[Research Paper]

구획실 내 가연물들의 화재거동에 대한 B-RISK와 FDS 연계 화재 시뮬레이션 예측성능 평가

백빛나 · 오창보^{*†}

부경대학교 안전공학과 대학원생, *부경대학교 안전공학과 교수

Evaluation of the Prediction of B-RISK-FDS-Coupled Simulations for Multi-Combustible Fire Behavior in a Compartment

Bitna Baek · Chang Bo Oh^{*†}

Graduate Student, Dept. of Safety Engineering, Pukyong National University

^{*}Professor, Dept. of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received August 12, 2019; Revised August 26, 2019; Accepted August 26, 2019)

요 약

구획실 내 가연물들의 화재거동에 대한 B-RISK의 예측성능을 Fire dynamics simulator (FDS)와 연계하여 검토하였다. 먼저 열발생률(Heat release rate, HRR)에 대한 B-RISK의 예측성능을 검토하기 위해 가연물 한 세트의 실험에서 측정된 HRR 값과 디자인 화재곡선을 B-RISK의 입력조건으로 사용하여 가연물 두 세트에 대한 HRR 곡선을 계산하고 실험에서 측정된 가연물 두 세트의 HRR 값과 비교하였다. B-RISK 결과와 실험결과를 비교하여 B-RISK가 화재성장률에 대한 예측은 어렵지만 최대 HRR 값과 총 열발생량에 대해서는 충분히 예측할 수 있음을 확인하였다. 그리고 B-RISK 계산을 통해 예측된 HRR 값을 FDS의 입력조건으로 사용하여 계산된 결과와 실험결과를 비교하여 B-RISK 계산을 통해 예측된 HRR 값의 화재거동에 대해 검토하였다. 실험에서 측정된 온도 및 화학종 농도 결과와 비교하여 화재성장구간에 대해 차이가 있는 것을 확인하였지만 예측된 HRR 값에서 Percentile이 약 70%인 HRR 값을 사용하더라도 충분히 전체적인 화재거동을 예측할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

The prediction performance of B-RISK was evaluated for the fire behaviors of combustibles in a compartment using Fire Dynamics Simulator (FDS). First of all, to predict the heat release rate (HRR) for two combustible sets, the HRR for one combustible set and the design fire curve were used as input values for B-RISK. Comparing results of B-RISK calculations with experimental data for two combustible sets, it was found that B-RISK results predicted insufficiently for fire growth rate of experimental data but there was good agreement for maximum HRR and total HRR with the experimental data. And the B-RISK results were used for input values of FDS to evaluate the fire behaviors of B-RISK results. Comparing results of FDS calculations with experimental data, the simulation results showed that the temperature and concentrations of O₂, CO₂ in the fire growth phase were different from the experimental data. However, when using the B-RISK result for percentile 70%, the simulation results sufficiently predicted the overall fire behaviors.

Keywords : B-RISK, Fire dynamics simulator (FDS), Monte carlo simulation

1. 서 론

2017년도에 발생한 제천 스포츠센터 화재사고 등 국내에서만 매년 약 40,000여건의 화재사고와 이로 인해 약 300

여명의 사망자가 발생하고 있다. 특히 건물에서 주로 화재사고가 발생하는 것으로 집계되고 있으며 국내에서는 화재사고로 인한 피해를 줄이기 위해 2011년도부터 성능위주설계(Performance-based design, PBD)를 도입하여 시행되어오

[†] Corresponding Author, E-Mail: cboh@pknu.ac.kr. TEL: +82-51-629-6472, FAX: +82-51-629-6463

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

고 있다. PBD는 건물의 설계단계에서부터 화재에 대한 안전성을 확보하는 것을 목표로 다양한 방법을 통해 수행되고 있으며 다양한 방법 중 하나로 화재 시뮬레이션이 사용되고 있다. 화재 시뮬레이션은 건물의 화재안전성을 정량적으로 분석할 수 있다는 장점이 있지만 신뢰할 수 있는 PBD를 수행하기 위해서는 화재 시뮬레이션 결과의 신뢰성이 우선적으로 확보되어야 한다. 따라서 화재 시뮬레이션 결과에 직접적인 영향을 주는 연소모델과 입력조건에 대한 검토가 필요하다.

