

FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점

II. 벽면형 및 모서리형 화재

고경찬* · 박외철†

*부경대학교 대학원 안전공학과 · 부경대학교 안전공학과
(2003. 7. 31. 접수 / 2004. 6. 9. 채택)

A Numerical Study of a Room Fire for Fire Sizes

II. wall fire and corner fire

Kyung-Chan Ko* · Woe-Chul Park†

*Department of Safety Engineering, Graduate School, Pukyong National University
Department of Safety Engineering, Pukyong National University
(Received July 31, 2003 / Accepted June 9, 2004)

Abstract : To confirm the previous finding that FDS predicts a fire growth rate too rapid compared with an experiment in a center fire in a room with an opening, the same computational fluid dynamics was applied to two types of fires, wall fire and corner fire. First the grid size was chosen to eliminate possible numerical errors due to a coarse grid system. Then the two types of fires were simulated for three different fire sizes, 7.65, 21.25, and 51.57kW for each type, which are the same as in the experiment to be compared with. The fires were predicted to grow too fast although the average temperatures and heights of the neutral planes were in good agreement with measurement.

Key Words : wall fire, corner fire, fire size, fire simulation

1. 서 론

큰 개구부가 있는 지하철역이나 터널에서의 화재와 달리 실내화재의 수치해석에는 화재성장속도의 예측이 중요하다. 화재크기가 시간에 따라 변할 뿐만 아니라 성장기와 쇠퇴기를 거치면서 연소율과 실내온도가 변하기 때문이다.

Kim and Ryou¹⁾는 천장중앙에 개구부가 있는 4m×4m×2.3m 크기의 공간의 바닥중앙에서 발생한 메탄올화재에 미국 표준 기술연구소의 Fire Dynamics Simulator(FDS)²⁾를 적용하였다. 연구에서 열 방출률을 26.64kW로 일정하게 유지하였을 때 시간에 따른 실내온도 상승이 실험과 잘 일치하였다. 그러나 고경찬과 박외철³⁾의 연구에 의하면 천장개구부가 없고 우측벽에 0.45m×1.2m의 개구부가 있

는 공간에서 FDS는 화재의 성장속도를 지나치게 빠르게 예측함으로써, FDS를 이용한 실내화재의 모사가 정확하지 않음을 지적하였다. 이 연구에서는 1.8m×1.8m×1.38m의 공간중앙에 7.65, 21.25, 51.71kW의 메탄올화재를 대상으로 하였다. 화재크기에 관계없이 화재발생후 약 20초 후 실내온도가 정상상태에 도달하는데 비해 같은 조건에서의 실험에서는 정상상태 도달시간이 7.65kW일때 390초, 21.25kW 일때 210초, 51.71kW 일때 175초로 큰 오차를 나타내었다. 이와 같이 실제화재성장예에 대한 FDS의 화재성장이 경제조건에 따라 서로 상반되는 결과를 나타내므로 FDS의 검증이 더 필요하다. FDS를 사용한 화재시뮬레이션과 실제화재와의 차이점을 확인하기 위해 본 연구에서는 중심형 화재³⁾와 같은 조건에서 벽면형 화재와 모서리화재에 FDS를 적용하여 비교하였다. 사용한 격자크기에 따른 문제점을 점검하고, 온도를 실험값과 비교하였다.

