

실내 프로판화재의 시뮬레이션

박준 · 고경찬 · 박외철*

부경대학교 대학원 안전공학과 · *부경대학교 안전공학과

1. 서론

실내공간에서 화재가 발생하였을 때 화원과 개구부의 크기 및 위치에 따라 유동과 연기거동이 달라진다. 화재를 예측하고 연기의 흐름을 파악한다면 화재로 인한 인명피해 및 재산피해를 줄일 수 있기 때문에 실내화재 분야의 연구가 많이 이루어져왔다. 실제 크기의 화재실험을 수행하는 것은 곤란하므로 축소실험^{1~3)}이나 화재사례분석⁴⁾ 및 수치연구^{5,6)}가 진행되었다.

최근에는 컴퓨터시스템과 전산유체역학의 발달로 수치연구가 수행되고 있다. 그 예로 Fire Dynamics Simulator(FDS)⁷⁾를 사용한 공간내 온도분포와 연기거동의 분석^{8,9)}을 들 수 있다. 그러나 실내화재의 수치연구⁹⁾에서는 메탄올 화재를 모사하여 측정치와 비교하였는데, 실험에 비해 화재성장을 지나치게 빨리 예측하는 것으로 나타나 FDS의 문제점으로 지적되었다. 그러므로 FDS를 이용한 실내화재 시뮬레이션에 대하여 더 많은 검증이 필요하다.

이에 따라 본 연구에서는 비교대상을 산소가 부족한 실내화재를 선택하였다. 본 연구의 목적은 개구부가 있는 실내에서 프로판이 연소할 때 시간에 따른 온도 변화와 정상 상태에서의 온도분포를 계산하여 실험¹⁰⁾과 비교함으로써 FDS를 이용한 실내화재 모사에 있어서의 문제점을 파악하는 것이다.

2. 수치모사 방법

Wen과 Huang¹⁰⁾은 2.5m×2.0m의 개구부가 있는 9.8m×3.54m×3.91m의 공간에 바닥 중앙에 위치한 프로판화재에 대한 실험을 수행하였다. 프로판의 연소율은 0.33kg/s이었고, 공간의 x방향 2.5m, 7.5m, 10.0m인 곳에 열전대를 설치하여 높이에 따른 온도분포를 측정하였다.

Fig. 1은 이 실험과 비교하기 위한 본 연구의 계산영역과 공간구성을 나타낸 것이다. 실험과 유사한 10.0m×3.6m×4.0m 크기의 공간 오른쪽에 2.5m×2.0m의 개구부가 있고, 바닥 중심에 면적 0.4m×0.4m, 높이 0.4m의 화원을 두었다. 가연성물질은 실험과 같이 프로판으로 하였고, 열방출률은 실험의 연소율 0.33kg/s로부터 환산 16.9MW로 하였다. 또 화재크기에 따른 온도를 비교하기 위해 열방출률 33.8MW도 포함하였다.

실험과 비교하기 위해 x 방향 2.5m, 7.5m, 10.0m에 위치한 수직선 a-b, c-d, e-f에서

위치에 따른 평균온도를 구하였다. 또 각 수직선에서 높이 1.9m인 점 T_1 , T_2 , T_3 에서 시간에 따른 온도 변화를 계산하였다.

