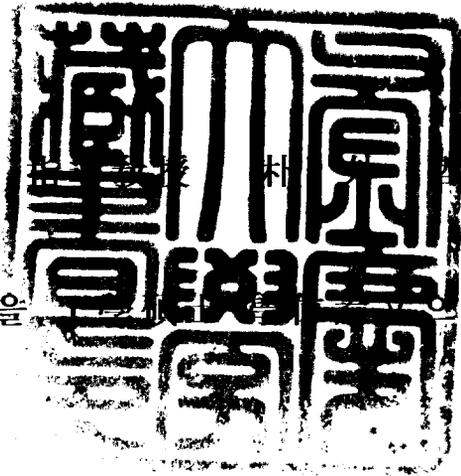


工學碩士學位論文

환기 통제하에서 실내화재

시뮬레이션



이 論文을 提 出 함

2006年 2月

釜慶大學校 大學院

安全工學科

朴 俊

朴俊의 工學碩士 學位論文을 認准함

2005年 12月

| | | | |
|---|---|------|-------|
| 主 | 審 | 工學博士 | 권 오 현 |
| 委 | 員 | 工學博士 | 최 재 욱 |
| 委 | 員 | 工學博士 | 박 의 철 |



목 차

| | |
|----------------------------|----|
| 기호설명 | ii |
| 1. 서 론 | |
| 1-1 연구배경 | 1 |
| 1-2 이전의 연구 및 연구 목적 | 3 |
| 2. 수치모사 방법 | |
| 2-1 지배방정식 | 6 |
| 2-2 계산방법 | 7 |
| 3. 결과 및 분석 | |
| 3-1 격자수에 대한 검토 | 10 |
| 3-2 위치에 따른 온도분포 비교 | 16 |
| 3-3 유속의 변화 비교 | 20 |
| 3-4 화재의 크기에 따른 온도 비교 | 22 |
| 4. 결 론 | 28 |
| | |
| 참고문헌 | 29 |
| Abstract | 32 |
| 감사의 글 | 34 |

기 호 설 명

| | |
|-------------|------------------------------|
| D | : 확산계수(m^2/s) |
| g | : 중력가속도($9.81m/s^2$) |
| h | : 엔탈피(J/kg) |
| p | : 압력(N/m^2) |
| T | : 온도(K) |
| t | : 시간(sec) |
| U | : 개구부 중심선의 x방향 평균유속(m/s) |
| u | : 속도벡터(m/s) |
| w | : 단위체적당 화학종 생성률(-) |
| Y | : 질량분율(-) |
| ρ | : 밀도(kg/m^3) |
| f | : 힘 벡터(N) |
| k | : 열전도 계수($w/m \cdot k$) |
| \dot{m}'' | : 단위체적당 생성률 |
| τ | : 전단응력텐서(N/m^2) |

1. 서 론

1-1. 연구 배경

인류가 불을 사용하고 제어하기 시작하면서 다른 동물과 특징적으로 구분되는 고도화된 산업사회를 만들었다. 불은 현대 산업사회에 있어 필수 불가결한 존재로서 기술을 바탕으로 하여 산업사회를 발전시키는 원동력이 되었다. 또한 인간생활 환경이 발전됨으로써 불에 대한 이해와 현상을 이용해야 할 필요성이 점점 확대되고 있다. 하지만 불은 항상 화재라는 위험요소가 내재되어 있으며 최근에는 구조물의 대형화, 고층화, 지하층화, 다양화로 인해 에너지 소비량이 증가하고 위험물 수요가 급증함과 동시에 화재의 규모 및 피해는 엄청난 수치로 대형화되었다.