이러한 이유로 본 연구그룹에서는 구획실 내 가스연료 화재에 대해 화재해석에 많이 사용되고 있는 Fire dynamics simulator (FDS)의 연소모델에 대한 예측성능 검토를 수행하였다⁽¹⁾. 이 연구에서는 실험결과와 비교 검토하여 연소모델 예측성능 검토를 수행하였고 검토를 통해 연소모델에 따라 열발생률과 온도분포에 대한 예측성능은 큰 차이가 없지만 화학종 농도분포에 대해서는 예측성능이 달라지는 것을 확인하였다. 그리고 특히 CO 농도에 대한 예측성능이 연소모델에 따라 크게 달라지는 것을 알 수 있었고 연소모델 중 2-step mixing controlled fast chemistry (2-step MCFC) 연소모델이 가장 합리적으로 실험결과를 예측한다는 것을 확인하였다.

다음으로 PBD는 건물에서 발생할 수 있는 화재시나리오 중 가장 피해가 클 것으로 예상되는 세 가지의 화재시나리오에 대해 화재 시뮬레이션을 수행하여 건물의 화재안전성을 평가하고 있다⁽²⁾. 따라서 화재 시뮬레이션의 입력조건은 특정 화재시나리오의 거동을 잘 나타낼 수 있어야 하고 이러한 입력조건을 일반적으로 디자인 화재곡선(Design fire curve)이라 한다. 디자인 화재곡선은 주로 화재거동을 잘 나타내는 열발생률(Heat release rate, HRR)곡선 형태로 제안⁽³⁻⁵⁾된 바 있고 본 연구그룹에서도 화재성장곡선이 두 개의 화재성장률로 피팅(Fitting)되는 디자인 화재곡선을 제안하고 다양한 연료의 화재에 대해 예측성능을 검토한 바 있다⁽⁶⁻⁸⁾.

그리고 신뢰할 수 있는 PBD를 수행하기 위해서는 건물에서 발생할 수 있는 다양한 화재시나리오의 피해를 정량적으로 분석해야하지만 다양한 화재시나리오에 대한 검토가 어렵고 또한 화재로 인한 피해가 정성적으로 평가된다는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 2013년도에 뉴질랜드의 Building research association of new zealand (BRANZ)와 Canterbury 대학교에서 B-RISK⁽⁹⁾를 개발하였다. B-RISK는 가연물의 위치, 환기조건, 초기 온도 등 화재거동에 영향을 주는 다양한 변수의 변화에 따라 달라지는 HRR 값을 몬테카를로 시뮬레이션과 반복계산을 통해 정량적으로 다양한 HRR 값을 분석할 수 있다. 현재까지 B-RISK에 대한 예측성능에 대한 연구가 진행되어오고 있고 Baker 등은 복합 가연물 화재에 대한 B-RISK의 예측성능 검토를 수행하여 B-RISK 계산을 통해 예측된 HRR 곡선이 실험보다 빠른 화재 성장률을 예측하는 것을 확인하

였다⁽¹⁰⁾. 그리고 Zahirasri 등은 세 개의 차량화재에 대해 B-RISK의 예측성능 검토를 수행하였고 B-RISK에서 예측된 HRR 값을 통해 실험보다 빠르게 화재가 전파하는 것으로 예측한다는 것을 확인하였다⁽¹¹⁾. 하지만 아직까지 다양한 조건에 대한 B-RISK의 예측성능 검토가 충분히 수행되지 않았고 B-RISK를 통해 예측된 HRR 곡선의 화재거동에 대한 검토가 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 실험에서 측정된 가연물 한 세트의 HRR 값(실험 HRR_1)을 이용하여 수행한 B-RISK 계산을 통해 가연물 두 세트에 대한 HRR 값을 예측하고 실험에서 측정된 가연물 두 세트의 HRR 값(실험 HRR_2)과 비교하여 B-RISK 예측성능을 검토하고자 한다. 그리고 B-RISK 계산을 통해 예측된 HRR 값을 입력조건으로 사용하여 계산한 FDS 결과와 실험에서 측정된 가연물 두 세트에 대한 온도 및 화학종 농도결과와 비교하여 실제 화재거동에 대한 B-RISK의 예측성능을 검토하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 기존 연구⁽¹²⁾에서 수행된 구획실 내 가연물 한 세트와 두 세트에 대한 각 실험결과를 이용하여 수치계산을 수행하였다. 실험에서는 가로 × 세로 × 높이 = 2.75 m × 3.6 m × 2.4 m 크기의 구획실과 가로 × 세로 × 높이 = 10.4 m × 1.2 m × 2.4 m 크기의 복도로 구성된 공간에서 가연물을 한 세트 당 옷 35.44 kg을 이용하여 실험을 수행하였다. 가연물의 점화를 위해 75 kW의 프로판 버너를 이용하여 4분 동안 가연물을 가열시켰다. 그리고 온도를 측정하기 위해 구획실 내부와 복도에 K-type 열전대를 설치하였고 콘칼로미터 덕트 내부에서 O₂, CO₂ 농도를 측정하였다. 자세한 실험방법에 대한 내용은 참고문헌⁽¹²⁾을 참조하기 바란다.