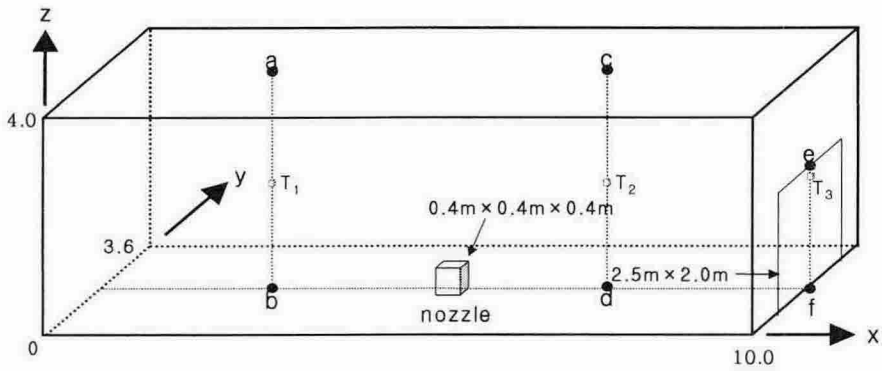
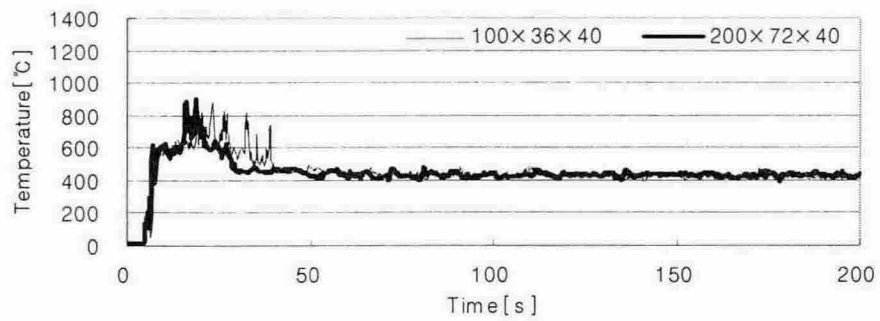


Fig 1. Computational domain and configuration

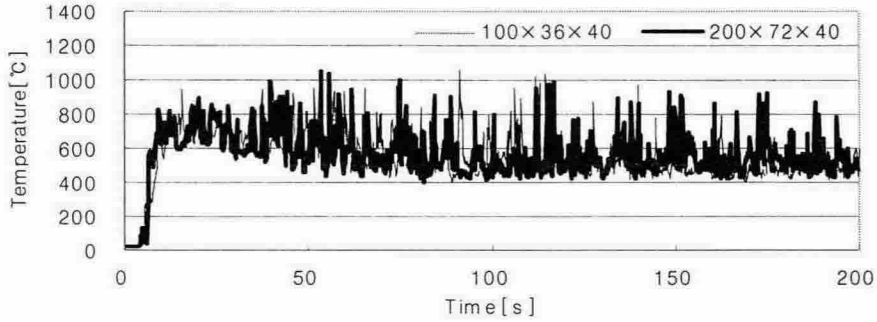
x, y, z 방향 격자수는 $200 \times 72 \times 40$ 과 $100 \times 36 \times 40$ 을 비교하여 큰 오차가 없음을 확인하고 $100 \times 36 \times 40$ 을 사용하였다. 화재발생 후 약 40초가 되면 온도변화가 정상상태에 도달하므로 200초에서 계산을 종료하였다. Fire Dynamics Simulator(FDS) v3.1을 사용하였으며, 기본으로 포함되어있는 대와류모사(large eddy simulation)와 혼합분율 연소모델, 복사유한체적법을 그대로 사용하였다.

3. 결과 및 분석

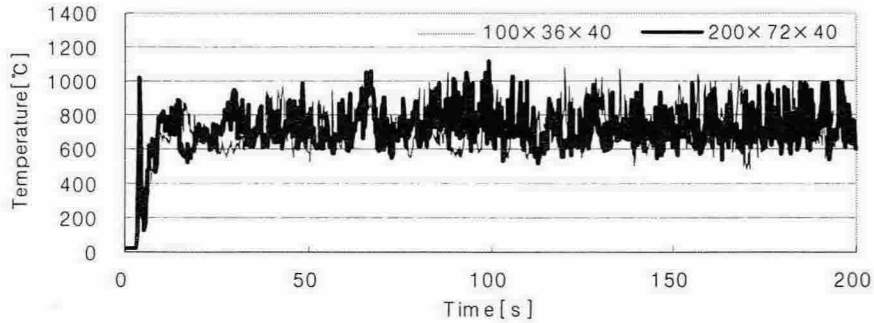
실험과의 비교에 앞서 격자수에 따른 T_1 , T_2 , T_3 에서의 시간에 따른 온도변화를 Fig. 2에서 비교하였다. 격자수를 $100 \times 36 \times 40$ 과 $200 \times 72 \times 40$ 으로 했을 때 x방향 거리가 각각 2.5m, 7.5m, 10.0m인 세 점 T_1 , T_2 , T_3 (Fig. 1 참조)의 온도변화는 차이가 거의 없음을 알 수 있다.