†To whom correspondence should be addressed.
wcpark@pknu.ac.kr

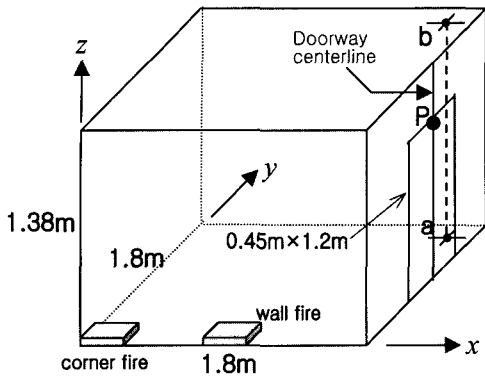


Fig. 1. Computational domain and configuration

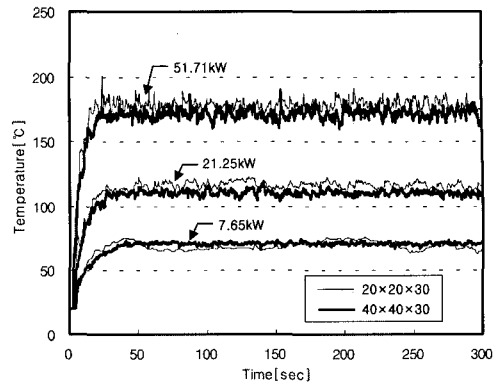
2. 수치모사

본 연구의 계산영역은 Fig. 1과 같이 비교대상의 실험⁶⁾과 동일하다. 화재크기는 7.65kW, 21.25kW, 51.57kW이며, 화재위치에 따라 벽면형 화재와 모서리형 화재로 하여 같은 조건에서의 실험과 비교하였다. 실험에서는 개구부의 중앙상단부에서의 온도 변화와 개구부의 수직중심선의 평균온도 분포, 중립면의 위치를 측정하였다. 먼저 격자크기의 적합 여부를 확인하기 위해 공간의 x, y, z방향의 격자수는 40×40×30과 20×20×30의 두가지 격자에 대하여 점 P에서의 온도변화를 비교하였다. 실험과 비교하기 위해 개구부중심선에서의 평균온도를 구하였으며, 개구부에서 중립면의 높이를 구하기 위하여 중심선에서의 x방향 속도를 계산하였다. 그리고 공간구석에서 20cm씩 떨어진 a-b 선(x=1.6m, y=1.6m, z=0~1.38m)에서의 고온공기층의 평균온도를 계산하였다.

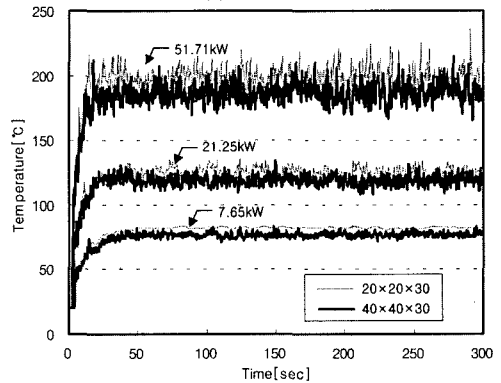
모든 벽은 단열되어있고, 외부유입공기 및 초기의 실내공기의 온도는 20℃로 가정하였다. 수치해석에는 FDS²⁾ v3.1을 사용하였으며, 기본으로 포함된 대와류모사(large eddy simulator)와 혼합분율 연소모델, 복사유한체적법을 사용하였다.

3. 결과 및 분석

본 연구에서 사용한 격자크기의 타당성을 확인하기 위해 20×20×30과 40×40×30의 두 격자수로 계산한 결과를 비교하였다. Fig. 2는 개구부 상단 점 P에서의 온도변화를 나타낸 것으로, (a)는 벽면형 화재, (b)는 모서리형 화재이다. 벽면형과 모서리형



(a) wall fire



(b) corner fire

Fig. 2. Comparison of computed temperature variations at P by the different grids

화재에서 각각 세가지 화재크기 모두 두 격자에 대해 온도변화의 차이가 작음을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 격자크기가 작은 40×40×30를 사용하였다.

Fig. 3에는 점 P에서 화재발생 후 시간에 따른 온도변화를 실험과 비교하였다. 중심형 화재³⁾의 결과와 같이 벽면형 화재와 모서리형 화재에서도 화재초기의 실내 온도상승이 실험에 비해 지나치게 빠르게 나타나있다. Table 1에서 화재에 따른 정상상태 도달시간을 실험과 비교하였다. 실험값을 살펴보면 화재크기가 클수록 정상상태 도달시간이 짧으며, 모서리형 화재가 벽면형 화재보다 정상상태에 더 빨리 도달함을 알 수 있다. 그러나 FDS의 결과는 화재크기나 화원의 위치에 관계없이 실험에 비해 너무 빨리 정상상태에 도달함을 알 수 있다. 이 결과는 중심형 화재의 결과와 일치하며, 실내화재모사에 있어 중대한 결점임을 확인할 수 있다.