3. 수치계산 조건

3.1 B-RISK 계산 조건

본 연구에서는 가연물의 화재거동에 대한 B-RISK의 예측성능을 검토하기 위해 계산영역 내 두 개의 가연물을 지정하고 각 가연물에 대한 입력조건을 Figure 1과 같이 실험 HRR_1을 사용하여 가연물 두 세트에 대한 HRR 값을 예측하도록 하였다. 그리고 입력조건에 따른 예측성능을 비교하기 위해 Figure 1에 도시한 디자인 화재곡선으로 피팅(Fitting)한 값을 입력조건으로 사용하여 계산을 수행하였다. 여기서 디자인 화재곡선은 실험 HRR_1을 이용하여 본 연구그룹이 제안한 디자인 화재곡선으로 피팅(Fitting)한 것이다. 계산된 디자인 화재곡선의 변수는 Table 1에 기술하였고 자세한 계산방법은 참고문헌⁽⁶⁾을 참조하기 바란다.

계산에 사용된 가연물 한 세트의 크기는 기존연구⁽¹²⁾에서 수치계산 수행에 사용한 가연물 세트에 대한 크기를 고

Figure 1. Heat release rate of experimental data and design fire curves for one combustible set.

Table 1. Parameters for the Calculations of Design Fire Curves⁽⁶⁾

$\dot{Q}_{max,av}$ (kW)	$t_{0,1st}$ (s)	$t_{0,2nd}$ (s)	t_i (s)	t_d (s)	t_f (s)	$\alpha_{g,1st}$ (kW/m ²)	$\alpha_{g,2nd}$ (kW/m ²)	α_d (kW/m ²)
1294.433	0.0	45.1	228.0	334.0	1240.0	0.029548	0.017351	0.001577

Table 2. Properties of Combustibles for B-RISK Calculations^(16,17)

FTP Limit (kW/m ²)	FTP Index	Critical Heat Flux (kW/m ²)	Heat of Combustion (kJ/kg)
165.47	1	16.993	16,120

려하여 가로 × 세로 × 높이 = 1.0 m × 1.0 m × 0.55 m로 하였다. 그리고 가연물 두 세트에 대한 다양한 화재거동을 검토하기 위해 각 가연물 세트의 위치는 계산마다 달라지도록 하였다. 다음으로 계산에 사용된 가연물의 물성치는 Table 2와 같으며 먼저 가연물 간의 화재 전파 예측에 영향을 미치는 Flux time product (FTP) 변수⁽¹³⁻¹⁵⁾의 경우 기존 연구⁽¹⁶⁾에서 옷에 대해 측정된 열유속 데이터를 이용하였고 연소열은 기존 문헌⁽¹⁷⁾에서 Cellulose (C₆H₁₀O₅)에 대한 데이터를 이용하였다. 그리고 반복계산 횟수는 800, 900, 1000 회로 하였을 때 예측되는 HRR 값이 서로 유사한 것을 확인하였고 가장 많은 경우를 고려하는 1000회를 지정하여 계산을 수행하였다. B-RISK 계산은 각 입력조건 당 1000회의 계산 수행에 약 15분의 물리적 시간이 소요되었다.

3.2 FDS 계산 조건

본 연구에서는 B-RISK 계산을 통해 예측된 가연물 두 세트에 대한 HRR 값의 화재거동을 평가하기 위해 예측된 HRR 값을 FDS v6.3.2⁽¹⁸⁾의 입력조건으로 사용하여 계산한 결과와 실험에서 측정된 온도 및 화학종 농도 결과와 비교하였다. 계산에 적용된 가연물은 B-RISK와 동일하게 Cellulose (C₆H₁₀O₅)로 지정하였고 Large eddy simulation (LES) 난류해석기법과 이전 연구⁽¹⁾에서 검토된 2-step MCFC 연소모델을 사용하여 아래의 반응식 (1), (2)를 수치계산에 적용하였다.