1971년 서울 대연각 호텔화재로부터 2003년 2월 18일 대구지하철 중앙로역 화재^(1~4)에 이르기까지 대형화재가 끊이지 않고 발생되었다. 지난 30년간 대형화재를 조사한 결과, 인명피해가 많이 발생한 곳은 서울 대왕코너, 부산 대아호텔, 대구 초원의 집 화재, 그리고 대구지하철 중앙로역 화재이다. 그 중에서도 대구 중앙로역 화재는 인명피해만 사망 192명, 부상 148명으로 총 340명의 사상자를 초래하였다. 이러한 대형화재는 지하 공간이나 대형 건물에서의 화재 발생시 야기되는 열 및 연기에 대한 흐름을 예상하지 못하고 총체적인 무방비 상태에서 발생되었다. 이처럼 화재에 취약한 대형 공간과 다중이용시설에 대해서는 내장재에 대한 불연화 조치 및 독성가스의 영향 연구가 이루어져야 하며

화재시 열 및 연기 유동을 파악하여 안전성 평가와 현장 중심의 대피훈련 등을 강화해야 한다.

지금까지 화재에 관한 연구를 지속적으로 수행해 왔으나, 특성상 실제와 같은 화재 크기 및 조건에서 실험을 수행한다는 것은 시간적, 공간적으로 제약이 크기 때문에 많은 어려움이 따른다. 그러므로 주로 축소공간에서의 실험, 화재 사례 분석을 통한 연구를 수행해왔다. 최근에는 전산유체역학을 이용한 화재와 연기거동에 대한 연구가 증가하고 있다.

1-2. 이전의 연구 및 연구목적

화재로 인한 인명 및 재산 피해를 줄이기 위해서는 화재의 초기 감지와 신속한 소화가 필요하다. 이와 관련하여 실내화재가 발생했을 때 열과 연기의 확산을 예측하기 위한 연구가 수행되어 왔다.

정진용 등⁽⁵⁾은 개구부가 있는 1.8m×1.8m×1.38m의 실내 공간에서 메탄올을 연료로 하는 실험을 통하여 화원의 발생 위치에 따른 화염의 구조와 연기거동을 조사하였다. 그 결과, 벽이 없는 중심형 화재의 경우 화재가 커질수록 평균온도가 증가하였으나 정상상태 도달 시간과 개구부의 중립면 높이는 감소하는 것으로 나타났다. 화원이 수직 벽에 인접한 벽면형과 모서리형 화재의 경우, 중심형 화재보다 정상상태 도달시간이 빠르고 중립면의 높이와 평균온도가 높게 측정되었다.

정진용 등⁽⁶⁾은 계단으로 연결되어 있는 밀폐 지하공간에 화재가 발생했을 때 상부층으로 확산되는 연기의 거동 및 열 분포를 조사하기 위하여 축소실험을 수행하였다. 그 결과, 계단 천장에 화재감지거나 스프링클러 시스템을 설치할 때 계단의 기울기를 고려해야 함을 확인하였다.

Vauquelin과 Megret⁽⁷⁾은 터널화재 축소실험을 통하여 환기 시스템에 따른 연소 연기의 배출효율을 측정하였다. 그 결과, 덕트가 벽보다 천정에 위치할 때 효율이 더 높게 측정되었으며 덕트의 위치 변화는 배출효율에 크게 영향을 주지 않았다.

추병길과 조성곤⁽⁸⁾은 부분 개방된 2차원 밀폐공간내의 화재에 의한 연소가스의 유동을 수치적으로 해석한 결과, 복사 열전달이 유동장과 온도장에 큰 영향을 미친다는 것을 확인하였다.

또한 박의철 등^(9,10)은 검증한 수치법을 통하여 개구부의 유무에 따른 유동과 천정의 온도분포를 비교하였다. 그 결과, 개구부가 존재할 경우 유출되는 공기에 의해 천정의 온도가 높아졌고 출구 근처에서의 온도구배도 증가하였음을 확인하였다.

