

원자력발전소의 다중구획에서 환기부족화재 예측을 위한 FDS 검증

문선여 · 황철홍[†] · 박종석^{*} · 도규식^{*}
대전대학교 소방방재학과, ^{*}한국원자력안전기술원

원자력발전소의 화재는 강제 환기시스템의 운전조건에 따라 복잡한 현상을 갖을 수 있으며, 높은 밀폐도로 인하여 환기부족화재에 도달될 가능성을 갖고 있다. 원전 화재위험도 분석 및 성능기반 화재방호를 위한 화재모델링의 적용을 위하여 다양한 기준안이 제시되고 있으나, 특정 화재현상에 대한 수치모델, 수행과정의 타당성 및 신뢰성 확보의 최종 판단은 사용자의 역량에 따라 큰 차이를 보일 수 있다. 이러한 배경 하에 OECD/NEA PRISME 프로젝트를 통해 얻어진 실험결과와 대표적인 화재모델링 tool인 FDS 결과 비교를 통해 원전의 다중구획에서 환기부족화재에 대한 FDS의 검증연구를 수행하였다.

PRISME door test는 Figure 1(a)에서와 같은 DIVA 설비에서 수행되었다. 본 실험조건에서는 각 구획의 환기 밸브를 차단하여 흡기 및 배기 유량을 $0\text{m}^3/\text{h}$ 로 설정되었다. 그러나 점화 및 소화단계의 급격한 압력변동을 감쇠시키기 위하여 room 2의 배기밸브는 개방된 상태로 유지되었다. 그 결과 실제 실험에서는 Fig. 1과 같이 점화, 최성기 이후 및 소화 순간에 room 2의 배기밸브를 통해 구획 내부의 환기량 변화가 발생되었다. 환기시스템의 경계조건의 정확도가 수치 해에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 환기 유량을 $0\text{m}^3/\text{h}$ 로 설정한 고정된 환기조건과 실제 환기조건이 검토되었다. 또한 FDS의 단순한 소화모델의 문제점을 확인하기 위하여 소화모델의 미적용 조건이 추가적으로 고려되었다.

Figure 2는 환기시스템의 경계조건 및 소화모델의 적용 여부에 따른 room 1의 온도 및 CO를 비교 도시한 결과이다. 고정된 환기조건과 소화모델 미적용 조건은 시간에 따른 측정 온도를 매우 정확하게 예측하고 있다. 그러나 실제 환기조건을 부여한 조건은 $t=650\text{s}$ 에서 급격하게 감소되며, $t=995\text{s}$ 에서는 다시 증가되는 결과를 보여주고 있다. Fig. 2(b)의 CO를 살펴보면, 실제 환기조건은 실험결과를 최대 100%의 과대 예측하는 큰 오차를 나타내고 있다. 반면에 실제 환기조건에

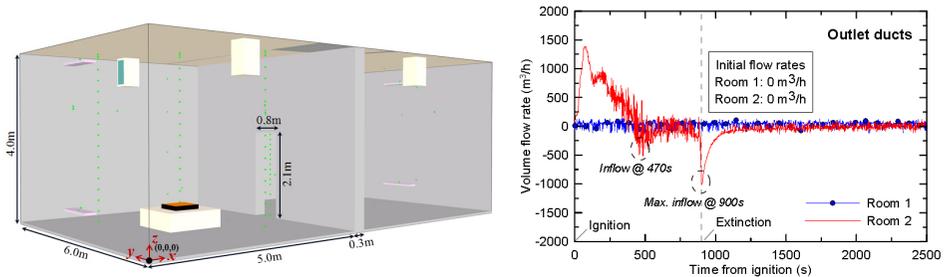


Figure 1. Perspective view of the DIVA facility and volume flow rates measured at the outlet ducts of room1 and room2.

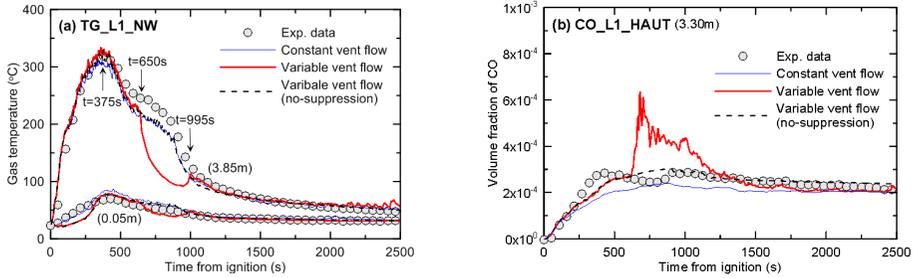


Figure 2. Comparisons of gas temperature and major species with the change in ventilation flow in room 1.

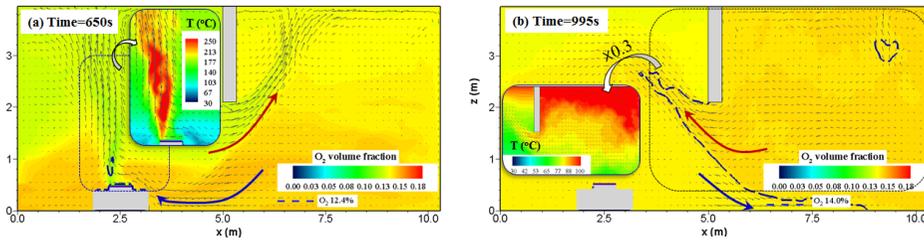


Figure 3. Instantaneous distributions of O₂ volume fraction and temperature at y=3.0 m for the variable vent flow condition.

소화모델의 미적용 조건은 고정된 환기조건보다 오히려 정확한 예측성을 보여주고 있다. 결과적으로 밀폐된 다중 구획에서 실제 환기조건이 적용된 정확한 화학종의 농도를 위해 매우 중요함을 예측할 수 있다. 그러나 환기부족화재의 조건에서 단순한 소화모델의 적용이 오히려 수치해의 오차를 급격히 증가시킬 수 있는 위험성 또한 확인할 수 있다.

Figure 3은 실제 환기조건이 적용된 결과로서, 소화 및 재점화가 발생하는 t=650s 및 995s의 순간적인 속도벡터, O₂ 체적분율 및 온도를 도시한 것이다. 위 그림을 통해 Fig. 2의 결과는 환기부족화재의 지속 및 room 2의 공기 유입으로 인한 O₂ 농도의 변화가 (순간적인 온도를 기준으로) FDS 소화모델의 소화경계에 포함(소화) 및 미포함(재점화)되는 단계적인 변화에 의해 발생된다는 사실을 확인할 수 있다.

위 결과로부터 점화 및 소화 단계에서 구획 내부의 급격한 압력변동에 의해 변화될 수 있는 환기 유량의 수치 경계조건은 다중 구획 내부의 온도, 열유속에는 큰 영향을 주지 않지만, 농도의 정확한 예측을 위하여 주위 깊게 고려되어야 한다. FDS에 적용된 간단한 소화모델은 인위적인 소화 및 재점화 현상을 동반하며, 소화모델이 적용되지 않았을 때 환기부족화재에 대한 FDS의 결과는 실험결과를 매우 잘 예측하고 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 한국원자력안전기술원의 원자력안전 중장기 연구개발사업을 위한 위탁과제로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.