수치계산에 사용된 계산영역은 Figure 2와 같이 가로 × 세로 × 높이 = 12.0 m × 7.2 m × 6.0 m로 실험과 동일한 크기의 구획실과 복도로 구성하였다. Figure 2의 표시된 주황색 부분은 가연물로 실험과 동일한 위치에 가연물 두 세트의 크기인 가로 × 세로 × 높이 = 2.0 m × 1.0 m × 0.55 m로 지정하였다. 그리고 계산영역 내 개구부의 크기는 모두 가로 × 높이 = 0.90 m × 2.20 m로 실험과 동일하게 지정하였고 콘칼로미터의 경우 실험에서 명시한 후드의 높이와 덕트 크기를 이용하여 지정하였다.

Figure 3은 실험과 수치계산에서 온도와 화학종 농도를 측정된 위치 및 좌표를 도시한 것이다. 여기서 화학종 농도 측정위치의 경우 실험에서 덕트 내부에서 측정하였다고만 명시되어있고 정확한 위치와 흡입속도에 대해 명시되어있지 않아 실험결과와 정확한 비교는 어렵지만 입력조건에 따른 수치계산 결과간의 비교 검토는 가능하다고 판단하였다. 그리고 실험에서는 구획실 내부에서 측정된 각 위치에서의 온도결과를 측정시간마다 평균하여 정리하였고 본 연구에서도 동일한 방법으로 온도분포에 대한 수치계산 결과를 정리하고 실험결과와 비교하였다.

Figure 2. A schematic geometry of the 3-D computational domain including compartment and corridor.

Figure 3. Measuring positions of thermocouples and concentration in 3-D computational domain.

다음으로 FDS 계산수행에 적합한 격자크기(Δx)를 선정하기 위해 아래의 수식 (3)⁽¹⁸⁾을 이용하여 1차적으로 결정한 후 실험에서 측정된 온도결과와 비교하여 최종 격자크기를 결정하였다.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (3)$$

여기서 D^* 는 특성 화재직경, $\dot{Q}$ 는 최대 열발생률, ρ_{∞} , C_p , T_{∞} 는 각각 주변 공기의 밀도, 비열, 온도를 의미하며 g

는 중력가속도를 의미한다.

기존 문헌⁽¹⁸⁾에 따라 D^* 을 Δx 로 나눈 무차원 값이 10-20 일 경우에 해당 Δx 가 계산에 적합하다고 판단되기 때문에 범주에 들어가는 Δx 인 0.10 m, 0.15 m, 0.20 m을 이용하여 격자 민감도를 평가하였다. 이 때, 격자 민감도 평가를 위해 사용된 계산의 입력조건은 Figure 4에 도시된 실험 HRR_2가 사용되었다. 그리고 2-step MCFC 연소모델을 사용하는 경우 HRR 값을 그대로 입력조건으로 사용할 수 없기 때문에 HRR 값을 가연물의 연소열인 16,120 kJ/kg과 상부 표면적인 2.0 m²을 나눠서 계산되는 질량유속(Mass flux)을 입

Figure 4. Heat release rate of experimental data for two combustible set.

Figure 5. Grid size dependency for the temperature of experimental data for two combustible set.

Figure 6. Heat release rate of experimental data and predictive results for combustion efficiency.

력조건으로 사용하였고 연소효율을 100%로 가정하여 수행하였다. Figure 5에서 볼 수 있듯이 격자 민감도 평가를 통해 Δx 가 0.20 m인 경우 실험결과를 충분히 예측하지 못하는 것을 알 수 있고 Δx 가 0.10 m와 0.15 m인 경우 비교적 실험결과를 충분히 예측할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 효율적인 계산수행을 위해 Δx 를 0.15 m로 하여 균일 격자계를 구성하였으며 총 153,600개의 격자가 사용되었다.

Figure 6은 입력조건 계산에 사용되는 연소효율에 따라 달라지는 HRR 결과를 도시한 것이다. Figure 6에서 볼 수

있듯이 연소효율이 100%인 경우 실험결과보다 높은 HRR을 예측하고 연소효율이 75%인 경우 실험결과와 유사하게 HRR을 예측하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 연소효율을 75%로 가정하여 수치계산을 수행하였다. 그리고 본 연구에서는 B-RISK 계산을 통해 예측된 1000개의 HRR 값에 대해 Percentile이 70%, 90%, 100%인 HRR 값과 실험 HRR_2를 FDS의 입력조건으로 사용하여 계산을 수행하였다.