노재성 등⁽¹¹⁾은 길이가 25.2m인 정육면체 모양의 아트리움 공간에서 연기 유동과정에 관한 화재 경과 시간에 따른 연기의 유동을 수치법으로 모사하였는데, 평균 연기 층의 경계 높이가 5분 후에도 약 5m정도가 되기 때문에 이 시간까지 피난 시간을 확보할 수 있다는 것을 확인하였다.

정진용 등⁽¹²⁾은 실내 공간에서 화재 발생시 연기거동에 미치는 복사영향을 실험의 측정치와 비교하여 SMEP(Smoke Movement Estimating Program)을 사용하여 수치해석하였다. 그 결과 실제적인 화재해석에 있어서 반드시 복사 영향을 고려해야 한다고 하였다.

최근에는 앞서 언급한 바와 같이 전산유체역학을 사용한 시뮬레이션이 활발히 이루어지고 있다. 그 중 미국 표준 기술 연구소(National Institute of Standards and Technology)에서 개발된 Fire Dynamics Simulator(FDS)⁽¹³⁾는 화재의 확산, 연기거동의 예측 등 다양한 화재 연구에 사용되고 있다.

박의철⁽¹⁴⁾은 지하철역과 유사한 구조의 4m×1m×1.5m 크기의 축소 공간 내

50kW의 화재에 대한 수치모사를 FDS를 이용하여 수행하였다. 급배기방식과 배기방식, 급기방식의 제연방식을 비교한 결과, 급배기방식이 제연성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

또한 박외철^(15,16)은 대구 지하철역 승강장 계단 주위에서의 제연을 모사하였다. 그 결과 세 가지 기계제연방식 중에서 배기방식의 제연성능이 가장 우수한 것으로 나타났으며 급기방식을 배기방식으로 전환하면 제연성능이 크게 향상됨을 확인하였다.

김중훈 등⁽¹⁷⁾은 실내 공간내의 스프링클러 반응시간에 대한 측정치와 3개의 화재모델링 프로그램의 계산값을 비교분석한 결과, 모두 실험치와 큰 차이가 없었으나, FDS가 가장 실험결과에 근접함을 입증하였다.

그러나 고경찬과 박외철^(18,19)은 메탄올 화재를 모사하여 측정치와 비교하였는데, 실험에 비해 화재성장을 지나치게 빨리 예측하는 것으로 나타나 FDS의 문제점으로 지적되었다. 최근 FDS를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있지만 그 결과에 대한 검증이나 신뢰성없이 수행되고 있다. 검증없는 시뮬레이션의 결과는 오히려 더 큰 위험을 초래할 수 있기 때문에 반드시 문제점을 확인하고 사용할 필요성이 있다고 사료된다.

따라서 본 연구의 목적은 환기가 통제된 실내공간에서 프로판이 연소할 때 시간에 따른 온도 변화를 계산하여 실험⁽²⁰⁾과 비교함으로써 FDS를 이용한 실내화재의 시뮬레이션에 있어서 정확한 검증과 그 문제점을 파악하는 것이다.

2. 수치모사 방법

2.1 지배방정식

3차원 공간 내 화재에 대한 유동 및 열전달, 연소의 지배 방정식은 다음과 같다.

질량 보존 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0 \quad (1)$$

화학종 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i u = \nabla \cdot \rho D_i Y_i + \dot{m}_i'' \quad (2)$$

운동량 보존 방정식

$$\rho \left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right\} + \nabla p = \rho g + f + \nabla \cdot \tau \quad (3)$$

에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h u = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot q_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_T \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i \quad (4)$$

여기서, $\frac{Dp}{Dt}$ 는 $\frac{\partial p}{\partial t} + u \cdot \nabla p$ 이고, 시간에 대한 압력의 물질도함수를 나타낸

다.

2.2 계산방법

본 연구에서는 위의 편미분방정식 (1)~(4)의 해를 구하는데 FDS를 사용한다. FDS는 공개된 화재 시뮬레이션 소프트웨어로서, 화재로 인한 열과 연기의 유동을 수치적으로 해석하는 프로그램이다.