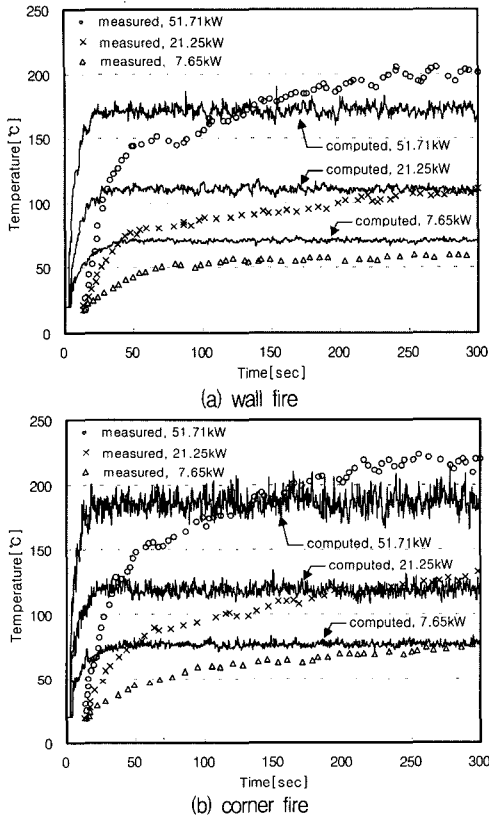


Fig. 3. Comparison of temperature variations at P

Table 1. Comparison of steady time by the fire sizes and fire locations [sec]

	fire size	computed	measured
corner fire	7.65kW	45	460
	21.25kW	25	380
	51.71kW	15	235
wall fire	7.65kW	45	435
	21.25kW	30	355
	51.71kW	20	220

실험에서의 화재성장속도에 맞추기 위해 ramp 함수를 사용하여 Table 2와 같이 열방출률을 조절하여 계산한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이 표의 값은 이전의 연구³⁾와 동일하며, 벽면형 화재와 모서리형 화재에서 모두 화재성장속도가 실험과 잘 일치함을 알 수 있다. 그러나 이러한 열방출률의 인위적인 조절은 화재성장도에 대한 정확한 자료가 없는 경우에는 사용할 수 없다.

정상상태에서의 평균온도를 중심형 화재⁴⁾와 비교하면 모서리형 화재 > 벽면형 화재 > 중심형 화재

순으로 나타났으며, 화재크기가 증가할수록 실험값과의 오차도 크게 나타났다.

Table 3은 공간 구석에 위치한 a-b 선에서의 고온 공기층의 평균온도를 실험과 비교하였다. 계산값은 60°C이상의 온도를 고온공기층으로 정하고 평균값을 계산하였다. 고온공기층의 평균온도는 모서리형 화재가 벽면형 화재보다 높게 나타났다. 그리고 화재크기에 따른 고온공기층의 평균온도는 7.65kW에서는 실험값이 계산값보다 2~10°C 높게 나타났으며, 21.25kW, 51.71kW에서는 실험값이 2~14°C 높게 나타났다.

Table 2. Ramp function used for heat release rate control

Time[sec]	HRR[%]
0	0
10	20
50	60
100	80
120	100

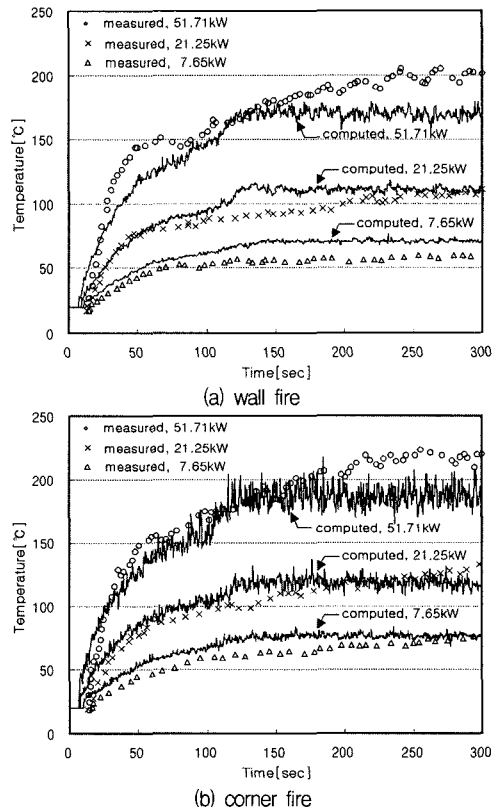


Fig. 4. Comparison of temperature variations at P with the ramp function in Table 2