FDS 수치계산은 Intel (R) Xeon (R) CPU E5-2630 v3 @

Figure 7. Heat release rate of experimental data, design fire curve and predictive results for percentile 70%, 90%, 100%.

Table 3. Summary of Characteristic Values Experimental Data, Design Fire Curve and Predictive Results

		$\dot{Q}_{max}$ (kW)	t_{max} (s)	α_g (kW/m ²)	Total HRR (MJ)
Experiment_1		1528.0	300.0	0.016978	633.4458
Experiment_1 (DF)		1294.433	344.0	0.011603	636.2541
Experiment_2		2715.564	152.1	0.117428	1323.7107
Percentile 70%	BRISK (Exp.)	2491.0 (Error: 8.27%)	277.0	0.017714	1326.5352 (Error: -0.21%)
	BRISK (DF)	2493.5 (Error: 8.18%)	368.0	0.018413	1328.1679 (Error: -0.34%)
Percentile 90%	BRISK (Exp.)	2725.9 (Error: -0.38%)	300.0	0.030288	1490.9022 (Error: -12.63%)
	BRISK (DF)	2566.1 (Error: 5.50%)	342.0	0.021939	1431.657 (Error: -8.15%)
Percentile 100%	BRISK (Exp.)	2844.2 (Error: -4.74%)	300.0	0.031602	1634.3984 (Error: -23.47%)
	BRISK (DF)	2588.9 (Error: 4.66%)	325.0	0.024510	1594.8225 (Error: -20.48%)

2.40 GHz 성능을 가진 PC-Cluster를 사용하였고 16개의 코어를 Message passing interface (MPI) 병렬계산을 수행하였다. 계산시간은 각 입력조건에 따라 약간 차이가 있지만 각 조건에 대해 대략 52 Hr의 CPU 시간이 소요되었다.

4. 결과 및 고찰

Figure 7은 실험 HRR_1과 디자인 화재곡선을 이용하여 수행한 B-RISK 계산결과를 Percentile에 따른 결과와 실험 결과를 각각 비교한 것으로 Percentile이 70%, 90%, 100%인 경우에 대해 도시하였다. 먼저 실험결과와 B-RISK 결과를 비교하였을 때 Percentile에 상관없이 B-RISK 결과가 실험 HRR_1보다 화재성장률을 약간 높게 예측하는 것을 알 수 있다. 하지만 Percentile이 100%인 경우라도 실험 HRR_2보다 화재성장률을 완만하게 예측하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Percentile이 70%인 경우에는 B-RISK 결과가 실험 HRR_2보다 최대 HRR 값을 낮게 예측하지만 Percentile이 100%인 경우에는 거의 유사하게 예측하는 것을 확인할 수

있다. 이를 통해 B-RISK가 초기의 화재성장률을 예측하기는 어렵지만 최대 HRR 값에 대해서는 충분히 예측할 수 있음을 확인할 수 있다. 다음으로 입력조건에 따른 B-RISK 결과를 비교하였을 때 화재성장구간에서는 서로 유사하게 예측하지만 화재감소구간에 대해서는 다르게 예측하는 것을 볼 수 있다. 또한 Percentile이 높아질수록 최대 HRR 값에 대한 예측이 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

Table 3는 Figure 7의 결과를 수치적으로 비교한 것으로 최대 HRR 값, 최대 HRR 값이 되는 시점, 화재성장률, 총 열발생량에 대해 기술하였다. 여기서 화재성장률은 최대 HRR 값과 화재시작점에서 최대 HRR 값이 되는 시점을 고려하여 계산하였고 Error는 실험 HRR_2와 B-RISK 결과의 차이를 계산한 것이다. 먼저 최대 HRR 값에 대해서는 B-RISK 결과가 Percentile이 높아질수록 각 입력조건에 따라 높은 값을 예측하는 것을 볼 수 있다. 그리고 BRISK (DF)의 경우 Percentile이 100%라도 실험 HRR_2보다 낮은 최대 HRR 값을 예측하지만 BRISK (Exp.)의 경우 Percentile이 약 90%이상인 경우 더 높은 최대 HRR 값을 예측할 수 있음을 확인할 수

Figure 8. Comparison of temperature distribution at corridor and compartment for experimental data and numerical results for percentile 70%, 90%, 100%.