FDS는 난류 모델에 기본적으로 Large Eddy Simulation(LES)를 사용하고 있다. 하지만 기본적인 격자가 매우 미세하다면 Direct Numerical Simulation (DNS)를 사용할 수 있다. FDS의 연소모델은 혼합분율을 사용하며 이 혼합분율은 보존되는 스칼라량으로서 '연료에 의해 발생된 유동장에서 어떤 주어진 시점에서의 가스분율'로 정의된다. 이 모델은 연료와 산소의 반응이 무한히 빠르다고 가정한다. 또한 에너지 방정식의 복사열전달에는 유한체적법(Finite Volume Method)법을 사용한다.

FDS에서 모든 고체면은 열적 경계면 상태와 더불어 재료의 연소 형태에 관한 정보가 지정된다. 일반적으로 재료의 특성은 데이터베이스에 저장되어 있으며 사용자가 지정하면 불러오게 된다. 수치적 계산의 자세한 내용은 McGrattan 등⁽²¹⁾에 기술되어있다.

본 연구는 FDS에 포함되어 있는 연소모델의 문제점으로 인한 실내화재 예측의 부정확성을 확인하기 위해 연구대상을 산소가 부족한 상태 즉, 환기 통제하의 실내화재를 선택하였다.

FDS의 계산결과와 비교할 대상으로 Wen과 Huang⁽²⁰⁾의 실험을 선정하고, 이 실험과 같은 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. Wen과 Huang은 2.5m×2.0m

의 개구부가 있는 9.8m×3.54m×3.91m의 공간에 바닥 중앙에 0.38m 높이로 세워져 있는 노즐에서 발생하는 프로판화재에 대한 실험을 수행하였다. 프로판의 연소율은 0.33kg/s이고, 공간의 x방향 2.5m, 7.5m, 10.0m인 곳에 열전대를 설치하여 높이에 따른 온도분포를 각각 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 정방형의 화원을 두었다. 가연성물질은 실험과 같이 프로판으로 하였으며, 열방출률은 실험의 연소율 0.33kg/s로부터 환산한 16.9MW로 하였다. 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 T₁, T₂, T₃에서 시간에 따른 온도변화를 계산하였다. 화재발생 후 약 40~50초가 되면 온도변화가 정상상태에 도달하므로 200초에서 계산을 종료하였다.

격자크기에 따른 영향을 알아보기 위해서 격자수 200×72×40과 100×36×40을 비교하였으며, 개구부에서 유속을 계산하여 실험과 비교하였다. 실험에서는 화재크기가 16.9MW였으나 화재크기에 따른 온도변화를 조사하기 위해 33.8MW에 대한 시뮬레이션도 포함하였다.