(a) T_1 (x=2.5m)



(b) T_2 ($x=7.5\text{m}$)



(c) T_3 ($x=10.0\text{m}$)

Fig. 2 Comparison of temperature variation for number of grids

또한 점 T_1 , T_2 , T_3 에서의 온도변화로부터 $t = 100 \sim 200\text{s}$ 에서 구한 평균값은 Table 1과 같이 차이가 아주 작음을 알 수 있다. 격자수의 변화에 따른 온도 차이가 거의 없기 때문에 본 연구에서는 격자수 $100 \times 36 \times 40$ (격자크기 $0.1\text{m} \times 0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$)을 사용하였다.

Table 1 Average temperature at T_1 , T_2 and T_3

Number of grids	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]
$100 \times 36 \times 40$	426	523	734
$200 \times 72 \times 40$	432	546	723

Fig. 3은 수직선 a-b, c-d 그리고 개구부의 e-f에서 정상상태의 온도분포를 실험과 비교한 것이다. 정상상태의 온도는 $t = 100 \sim 200\text{s}$ 에서 구하였다. Fig. 3의 (a)는 $x = 2.5\text{m}$ 에 위치한 a-b 선에서 비교한 온도로서, 실험값의 온도분포는 높이(z) 0.6m 까지는 약 100°C 보다 낮지만 $0.6 < z < 1.0\text{m}$ 에서는 온도가 급격히 올라가 $z > 1.0\text{m}$ 에서는 약 1000°C 의 일정한 온도분포를 보인다. 그러나 시뮬레이션의 경우 $z = 0\text{m}$ 에서부터 약 300°C 로

시작하여 $z = 0.5\text{m}$ 이상부터는 약 430°C 로 일정하게 나타난다. 시뮬레이션에서 $z = 0\text{m}$ 부터 높은 온도를 보이는 것은 온도가 낮은 외기의 유입을 반영하지 못함을 나타낸다. Fig. 3 (b)와 (c) 역시 실험에 비해 지나치게 온도가 낮게 나타나 평균온도분포 예측에 오차가 대단히 큼을 알 수 있다. 이것은 이전의 실내화재 수치연구⁹⁾에서 세 가지 화재 크기에서 정상상태의 온도분포가 모두 실험과 비교적 잘 일치하는 것과 다른 결과이다.

