되는 것이 아니라 일련의 계산과정을 거쳐 산출된다.

실 규모 화재의 발열량 측정은 주로 ISO 9705 룸코너 시험기<sup>1)</sup>에 의해 수행된다. Figure 1은 룸코너 시험기에 대한 개념도를 보여주고 있다. 모든 측정은 배기 덕트에서 이루어진다. 룸코너 시험기에서 발열량은 산소 소모량법(Oxygen consumption principle)에 의해 측정되고 이 방법은 일반적인 재료들이 연소할 때 소모된 산소량당 동일한 에너지량을 방출한다는 가정에 근거한다. 이러한 가정은 공학적으로 발열량을 측정하기 위한 실험적 편의와 효율성을 제공한다.

다음은 산소 소모량법으로 화재의 발열량을 측정하기 위해 사용되는 일반식이다.

$$Q = \frac{E \cdot m \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{air}} (1 - X_{H_2O}^0)}{\frac{\alpha - 1}{X_{O_2}^0} + \frac{1 - \frac{X_{O_2}}{1 - X_{CO_2}}}{X_{O_2}^0 - \frac{X_{O_2}(1 - X_{CO_2}^0)}{X_{CO_2}}}} \quad (8)$$

여기서,  $Q$ 는 열방출율(kW),  $E$ 는 1 kg 산소 소모량에 대한 에너지 방출률(kJ/kg),  $m$ 는 배기 덕트에서의 질량유량(kg/s),  $M$ 은 몰질량(g/mol),  $\alpha$ 는 산소가 소비된 공기의 화학반응에 의한 팽창계수,  $X$ 는 몰분율을

의미한다. 상첨자 0은 초기값을 의미하고 하첨자  $O_2$ 는 산소, air는 공기,  $H_2O$ 는 수분,  $CO_2$ 는 이산화탄소이다.

### 4. 발열량 측정 불확도 기여 인자

#### 4.1 유량 불확도

배기 덕트에서의 체적유량( $V_{298}$ ,  $m^3/s$ )은 대기압과 주변온도( $25^\circ C$ )와 연관되어 다음 식과 같이 표현된다.<sup>1)</sup>

$$\dot{V}_{298} = A \frac{k_t}{k_p \rho_{298}} \sqrt{\frac{2 \Delta p T_0 \rho_0}{T_s}} = 22.4 \left( A \cdot \frac{k_t}{k_p} \right) \sqrt{\frac{\Delta p}{T_s}} \quad (9)$$

여기서,  $T_s$ 는 배기 덕트에서의 가스 온도(K),  $A$ 는 덕트 단면적,  $\Delta p$ 는 두 방향 프루브에 의해 측정된 압력차(Pa),  $k_t$ 는 배기 덕트 중심에서의 단위면적당 체적유량에 대한 단위면적당 평균 체적유량의 비이다.  $k_p$ 는 두 방향 프루브에 대한 레이놀즈수 보정계수이다. 22.4는 인자 2와  $T_0(273.15 K)$ ,  $0^\circ C$ 에서의 가스밀도( $\rho_0$ ), 298 K에서의 가스밀도( $\rho_{298}$ )를 포함한다.

질량 유량은 체적유량에 가스의 밀도를 곱해서 구해진다. 유량의 불확도 인자들은 식(10)을 통해 확인할 수 있다.

$$\dot{m} = A \frac{k_t}{k_p} \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho} = A \frac{k_t}{k_p} \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_{298} \cdot \frac{298}{T_s}} \quad (10)$$

식(10)에서 덕트 단면적의 불확도는 덕트 스틸의 두께, 수트(Soot) 및 부식(Corrosion)에 의한 것으로 실험이 진행되는 동안 열팽창에 의해 변할 수도 있다. 유량에 대한 덕트 단면적의 상대 민감도 계수(Relative sensitivity coefficient)는 1이다. 덕트에서의 상대오차는 B형이고 오차가 사각형 분포를 갖는다고 가정한다. 선행 연구에서는 덕트 단면적의 상대오차를 거의 무시하거나 매우 낮게 가정하였다.<sup>6)</sup> 본 연구에서는 보수적으로 0.4%의 오차를 갖는 것으로 가정하였다.

