

P-11

## 환기가 제한된 두 개 격실 화재에서 FDS 검증분석

배용범 · 금오현 · 김윤일 · 류수현 · 김위경 · 박종석  
원자력안전기술원

### Validation of FDS for Fire in Underventilated Condition with Two rooms

Bae, Young Bum · Keum, O Hyun · Kim, Yun Il · Ryu, Su Hyun · Kim, Wee Kyung · Park, Jong Seuk  
Korea Institute of Nuclear Safety

#### 요 약

Fire model shall be verified and validated to reliably show the predictive capabilities for a specific use. In the process of model verification and validation, both the acceptable uses and limitation of fire model are established. In this study, the results of FDS simulation are compared with the data of PRISME experiment such as temperature, heat release rate, heat flux, product concentrations in the under-ventilated two-room condition. Furthermore, the sensitivity of FDS under ventilation condition changes are evaluated. FDS provide the reliable prediction for under-ventilated two-room fire scenario with slightly deviation.

#### 1. 서 론

원자력발전소에서는 화재로 인한 안전에 중요한 구조물, 계통, 기기 및 안전관련 케이블의 손상을 분석하기 위해 화재분석코드를 사용하고 있다. 이러한 분석에 사용되는 화재분석코드는 특정 화재시나리오에 대한 검증 및 확인된 경우에 한하여 사용을 허용하고 있다. 그러므로 다양한 화재시나리오에 대한 화재분석코드의 검증 및 확인과정이 필요하다. 본 연구에서는 FDS(Fire Dynamics Simulator)의 예측 가능성을 검증하기 위해 원자력발전소와 유사한 격실크기, 환기조건, 연료상태 등을 고려한 OECD국제공동연구(PRISME Project)를 통해 수행된 실물 화재실험 결과를 이용하였다. 수행된 실물 화재실험에서는 환기가 제한되기 때문에 산소량이 21%이하의 상태에서 화재가 진행된다. 일반적인 연료 지배형 화재가 아닌 산소 지배형 연소특성을 보이는 화재에 대한 검증이 본 연구의 대상이다. 이러한 화재시나리오에 대한 FDS의 예측능력과 환기량의 변화에 따른 FDS의 민감

도를 실물화재실험 결과와 비교분석한다.

## 2. 실험장치 및 실험조건

실물화재 실험장치는 두 개의 격실(폭 6m, 길이 5m, 높이 4m)이 개방된 문으로 연결된 상태로 있으며, 각 격실의 상부에는 강제 환기용 개구부(가로 0.6m, 세로 0.3m)가 두 개씩 설치되어 있다. 환기용 개구부를 통해 각각 0.158 m<sup>3</sup>/s의 유량이 유입 및 유출된다. 화재 발생 격실에는 가연성 액체인 Tetra-Propylene Hydrogenated(TPH) 16.255 kg이 직경 0.714 m의 원형 연료 팬에 담겨 있으며, 바닥으로부터 0.4 m 높이에 격실 중앙에 위치해 있다. 화재실험 진행 중에 소모된 연료의 질량을 측정할 수 있도록 계측기가 설치되어 있으며, 연료 팬은 바닥 및 측면으로의 열방출을 줄이기 위해 단열재로 보호되어 있다. 실물 화재실험 장치를 그림에 나타내었다.

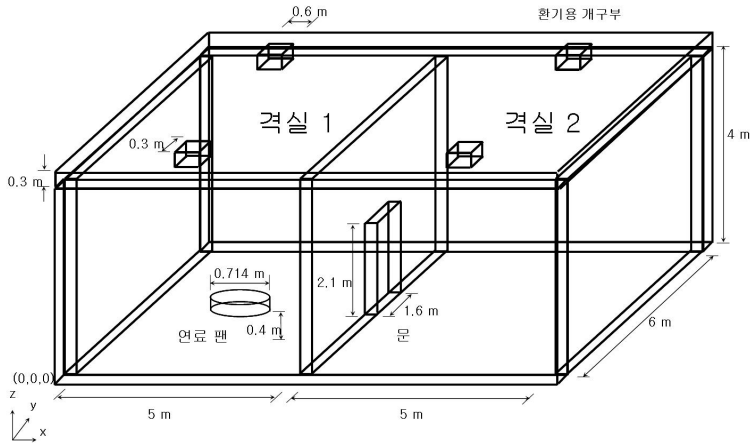


그림 1. 실물 화재실험 장치

격실을 구성하고 있는 바닥, 벽, 천장 등은 0.3 m 두께의 강화 콘크리트로 되어 있으며, 격실의 주위온도 및 연료의 초기온도는 25 °C로 되어있다. 연료인 TPH의 화재발생시 CO 및 Soot 생성률은 연료 단위질량당 각각 0.013 g 및 0.056 g이다. 가연성 액체연료인 TPH에 대한 연소특성치를 표1에 나타내었다.