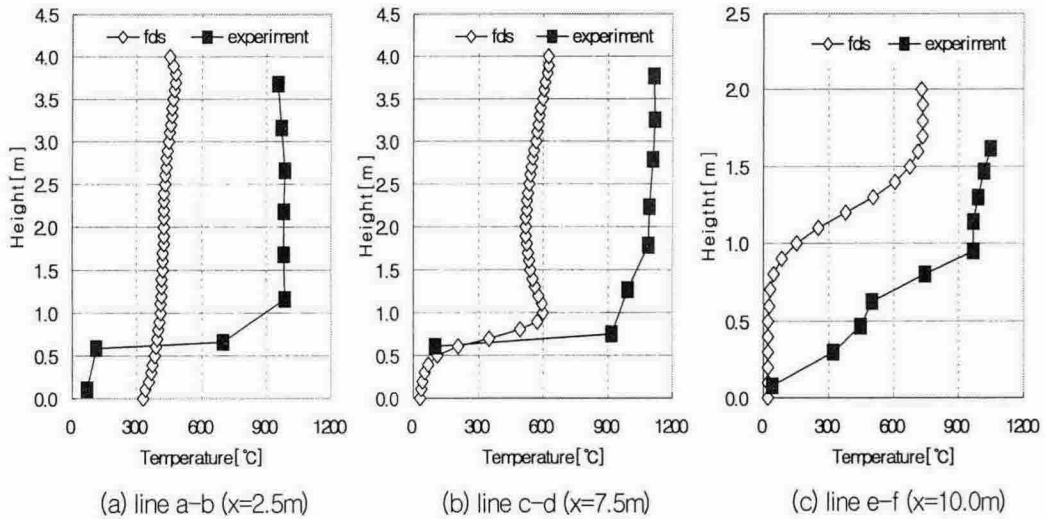
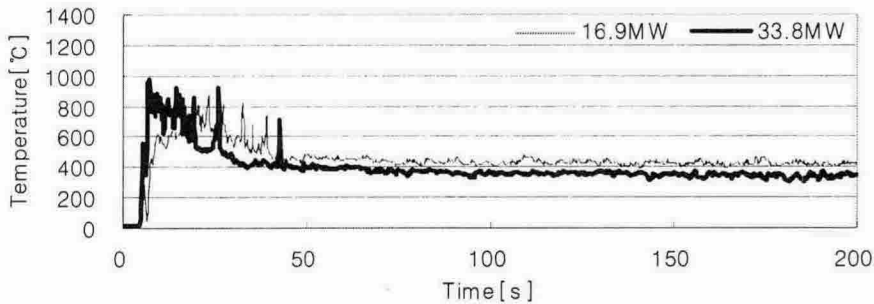
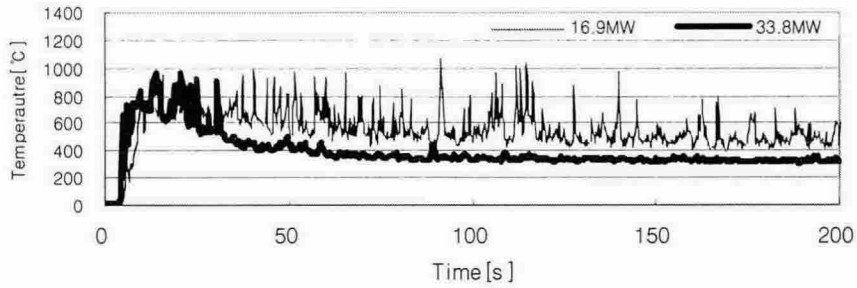


Fig. 3 Comparison of average temperature profiles

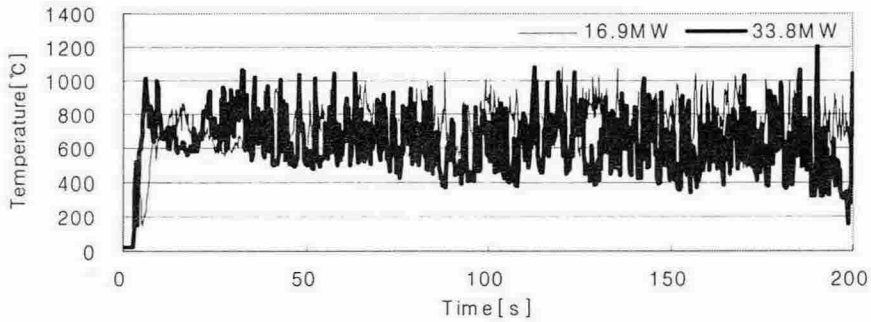
한편, Fig. 4는 화재의 크기에 따른 온도변화를 알아보기 위해 열방출률을 16.9MW와 33.8MW로 하여 각 온도변화를 점 T_1 , T_2 , T_3 에서 비교하였다. 세 점에서 모두 33.8MW일 때 16.9MW보다 온도가 더 낮게 나타났다.