인자(Factor) 22.4에 의해 발생하는 오차는 덕트를 흐르는 가스의 밀도가 공기와 같다고 가정하는 것에 기인한다. 화재시험을 진행할 때, 이것은 정확한 것이 아니다. 완전 또는 불완전 연소라고 가정할 때 몇 개의 순수한 연료에 대해서 밀도 차 계산을 수행하는 것으로 평가될 수 있다. 상대 민감도 계수는 1이고 합리적으로 평가되는 밀도에 대한 상대 표준편차는 0.5%라고 알려져 있다.<sup>6)</sup>

$k_t$ 의 불확도는 반복시험에 의해서 평가되고 표준편차는 모든 측정을 고려해서 계산된다. 본 연구에서 사용된 룸코너 시험기의  $k_t$ 값은 0.93으로 설정되었으나 덕트 내부에 프루브(Probe)를 삽입해서 반복적으로 유

속을 측정 결과,  $k_t$ 의 상대오차는 약 1.08 %였다. 교정 버너시험(Calibration burner test)에서는  $k_t$ 의 상대오차에 따른 발열량 상대오차가 100 kW와 300 kW에서 각각 0.81 %와 1.74 %로 나타났다. 측정값의 분포는 사각형이기 때문에 식(3)을 이용하여 표준편차를 계산하였고  $k_t$ 의 상대 민감도 계수는 1이다.

$k_p$ 의 오차는 McCaffrey and Heskestad의 결과로부터 평가된다.<sup>9)</sup> 룸코너 시험기에서 레이놀즈수가 3,800을 초과하면  $k_p$ 의 최대 상대오차는 2 %이다. 사각형 분포라고 가정하고 상대 민감도 계수는 -1이다.

차압( $\Delta p$ )의 불확도는 압력계이지의 표시, 트랜스듀서와 측정 프루브 사이의 튜브 연결 및 데이터 로거에 기인한다. 제조사(PAT series, JANITOR)에 의해 제공된 데이터에 따르면 상대오차가 0.25 %이고 차압의 상대 민감도 계수는 0.5이다. 온도의 불확도는 열전대의 성능, 에이징, 데이터 로거 특성 및 복사에 기인한다.

이때, 복사와 에이징 오차는 서로 반대 부호를 갖기 때문에 상호간 오차를 뺀 값으로 최종 오차를 산정해야 한다. 열전대들에 대한 교정성적서와 복사, 에이징, 데이터 로거 오차를 고려한 결과, 온도의 상대오차가 0.65 %로 계산되었다. 온도의 상대 민감도 계수도 -0.5이다.

이상의 인자의 영향을 고려한 유량의 상대 불확도는 Table 1에 정리되어 있다.

**4.2 산소 농도 불확도**

산소 농도 불확도는 대기 압력, 대기 온도, 가스 샘플 유량, 고유 오차, 선형 오차, 반복 오차, 드리프트(Drift) 및 노이즈 등에 기인한다. 산소 농도 불확도는 측정하는 장치에 의해 결정이 되기 때문에 제작자(Servopro 4100, Servomex)가 제공한 자료에 기초하여 계산되었다. 각 인자들이 산소 농도 측정에 영향을 미

**Table 1.** Uncertainties in Volume Flow Measurement

Quantity, $x_i$	Relative Error (%)	Relative Standard Uncertainty	Relative Sensitivity Coefficient	Contribution to Combined Relative Uncertainty
Area	0.4	0.23	1	0.23
Factor 22.4		0.3	1	0.3
$k_t$	1.08	0.62	1	0.62
$k_p$	2	1.15	-1	1.15
Temperature	0.65	0.38	-0.5	0.19
$\Delta P$	0.25	0.15	0.5	0.075
Combined Expanded Relative Standard Uncertainty				1.36