표 1. TPH 연소특성치

화학조성	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	분자량	170
끓는점	188 °C	CO 생성률	0.013 g/g
인화점	51~61 °C	Soot 생성률	0.056 g/g
밀도	0.76 g/ml	질량손실률	13.6 g/s

### 3. FDS 시뮬레이션 조건

그림2에는 실물화재실험을 통해 얻은 화재 성장에 따른 연료의 질량소모율을 나타내었으며, 실제 질량소모율을 17단계로 구분하여 질량소모율을 모사하였다. 이러한 연료의 질량소모율을 이용하여 실물화재실험에서 열방출률을 추정하였다. 연료 TPH의 연소열(Heat of Combustion)로써  $\Delta H_c = 46.5 \text{ MJ/kg}$ 을 이용하였으며, 화재성장애 따른 열방출률을 계산하여 FDS에 입력되었다.

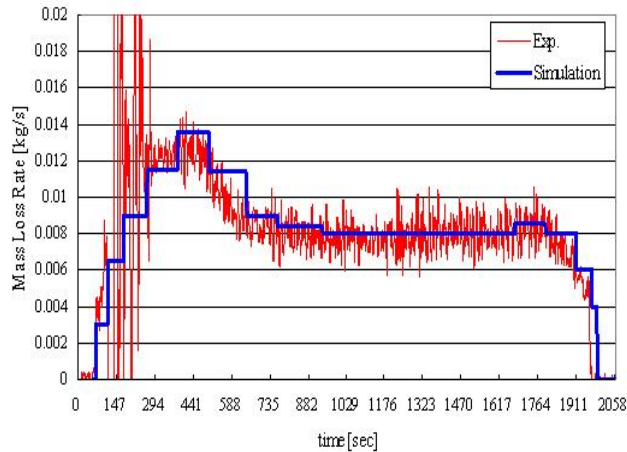


그림 2. 실물 화재실험의 질량소모율 및 FDS입력된 질량소모율

연료 TPH의 초기온도는 25 °C로 설정되었으며, 연료의 연소반응은 연료 1 mol당 산소 18.5 mol이 소모되고, CO<sub>2</sub> 12 mol, H<sub>2</sub>O 13 mol 생성되는 반응으로 설정되었다. 또한 연료 1 g당 Soot 및 CO가 부산물로 0.013 g 및 0.056 g이 생성되게 설정되었다. 실물화재실험에서 환기계통을 통해 유입 및 유출되는 유량인 0.158 m<sup>3</sup>/s가 화재진행 중에 계속 유입 및 유출되게 설정되었다. 또한 유입 및 유출유량에 따른 FDS의 민감도를 보기위해 15 %, 30 % 증가시킨 유입 및 유출량을 설정하여 시뮬레이션 하였다. 화재성장애 따른 각 격실에서 환기계통을 통해 유입되는 유량의 유동장은 그림3과 같다.

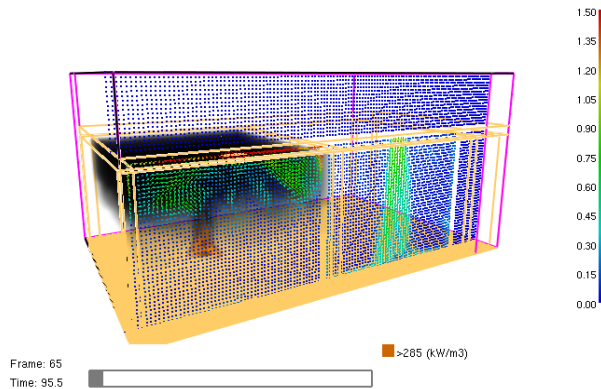


그림 3. FDS에서 환기계통의 통한 유입 유동장

## 4. 결 과

### 4.1 온도

화재가 발생한 격실1의  $x = 3.75\text{m}$ ,  $y = 4.5\text{m}$ ,  $z = 3.9\text{m}$ 의 위치에서 측정된 온도와 FDS를 통한 계산 온도는 그림4와 같다. 실험을 통해 측정된 온도와 FDS 계산온도는 최고점도달 시기인 450초까지는 거의 비슷한 결과를 나타내었으나 화재지속 기간에는 최대 10%의 차이를 보여주었다. 또한 환기량을 증가시키에 따라 FDS 계산 온도도 미세 상승하는 결과를 보였다. 그러나 15% 유입 및 유출유량을 증가한 경우와 30% 증가시킨 경우의 민감도가 크지 않은 것으로 추정되었다. 위의 측정지점보다 약간 낮은  $z = 2.8\text{m}$ 에서도 비슷한 결과를 보여주었다.