할 수 있다. 다음으로 화재성장률의 경우 Figure 7에서 확인한 것과 동일하게 B-RISK 결과가 실험 HRR_1보다는 높게 예측하지만 실험 HRR_2보다는 낮게 예측하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 총 열발생량에 대해서는 두 입력조건 모두 Percentile이 약 70%이상인 경우 실험 HRR_2보다 높게 예측하는 것을 볼 수 있고 Percentile이 100%인 경우에

는 약 20% 정도 더 높게 예측하는 것을 또한 볼 수 있다. 따라서 이를 통해 B-RISK가 총 열발생량에 대해서는 충분히 예측할 수 있음을 확인할 수 있다.

Figure 8은 실험 HRR_2와 B-RISK 결과를 이용하여 수행한 FDS 계산결과와 실험결과의 온도분포를 Percentile에 따라 도시한 것이다. 먼저 Percentile에 관계없이 수치계산 결

Figure 9. Temporal variation of concentrations (O_2 , CO_2) at the duct for experimental data and numerical results for percentile 70%, 90%, 100%.

과가 구획실 내부 천장에서 측정된 평균온도결과에 대해서는 충분히 예측하는 것을 볼 수 있다. 하지만 복도에서 측정된 온도결과에 대해서는 실험 HRR_2를 입력조건으로 하더라도 실험결과보다 전체적으로 온도를 낮게 예측하는 것을 볼 수 있다. 그리고 수치계산 결과를 서로 비교하였을 때 B-RISK 결과를 이용한 수치계산 결과는 서로 유사하게 예측하는 것을 볼 수 있고 실험 HRR_2를 이용한 수치계산 결과보다 온도가 완만하게 상승하는 것으로 예측하지만 최대 온도에 대해서는 유사하게 예측하는 것을 확인할 수 있다. 여기서 BRISK (Exp.)의 Percentile 70%와 BRISK (DF)의 Percentile 70%, 90%, 100%의 경우 최대 HRR 값을 실험 HRR_2보다 낮게 예측하였지만 충분히 최대 온도를 예측할 수 있음을 확인할 수 있다. 다음으로 Percentile에 따라 결과를 비교하였을 때 Percentile 값이 달라져도 수치계산 결과는 크게 달라지지 않는 것을 볼 수 있으며 이를 통해 Percentile이 70%라도 충분히 화재거동을 예측할 수 있음을 확인할 수 있다.

Figure 9는 화학종 농도분포에 대한 실험결과와 수치계산 결과를 Percentile에 따라 도시한 것이다. 화학종 농도분포에 대한 수치계산결과의 경우 정확한 측정위치에 대한 언급이 없었기 때문에 실험결과와 정확한 비교는 어렵지만 실험 HRR_2를 이용한 수치계산 결과가 실험결과를 유사하게 예측하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 온도분포에 대한 결과와 마찬가지로 Percentile에 관계없이 B-RISK 결과를 이용한 수치계산 결과가 실험 HRR_2를 이용한 수치계산 결과보다 O_2 농도와 CO_2 농도가 천천히 감소하고 증가하는 것으로 예측하는 것을 볼 수 있고 최대 및 최소 농도에 대해서는 유사하게 예측하는 것을 확인할 수 있다. 또한 B-RISK 결과를 이용한 수치계산 결과는 Percentile에 따라 예측이 크게 달라지지 않고 서로 유사하게 예측하는 것을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 구획실 내 가연물 두 세트에 대한 화재실험을 대상으로 HRR 값에 대한 B-RISK의 예측성능을 검토

하였다. 그리고 B-RISK 계산을 통해 예측된 HRR 값을 입력조건으로 사용하여 수행한 FDS 결과를 통해 화재거동에 대한 예측성능을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

먼저 B-RISK를 이용하여 예측된 가연물 두 개에 대한 HRR 값과 실험 HRR_2의 비교를 통해 B-RISK 결과가 실험 HRR_2보다 화재성장률을 완만하게 예측하지만 최대 HRR 값과 총 열발생량에 대해서는 충분히 예측할 수 있음을 확인하였다.