**Table 2.** Uncertainties in Oxygen Measurement

Quantity, $x_i$	Relative Error (%)	Relative Uncertainty	Relative Sensitivity	Contribution to Combined Relative Uncertainty
Intrinsic Error	0.02	0.012	1	0.012
Linearity Error	0.05	0.029	1	0.029
Repeatability	0.01	0.006	1	0.006
Zero Drift	0.01	0.006	1	0.006
Span Drift	0.02	0.012	1	0.012
Ambient Pressure	0.003	0.002	1	0.002
Ambient Temperature	0.2	0.12	1	0.12
Inlet Pressure Effect	0.1	0.06	1	0.06
Sample Flow Effect	0.1	0.04	1	0.04
Combined Expanded Relative Standard Uncertainty				0.144

치는 상대 민감도계수는 모두 1로서 상호간 간섭이 없는 것으로 가정하였다. Table 2에 불확도 인자와 인자들의 산소농도에 대한 기여도가 정리되어 있다. 산소농도의 상대 민감도 계수는 식(10)과 같다.

#### 4.3 이산화탄소 농도 불확도

이산화탄소 농도 불확도의 인자는 산소 농도불확도 인자와 거의 동일하다. 이산화탄소의 상대 민감도 계수는 산소에 비해서 매우 낮아서 발열량 측정에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 이산화탄소 측정기 제작자(Servopro 4100, Servomex)가 제공한 자료에 기초하여 계산된 합성 확장 상대 표준 불확도는 0.19%로 계산되었다. ISO 9705에 기준한 롬코너 시험기의 경우, 상대 민감도 계수는 0.2 이하로서 다른 인자에 비해 매우 작다.

$$C_{r,O_2} = \frac{\frac{X_{O_2}^0 + X_{CO_2}^0 - 1}{1 - X_{CO_2}}}{\left( X_{O_2}^0 - X_{O_2} \cdot \frac{1 - X_{CO_2}^0}{1 - X_{CO_2}} \right)} \cdot \left( \frac{\alpha - 1}{X_{O_2} \cdot X_{O_2}^0} + \frac{\frac{1}{X_{O_2}} - \frac{1}{1 - X_{CO_2}}}{X_{O_2}^0 - X_{O_2} \cdot \frac{1 - X_{CO_2}^0}{1 - X_{CO_2}}} \right) \quad (11)$$

#### 4.4 그 외 인자들의 불확도

인자 E는 몇 가지 연료에 대해서 문헌에 값이 제공되거나 형성열(Heat of formation)이나 연소열(Heat of combustion)에 의해 계산될 수 있다.<sup>12,13)</sup> 많은 실제적인 상황에서는 연소재료가 몇 가지의 연료로 구성되어 있기 때문에 인자 E는 알려져 있지 않다. 그러나 몇 가지 다른 연료의 비교를 통하여 가장 일반적인 연료에 대한 인자 E는 약 13.1 MJ/kg O<sub>2</sub>로 알려져 있다. 이

때오차는 약 5%이다.<sup>1)</sup> 이러한 오차를 삼각형 분포를 가정한다면 상대 표준 불확도는 2%이다. 상대 민감도 계수는 1이다.

팽창계수( $\alpha$ )는 ISO 9705에서 1.105로 값을 제시하고 있다. 팽창계수는 측정 장비와 무관하고 상대오차는 10%로 추정된다.<sup>14)</sup> 상대 민감도 계수는 다음 식과 같이 계산된다.

$$c_{r,\alpha} = \frac{-\alpha}{1 - \frac{X_{O_2}}{1 - X_{CO_2}}} \cdot \frac{X_{O_2}^0}{\alpha - 1 + \frac{X_{O_2}^0}{X_{O_2} - X_{O_2} \cdot \frac{1 - X_{CO_2}^0}{1 - X_{CO_2}}}} \quad (12)$$

가스들의 물질량의 상대오차는 1%로 추정된다.<sup>6)</sup> 물질량에 대한 상대 민감도 계수는 1이다. 물질량의 불확도는 화재 시나리오마다 다르지만 측정장비에 의존하지 않는다.