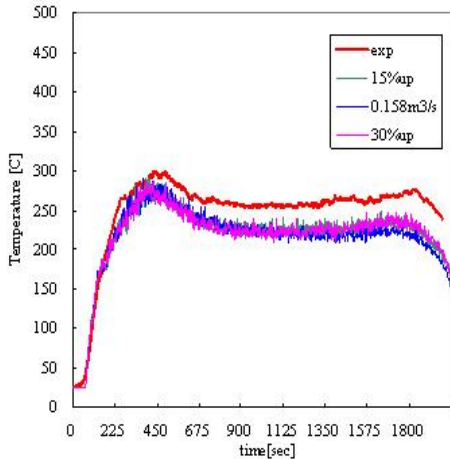


그림 4. 3.90m 높이에서 온도 비교

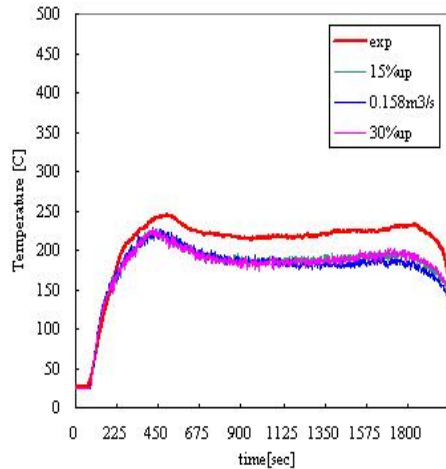


그림 5. 2.80m 높이에서 온도 비교

### 4.2 열유속 및 열방출률

화재가 발생한 격실1의  $x = 2.5\text{ m}$ ,  $y = 6.0\text{ m}$ ,  $z = 2.65\text{ m}$ 의 위치에서 측정된 열유속과 FDS를 통한 계산된 열유속은 그림6과 같다. 계산된 FDS의 열유속 값은 최고점 도달 전의 450초 이전에는 측정된 열유속과 거의 유사한 결과를 보였으나 화재지속기간 및 쇠퇴기간에는 최대 25%의 차이를 나타내었다. 환기구를 통해 유입 및 유출량을 증가시켰을 경우 열유속의 미세 상승 결과를 나타내었으나, 15% 증가 혹은 30% 증가에 대한 FDS의 결과에 대한 민감도는 나타나지 않았다. TPH 화재불꽃으로 부터 발생하는 열방출률에 대한 실험값과 FDS 계산값은 그림7과 같다. 실험과 비슷한 조건의 환기량이나 증가시킨 환

기량에 모두 열방출률이 거의 일치하는 경향을 나타내었다.

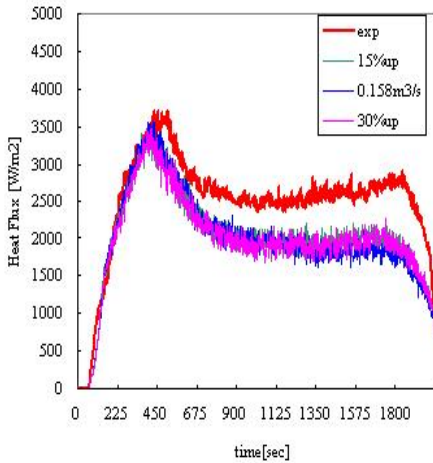


그림 6. 열유속 비교

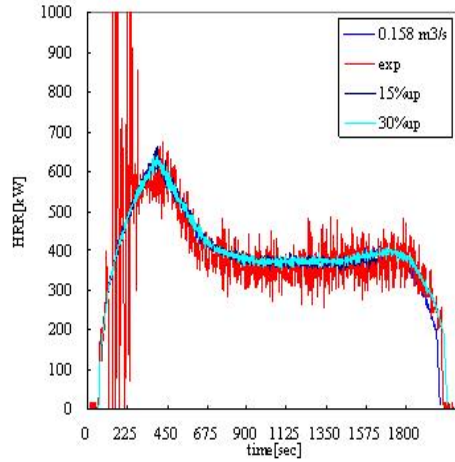


그림 7. 열방출률 비교

### 4.3 산소 및 이산화탄소 농도

화재가 발생한 격실에서 산소농도 및 이산화탄소 농도는 격실1의  $x = 3.75\text{m}$ ,  $y = 4.5\text{m}$ ,  $z = 3.3\text{m}$ 의 위치에서 측정되어 비교되었으며, 실험값과 FDS 계산결과를 비교한 결과를 그림8 및 그림 9에 각각 나타내었다. 산소농도는 유입 및 유출량이 증가할수록 산소농도가 높아짐을 보였으며, 실험값과는 최대 20%의 차이를 나타내었다. 연소생성물인 이산화탄소 농도는 환기량을 증가할수록 감소하는 추세를 보여주었다.