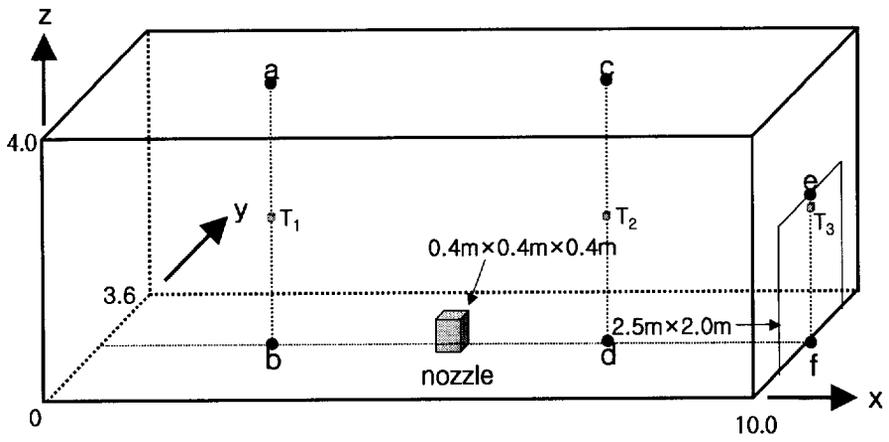


Fig 1. Computational domain and configuration

3. 결과 및 분석

3.1 격자수에 대한 검토

실험과의 비교에 앞서 격자수에 따른 T_1 , T_2 , T_3 (Fig. 1 참조)에서의 시간에 따른 온도변화를 Fig. 2에서 비교하였다. 시뮬레이션에서 격자수는 계산 시간에 영향을 주기 때문에 계산 결과에 대한 오차가 차이 없다면 격자수를 적은 것을 사용하기 위함이다. 본 연구에서는 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 의 온도변화를 계산하였다.

Fig. 2는 x방향 2.5m인 T_1 에서의 온도변화를 나타낸 것으로서, 처음 약 40초까지는 격자수 $100 \times 36 \times 40$ 의 온도변화가 급격히 변동되었으며, 격자수 $200 \times 72 \times 40$ 는 약 30초까지 그 변동이 심하였다. 하지만 두 조건 모두 약 50초 이후에는 온도변화가 거의 일치하였다.

Fig. 3은 x방향 7.5m인 점 T_2 에서 비교한 것으로서, 처음부터 거의 온도변화가 일치함을 알 수 있다.

마찬가지로 Fig. 3의 점 T_3 에서도 거의 변화가 없음을 확인할 수 있다.

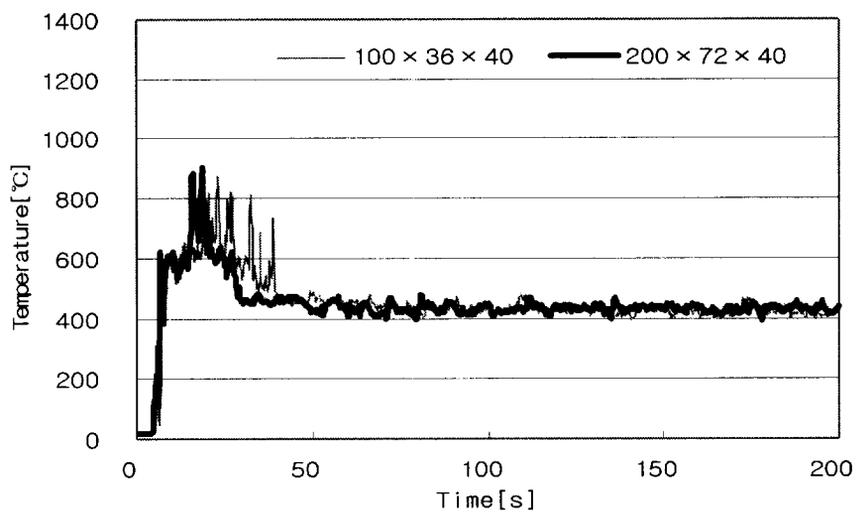


Fig. 2 Comparison of temperature variation
for two grid systems at T_1 ($x=2.5m$)