발열량 측정시 주변의 상대습도가 20~80%에서 변한다고 가정한다면, 상대습도 50%로의 추정은 150%의 최대 상대오차를 발생시킨다. 주위공기온도가 209 K, 주위 압력 101.325 kPa, 상대습도가 20%라고 가정했을 때, 상대습도의 상대 민감도 계수는 -0.0038이다.<sup>6)</sup> 이는 상대습도가 높은 상대오차를 갖는다고 할지라도 발열량의 불확도 계산에 있어서 큰 영향을 미치지 못한다는 것이다. 이 값은 측정 장비에 독립적이다. 주위 압력은 수분이나 주변 습도의 계산에 요소로서 포함된다. 그러나 주위압력에 의존하는 습도의 불확도는 무시하였다.

### 5. 발열량 측정 불확도

각 기여 인자들의 발열량에 대한 상대 표준 불확도, 상대민감도 계수, 합성 상대 불확도에 대한 기여도를

Table 3. Heat Release Rate Uncertainties

Quantity, $x_i$	Relative Standard Uncertainty	Relative Sensitivity Coefficient	Contribution to Combined Relative Uncertainty
Mass Flow	2.12	1	1.36
O <sub>2</sub>	0.14	Equation (10)	
CO <sub>2</sub>	0.19	-0.2	0.04
E	2.04	1	2.04
$\alpha$	5.77	Equation (11)	
Molecular Weight of Gas Species	0.58	1	0.58

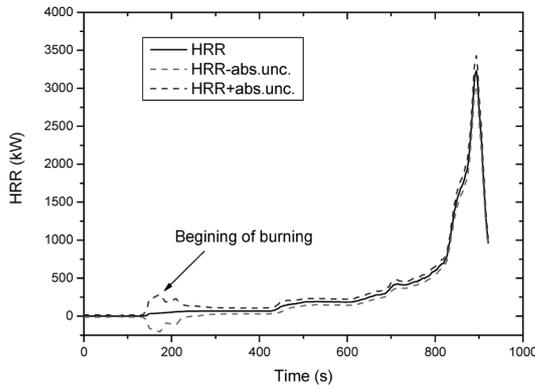


Figure 2. Heat release rate and uncertainty.

정리하면 Table 3과 같다. 유량, 이산화탄소, 인자 E, 물질량의 발열량 측정 불확도에 대한 기여도는 고정된 값을 나타낸 반면, 산소와 팽창계수의 기여도는 측정된 산소와 이산화탄소 농도 값들에 의해 변하게 된다.

Figure 2는 2011년 4월 한국철도기술연구원 에서 시행된 KTX 내장재 화재시험의 발열량과 측정 불확도 결과를 보여주고 있다. 화재시작단계에서는 발열량 측정 불확도가 매우 높은 값을 나타내었고 화재가 성장하면서 불확도는 점차적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 가스 측정 장치의 정밀도와 산소농도 민감도 계수의 특성에 기인한다. 식(11)에 따르면, 산소농도의 상대 민감도 계수는 산소농도와 이산화탄소의 농도의 측정값이 측정 초기값과 유사한 경우 상당히 큰 값을 나타내고 이 값이 화재 초기의 불확도에 영향을 주게 된다. 그리고, 150~200초 구간에서는 발열량 불확도가 크게 나타났는데 이러한 현상은 이

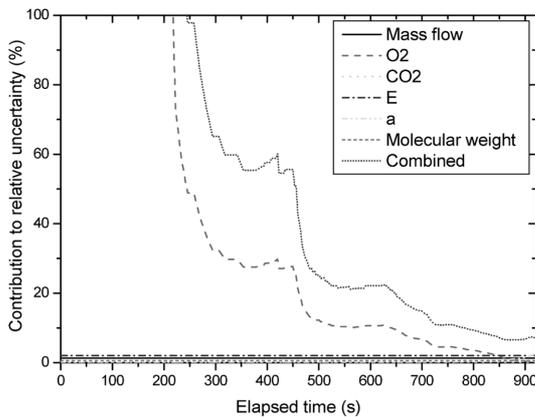


Figure 3. Relative uncertainty vs elapsed time.