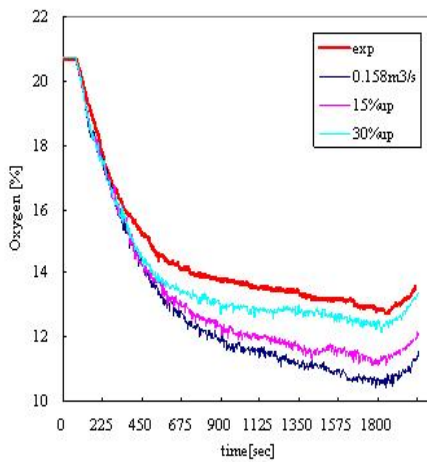


그림 8. 산소농도 비교

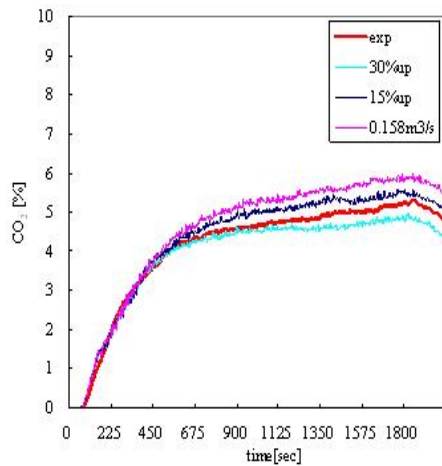


그림 9. 이산화탄소 농도 비교

## 5. 결 론

본 연구에서는 OECD국제공동연구(PRISME Project)의 실물화재실험을 통해 얻은 데이터를 바탕으로 환기가 제한된 격실에서 FDS의 화재영향 예측능력을 격실 온도, 열유속, 열방출률, 산소 및 이산화탄소 농도의 측면에서 검증하였다. 또한 환기유량의 변화에 따른 FDS의 예측 결과에 대해 민감도분석을 수행하였다. 분석결과 온도는 최대 10%, 열유속은 최대 25%, 산소 및 이산화탄소 농도는 최대 20%의 실험값보다 낮았고, 열방출률은 거의 일치하였다. 환기량의 미세변화에 따른 FDS의 예측결과는 산소 및 이산화탄소 농도에서 영향을 미쳤으나, 격실 온도, 열방출, 열유속에서는 거의 나타나지 않았다. 환기 지배형 화재인 격실화재에서 산소 농도가 증가 하였음에도 불구하고 격실 최대온도에는 변화가 없었다. 이상과 같이 환기가 제한된 이중격실 화재에서 FDS의 화재영향 예측결과는 실험값과 유사한 경향을 나타내었으나, 격실 최대온도 등 대부분 주요 변수들이 다소 낮게 모사되었다. 그러므로 향후 FDS 분석결과가 낮게 예측되는 추가적인 원인을 규명할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 한국원자력안전기술원(KINS)의 중장기 과제인 “성능기반 화재위험도분석 방법론 및 평가체제 개발”의 지원으로 이루어졌다.

## 참고문헌

1. NUREG-1824, "Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications", U.S. NRC, Washington, DC, Jan. 2006.
2. Pretrel H., "PRISME SOURCE Program Analysis Report SEREA-2007-116-PRISME 23", IRSN, 2007
3. Le Saux W., "Description of the DIVA facility, DPAM/SEREA 2006-157, PRISME 008", IRSN, 2006
4. Le Saux W., "PRISME DOOR programme PRS D3 test report, DPAM/SEREA 2006-34 2, PRISME-014", IRSN, 2006
5. McGrattan, K., "Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide", NIST Special Publication 1018, NIST, Gaithersburg, MD, August, 2005.
6. J. X. Wen, et al., "Validation of FDS for the prediction of medium-scale pool fires", Fire Safety Journal 42, 2007
7. Tewarson, A., "Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires", Section 3-4, The SFPE Handbook of fire Protection Engineering, 3rd Edition.
8. Bae Y.B, et. al., "Simulation of pool fire with two rooms using FDS model", Proceedings of the SAREK, 2008 summer annual conference, pp 1332 - 1337