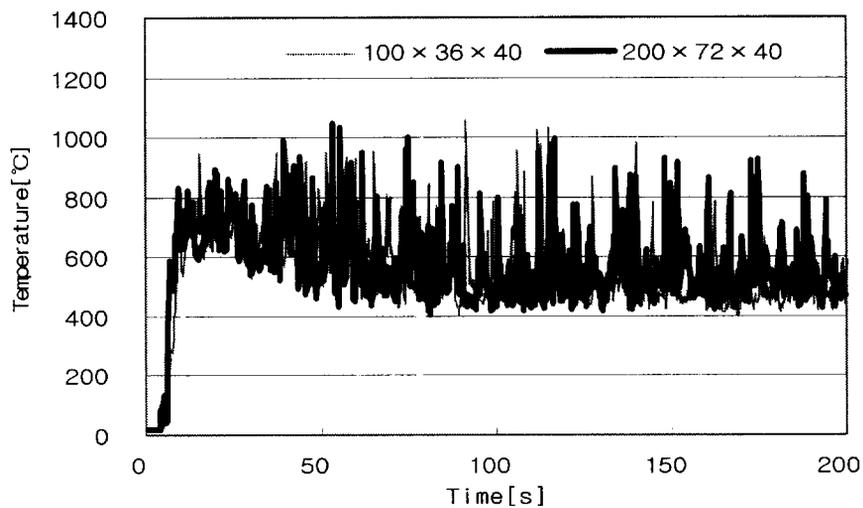


Fig. 3 Comparison of temperature variation
for two grid systems at T_2 ($x=7.5m$)

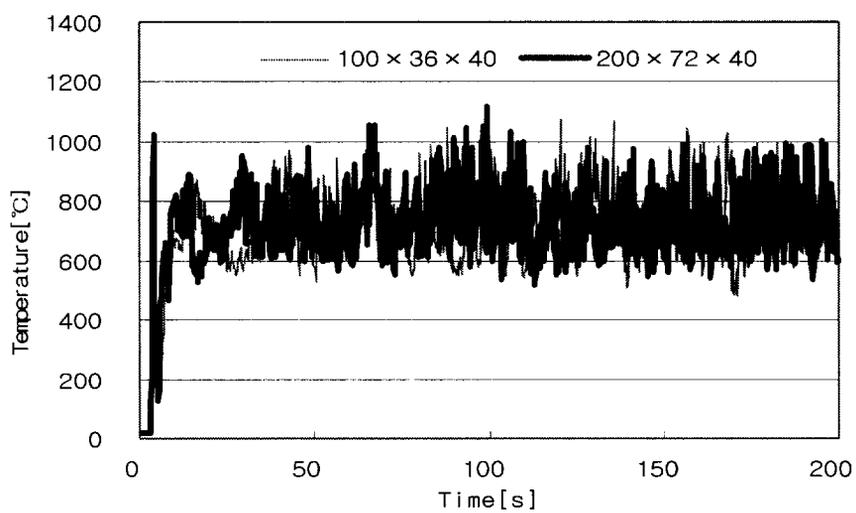


Fig. 4 Comparison of temperature variation
for two grid systems at T_3 ($x=10.0\text{m}$)

또한 Table 1.은 더 정확하게 비교를 하기위해 점 T_1 , T_2 , T_3 에서의 온도변화를 $t=100\sim 200s$ 에서 평균값을 계산한 결과, 점 T_1 , T_2 , T_3 에서 두 가지 격자에 대하여 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 격자수 $100\times 36\times 40$ (격자크기 $0.1m\times 0.1m\times 0.1m$)을 사용하였다.

Table 1 Comparison of average temperature at T₁, T₂ and T₃

| Number of grids | T ₁ [°C] | T ₂ [°C] | T ₃ [°C] |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 100×36×40 | 426 | 523 | 734 |
| 200×72×40 | 432 | 546 | 723 |

3.2 위치에 따른 온도분포 비교

Fig. 5~7은 수직선 a-b, c-d 그리고 개구부의 e-f에서 정상상태의 온도분포를 실험과 비교한 것이다. 정상상태의 온도는 $t = 100 \sim 200s$ 에서 평균값을 구하였다.

Fig. 5는 $x = 2.5m$ 에 위치한 a-b 선에서 비교한 온도로서, 실험값의 온도분포는 높이(z) 0.6m까지는 $100^{\circ}C$ 보다 낮지만 $0.6 < z < 1.0m$ 에서는 온도가 급격히 올라가 $z > 1.0m$ 에서는 $1000^{\circ}C$ 의 일정한 온도분포를 보인다. 그러나 시뮬레이션의 경우 $z = 0m$ 에서부터 $300^{\circ}C$ 로 시작하여 $z = 0.5m$ 이상부터는 $430^{\circ}C$ 로 일정하게 나타난다. 시뮬레이션에서 $z = 0m$ 부터 높은 온도를 보이는 것은 온도가 낮은 외기의 유입을 반영하지 못함을 나타낸다.