구간에서 발열량이 급격히 증가한 반면 산소 농도는 급격히 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

Figure 3은 발열량 불확도 인자들의 합성 상대 불확도에 대한 기여도를 보여주고 있다. 발열량의 합성 불확도는 초기에 매우 높은 값으로 나타났고 시간이 지남에 따라 점차 감소하였다. 발열량 측정 불확도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 산소 농도라는 것을 확인할 수 있고, 그 다음으로 산소 소모량에 대한 에너지 방출률과 유량의 기여도가 큰 것으로 나타났다.

## 6. 결 론

한국철도기술연구원에 설치되어 사용 중인 룸코너 시험기에 대한 불확도의 인자를 분석하고 이를 이용하여 KTX 내장재 화재시험의 발열량에 대한 불확도를 계산하였다. 화재 발열량 불확도 인자는 산소농도, 유량, 산소 소모량에 대한 에너지 방출률, 이산화탄소, 물질량, 팽창계수 등이었다. 화재 발열량 불확도 계산 결과, 화재시작단계에서 불확도가 매우 높은 값으로 나타났고 화재가 성장하면서 불확도는 점차적으로 감소하였다. 이러한 현상은 가스 측정 장치의 정밀도와 산소농도 민감도 계수의 특성에 기인한다. 룸코너 시험기의 발열량 측정 불확도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 산소 농도이고, 그 다음으로 산소 소모량에 대한 에너지 방출률과 유량으로 나타났다.

화재의 발열량 불확도는 산소, 이산화탄소, 온도 및 압력 측정 장치의 특성뿐만 아니라 화재 발열량의 크기, 화재에 따른 덕트 내부에서의 유동 특성 및 스톱 발생량 등에 따라 변할 수 있다. 따라서 추후에는 이를 고려하여 보다 정확한 발열량 불확도 계산을 수행하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2011년 한국철도기술연구원 기본사업 “철도 중대사고 시험설비 글로벌 인증 기반 기술 연구”의 지원으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

1. ISO 9705, “International Standard-Fire Tests: Full Scale Room Test for Surface Products”, ISO(1993).
2. 권오상, 유용호, 김홍렬, “창고 모델 실물화재 특성에 대한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.4, pp.47-54(2010).
3. 이덕희, 박원희, 정우성, 이동찬, “룸코너 설비를 이

- 용한 내장재 교체 전 철도차량의 화재성능 시험”, 한국철도학회, 추계학술대회논문집, pp.590-595(2008).
4. 이덕희, 박원희, 정우성, 김치훈, “철도차량 화재곡선의 특성분석”, 한국화재소방학회, 춘계학술발표회, pp.106-111(2011).
  5. 최병일, 한용식, 김명배, “산소소모법을 이용한 주택 가연물 발열량 측정”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.22, No.2, pp.104-107(2008).
  6. J. Axelsson, P. Anderson, A. Lonnermark, P.V. Hees, and I. Wetterlund, “Uncertainties in Measuring Heat and Smoke Release Rate in the Room/Corner Test and the SBI”, SP REPORT 2001:04, Boras(2001).
  7. R.A. Bryant and G.W. Mulholland, “A Guide to Characterizing Heat Release Rate Measurement Uncertainty for Full-scale Fire Tests”, Fire and Materials, Vol.32, pp.121-139(2008).
  8. EAL-R2, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, European Cooperation for Accreditation of Laboratories.
  9. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISBN 92-67-10188-9.
  10. B.J. McCaffrey and G. Heskestad, “Brief Communication: A Roust Bidirectional Low Velocity Probe for Flame and Fire Application”, Combustion and Flame 26(1976).
  11. Draft European Standard, “Reaction to Fire Tests for Building Products-Building Products Excluding Floorings Exposed to the Thermal Attack by a Single Burning Item”, prEN 13823:2000(E). CEN Central Secretariat, Brussels(2000).
  12. A. Huggett, “Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements”, Fire and Materials, Vol.4, pp.61-65(1980).
  13. V. Babrauskas, Heat of Combustion and Potential Heat, Heat Release in Fires, London, UK(1995).
  14. M. Janssens and W.J. Parker, Oxygen Consumption Calorimeter, Heat Release in Fires, pp.31-59, London, UK(1995).