다음으로 B-RISK 결과를 입력조건으로 사용하여 수행한 FDS 계산결과와 가연물 두 세트에 대한 실험결과의 비교를 통해 B-RISK 결과를 이용한 FDS 계산결과가 실험결과보다 화재성장구간에서 온도가 완만하게 상승하고 또한 O_2 농도와 CO_2 농도가 각각 완만하게 감소 또는 증가하는 것으로 예측하는 것을 확인하였다. 그리고 Percentile의 값에 따라 FDS 결과가 크게 달라지지 않고 실험 HRR_2를 이용한 FDS 계산결과와 최대 온도 및 화학종 농도결과를 서로 유사하게 예측하는 것을 확인하였다. 이를 통해 Percentile이 약 70%인 경우 충분히 화재거동을 예측할 수 있음을 확인하였다. 하지만 실험 HRR_2를 이용하더라도 FDS 계산결과가 실험에서 측정된 복도에서의 온도결과보다 낮게 예측하는 것을 확인하였고 이에 대해 FDS의 고체 가연물에 대한 예측성능이 검토가 필요해 보인다.

후 기

본 연구는 2017년도 소방청의 현장중심형 소방활동지원 기술개발사업(MPSS-소방안전-2015-66)의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

References

1. B. Baek, C. B. Oh, C. H. Hwang and H. S. Yun, "Evaluation of the Prediction Performance of FDS Combustion Models for the CO Concentration of Gas Fires in a Compartment", Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 7-15 (2018).

2. Ministry of Public Safety and Security, “Low of Fire Protection Contractor 2016”, www.law.go.kr (2016).
3. H.-J. Kim and D. G. Lilley, “Heat Release Rates of Burning Items in Fires”, 38th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, AIAA 2000-0722, pp. 1-25 (2000).
4. H. Ingason, “Design Fire Curves for Tunnels”, Fire Safety Journal, Vol. 44, No. 2, pp. 259-265 (2009).
5. B. Baek, C. B. Oh, E. J. Lee and D.-G. Nam, “Application Study of Design Fire Curves for Liquid Pool Fires in a Compartment”, Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 43-51 (2017).
6. B. Baek, C. B. Oh and C. Y. Lee, “Evaluation of Modified Design Fire Curves for Liquid Pool Fires Using the FDS and CFAST”, Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 7-16 (2018).
7. B. Baek, C. B. Oh and C. H. Hwang, “Evaluation of Design Fire Curves for Gas Fires in a Compartment Using CFAST”, Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 7-16 (2018).
8. B. Baek and C. B. Oh, “Evaluation of the Prediction Performance of Design Fire Curves for Solid Fuel Fire in a Building Space”, Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 47-55 (2019).
9. C. Wade, G. Baker, K. Frank, R. Harrison and M. Spearpoint, “B-RISK 2016 user Guide and Technical Manual”, BRANZ Study Report SR364 (2016).
10. G. Baker, C. Wade, M. Spearpoint, C. M. Fleischmann, K. Frank and S. Sazegara, “A Comparison of a Priori Modelling Predictions with Experimental Results to Validate a design Fire Generator Submodel”, 13th International Fire and Materials Conference, pp. 28-30 (2013).
11. M. Zahirasri and M. Spearpoint, “The Capability of B-RISK Zone Modelling Software to Simulate BRE Multiple Vehicle Fire Spread Test”, Asian Simulation Conference Springer, pp. 38-51 (2017).
12. E. Zalok, “Design Fires for Commercial Premises”, Ph.D Dissertation, Carleton University (2006).
13. T. J. Shields, G. W. Silcock and J. J. Murray, “Evaluating Ignition Data Using the Flux Time Product”, Fire and Materials, Vol. 18, No. 4, pp. 243-254 (1994).
14. G. W. H. Silcock and T. J. Shields, “A Protocol for Analysis of Time to Ignition Data From Bench Scale Tests”, Fire Safety Journal, Vol. 24, No. 1, pp. 75-95 (1995).
15. G. Baker, M. Spearpoint, C. M. Fleischmann and C. Wade, “Selecting an Ignition Criterion Methodology for use in a Radiative Fire Spread Submodel”, Fire and Materials, Vol. 35, No. 6, pp. 367-381 (2011).
16. S. Nazare, B. Kandola and A. R. Horrocks, “Use of Cone Calorimetry to Quantify the Burning Hazard of Apparel Fabrics”, Fire and Materials, Vol. 26, pp. 191-199 (2002).
17. NFPA, “The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, NFPA, 2th Edition (1995).
18. K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk and K. Overholt, “Fire Dynamics Simulator User’s Guide”, NIST Special Publication 1019, 6th Edition (2015).