Table 3. Comparison of average hot layer temperature at the line a-b [°C]

	fire size	computed	measured ^{d)}
corner fire	7.65kW	76	74
	21.25kW	119	132
	51.71kW	187	192
wall fire	7.65kW	71	61
	21.25kW	111	113
	51.71kW	170	184

Fig. 5는 개구부 중심선에서 높이에 따른 평균온도를 계산하여 실험과 비교하였다. 실험값은 정상상태에서의 평균온도이며, 계산된 값은 정상상태 t=200~300사이의 평균값을 나타낸 것이다. 화재위치에 관계없이 z=0.6m 이하인 곳에서는 외부공기의 유입으로 20°C를 유지함을 알 수 있다. 화재위치와 관계없이 z=0.6m 이상인 곳에서는 계산값보다 실험값이 높게 나타났으며, 개구부 상단높이 이상에서

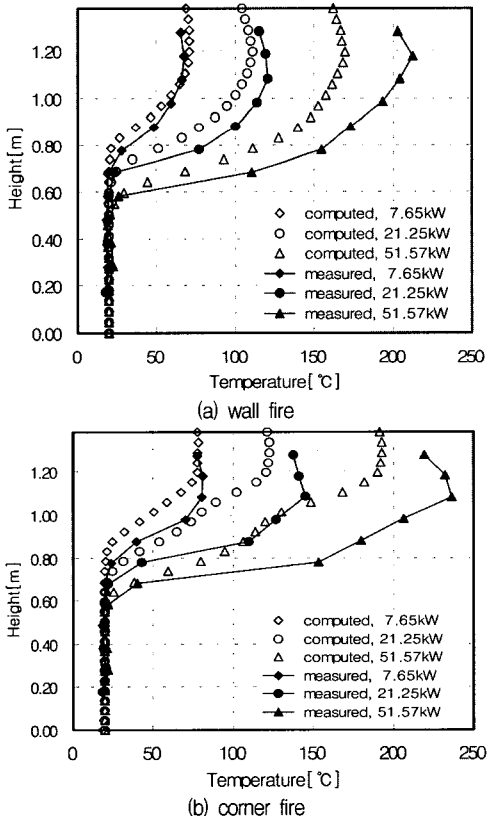


Fig. 5. Comparison of temperature distributions along the doorway centerline

는 와류의 영향으로 평균온도값이 낮아짐을 알 수 있다. 벽면형 화재에 비해 모서리형 화재의 최고온도가 높게 나타났으며, 화재크기 증가할수록 실험에 대한 평균온도의 오차가 증가함을 알 수 있다.

개구부 중심선에서의 x방향 속도 U를 Fig. 6에 비교하였다. 정상상태에서의 평균온도는 모서리형 화재가 높게 나타났으나 이와달리 중심선에서의 고온공기의 유출속도는 벽면형 화재가 크게 나타났다. 여기서 같은 크기의 화재라도 화재위치에 따라 개구부에서의 고온공기의 유동이 차이가 남을 알 수 있다.

Fig. 6에 나타난 중립면(U=0)의 높이를 Table 4에서 실험과 비교하였다. 화재위치에 대하여 약간의 차이는 있으나 실험값과 거의 같게 나타났다. 화재가 커짐에 따라 중립면의 높이는 낮아지며, 모서리형 화재가 벽면형 화재보다 높게 나타남을 알 수 있다.