(a) T_1 ($x=2.5\text{m}$)



(b) T_2 ($x=7.5m$)



(c) T_3 ($x=10.0m$)

Fig 4. Comparison of temperature variation for heat release rate

이 경우 $t=100\sim 200s$ 에서 구한 평균온도는 Table 2와 같다. T_1 , T_2 , T_3 에서 화재의 크기가 33.8MW일 때 16.9MW보다 평균온도가 더 낮음을 확인할 수 있다. 이것은 산소가 부족한 실내화재에서는 정확한 시뮬레이션이 불가능함을 알 수 있다. 그러므로 FDS를 사용하여 실내화재 시뮬레이션을 수행할 때 유의해야 한다.

Table 2 Average temperature at T_1 , T_2 and T_3

heat release rate	$T_1[^\circ C]$	$T_2[^\circ C]$	$T_3[^\circ C]$
16.9MW	426	523	734
33.8MW	349	333	607

4. 결론

본 연구는 FDS를 사용한 실내 화재모사에 있어서의 문제점을 파악하기 위해 $2.5m \times 2.0m$ 의 개구부가 있는 $10.0m \times 3.6m \times 4.0m$ 크기의 공간에 16.9MW의 프로판 화재에 대

한 시뮬레이션을 수행하여 측정치와 비교하였다. 격자수의 영향을 분석하여 격자수 100×36×40을 사용하였다. 정상상태의 온도분포는 실험에 비해 훨씬 더 낮았다. 화재크기가 33.8MW일 때는 16.9MW보다 온도가 더 낮게 나타났다. 이것은 공기공급이 충분하지 못한 경우에 FDS의 연소모델이 화재를 정확하게 예측하지 못하기 때문으로 추정된다. 그러므로 FDS를 사용하여 실내화재 모사를 수행할 때 연소에 필요한 공기가 충분히 공급되지 못하는 경우에는, 시뮬레이션 결과의 타당성에 대해 유의해야함을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 정진용, 유홍선, 이재하, 홍기배, “실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기거동에 대한 실험연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제26권, 제5호, pp. 703~709, 2002.
- 2) S. C. Kim and H. S. Ryou, “An Experiment and Numerical Study on Fire Suppression Using a Water Mist in Enclosure”, Building and Environment, Vol. 38, pp. 1309~1316, 2003.
- 3) M. Porch and G. Garrad, “A Study of Wall and Corner Fire Plumes”, Fire Safety Journal, Vol. 34, pp. 81~98, 2000.
- 4) 김인태, “10대 화재사례분석 및 대책”, 방재기술, 제28호, 2000.
- 5) 추병길, 조성곤, “밀폐공간내 화재에 의해 생성된 연소가스 분석 및 유동에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제12권, 제1호, pp. 77~93, 1997.
- 6) 박외철, 고경찬, “실내화재에 있어서의 대류열전달에 관한 수치연구 - I. 수치법 검증 및 자연대류”, 산업안전학회지, 제14권, 제2호, pp. 26~31, 1999.
- 7) K. B. McGrattan, H. R. Baum, R. G. Rehm, A. Hamins, G. P. Forney, J. E. Floyd, S. Hostikka and K. Prasad, Fire Dynamics Simulator(version 3) Technical Reference Guide, NIST, U.S.A., 2002.
- 8) 박외철, “큰 개구부가 있는 공간의 화재와 제연의 대와류모사”, 한국화재·소방학회 논문지, 제17권 제3호, pp. 7~12, 2003.
- 9) 고경찬, 박외철, “FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점 - I. 중심형 화재”, 산업안전학회지, 제19권, 제1호, pp. 18~22, 2004.
- 10) J. X. Wen and L. Y. Huang, “CFD Modelling of Confined Jet Fires under Ventilation -Controlled Condition”, Fire Safety Journal, Vol. 34, pp. 1~24, 2000.