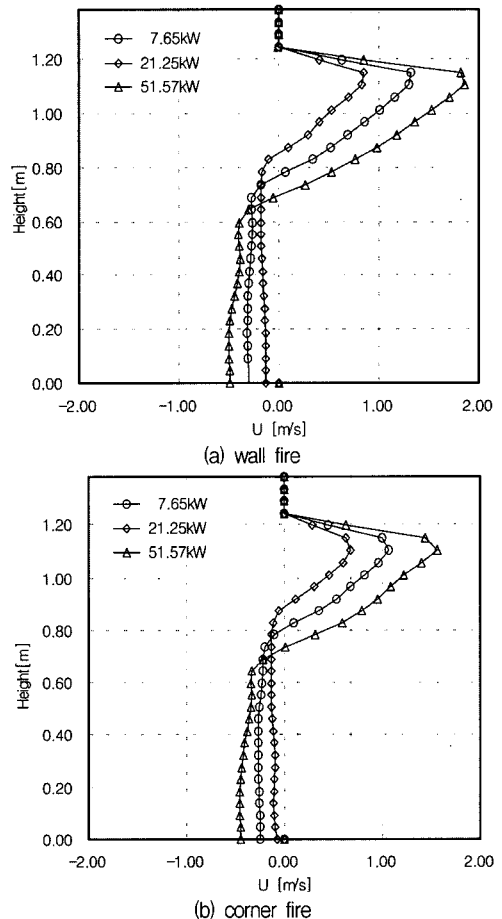


Fig. 6. Comparison of average x-direction velocity along the doorway centerline for different fire sizes

Table 4. Comparison of neutral plane heights at the doorway centerline [m]

	fire size	computed	measured ¹⁾
corner fire	7.65kW	0.89	0.90
	21.25kW	0.81	0.83
	51.71kW	0.73	0.73
wall fire	7.65kW	0.85	0.82
	21.25kW	0.77	0.74
	51.71kW	0.70	0.64

지금까지 화재성장속도를 제외한 정상상태의 온도와 고온층의 평균온도, 중립면의 위치 등은 실험과 비교적 잘 일치하였다. 천장에 개구부가 있는 경우¹⁾에는 화재성장속도가 실험과 잘 일치하지만 천장개구부 대신 우측벽에 개구부가 있는 본 연구에서는 화재성장속도가 지나치게 빠르게 나타났다. 이 문제는 이전의 연구³⁾와도 일치한다. 한편, 화재의 크기가 클때 온도가 실험에 비해 낮은 것은 FDS에 기본으로 포함되어 있는 연소모델인 혼합분을 연소 모델에서 비롯된 것으로 추정된다. 산소가 부족한 환기제어상태(ventilation-controlled condition)에서의 연구³⁾에서 온도가 실험보다 훨씬 낮게 예측된 사실과 일치하기 때문이다.

4. 결론

개구부를 가진 실내공간에서 화재크기와 화재위치에 따라 FDS로 모사된 계산값을 실험과 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 격자크기의 타당성을 조사하여 본 연구에 사용한 격자수 40×40×30가 적합함을 확인하였다.
- 2) 정상상태 도달시간은 화재위치와 크기에 관계없이 실험에 비해 현저하게 빠르게 나타나므로 개선되어야 할 문제점임을 알 수 있었다.
- 3) 정상상태의 온도와 고온공기층의 평균온도는 실험과 비교적 잘 일치하였다.
- 4) 화재크기가 클 때 온도가 낮게 예측되는 것은 혼합분을 연소모델의 문제점으로 추정된다.

참고문헌

- 1) S. H. Kim, H. S. Ryou, "An experiment and numerical study on fire suppression using a water mist in an enclosure", *Building and Environment J.*, Vol. 38, pp. 1309~1316, 2003.
- 2) K. B. McGrattan, H. R. Baum, R. G. Rehm, A. Hamins, G. P. Forney, J. E. Floyd and S. Hostikka, *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide v.3*, NIST, U.S.A., 2002.
- 3) 고경찬, 박외철. "화재크기에 따른 실내화재의 수치연구 - I. 중심형 화재", *산업안전학회지*, 제19권, 제1호, pp. 18~22, 2003.
- 4) 정진용, 유홍선, 이재하, 홍기배, "실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기거동에 대한 실험연구", *대한기계학회 논문집 B권*, 제26권, 제5호, pp. 703~709, 2002.
- 5) 박준, 고경찬, 박외철, "실내 프로판화재의 시뮬레이션", *한국산업안전학회 2004 춘계학술발표회 논문집*, pp. 453~458, 2004.