Fig. 6는 $x = 7.5m$ 에 위치한 c-d 선에서 온도를 비교한 것으로서, 실험의 경우 $z > 0.5m$ 부터 약 $900^{\circ}C$ 로 급격히 상승하였다가 그 이후로 온도변화가 약 $1100^{\circ}C$ 로 일정한 분포를 보이고 있다. 시뮬레이션의 경우 화원이상에서의 온도가 급격히 상승하는 분포는 비슷하지만 약 $600^{\circ}C$ 에서 일정한 온도를 유지함을 보이고 있다.

Fig. 7은 역시 실험에 비해 지나치게 온도가 낮게 나타나 평균온도분포 예측에 오차가 대단히 큼을 알 수 있다. 고경찬과 박외철의 연구^(17,18)에서 정상상태의 온도분포가 모두 실험과 비교적 잘 일치하였으나 본 연구에서는 실험과 큰 차이를 보이고 있다.

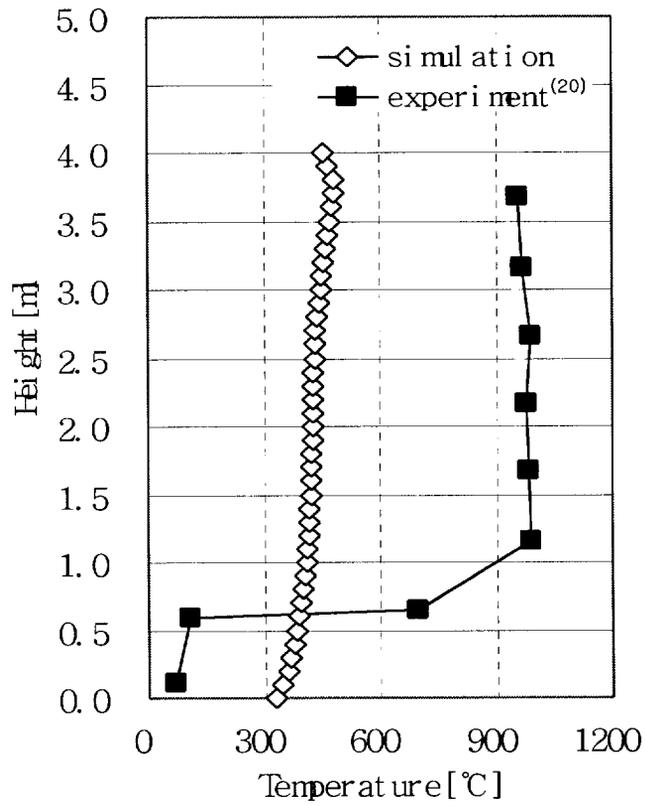


Fig. 5 Comparison of average temperature profiles at x=2.5m

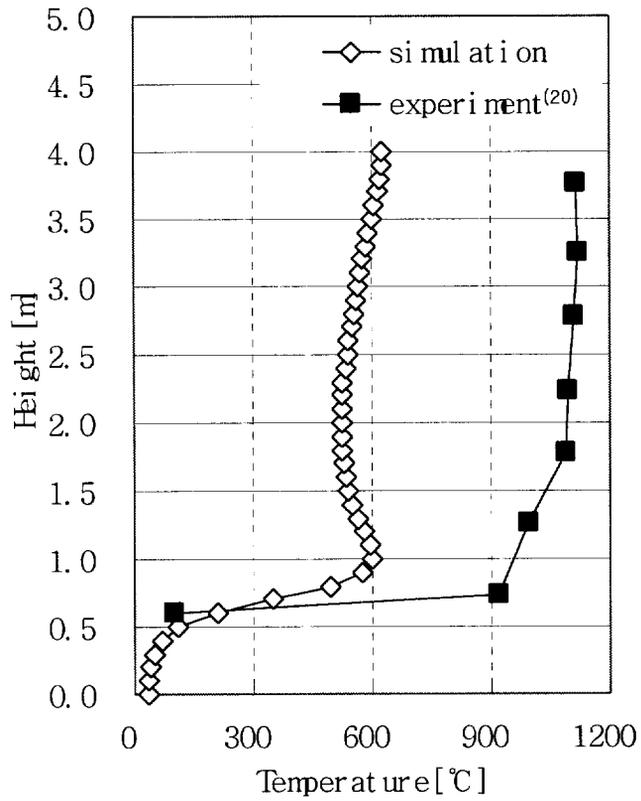


Fig. 6 Comparison of average temperature profiles at x=7.5m

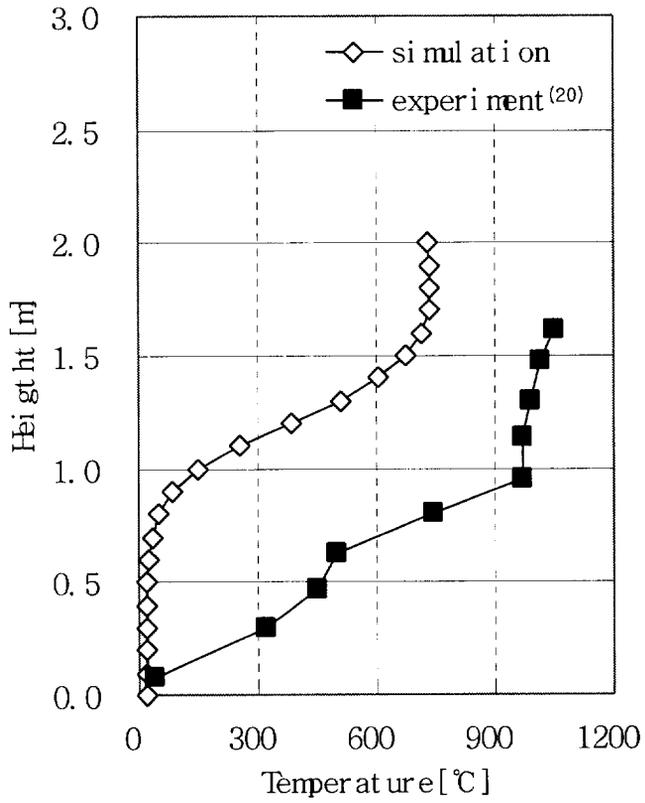


Fig. 7 Comparison of average temperature profiles at x=10.0m

3.3 유속 변화의 비교

Fig. 8은 개구부의 수직선 e-f에서 정상상태의 유속을 실험과 비교한 것이다. 평균유속은 $t = 100 \sim 200s$ 에서 계산하였다.

개구부에서 유속의 분포를 비교한 결과, 실험에서는 바닥에서 높이(z) 0.7m까지 공기가 유입되고 있으며 $z = 0.35m$ 에서 최대 2.6m/s를 보이고 있다. 이후 $0.7 < z < 2.0m$ 에서는 공기가 외부로 유출되는 것을 볼 수 있다.

시뮬레이션의 경우 $z = 1.0m$ 까지 외기가 약 1.5m/s의 유속으로 유입되는 것으로 계산되었다. 이후에는 공기가 외부로 유출되고 있으며, $1.0 < z < 1.8m$ 까지는 유속이 최대 5.8m/s까지 보인다. $z = 2.0m$ 에서는 3.5m/s의 유속으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 시뮬레이션에서 계산된 유속은 실험과 유사한 경향을 보이고 있지만 실험보다 낮게 계산되었다. 이는 FDS가 공기의 유입을 정확히 반영하지 못함을 확인할 수 있다.

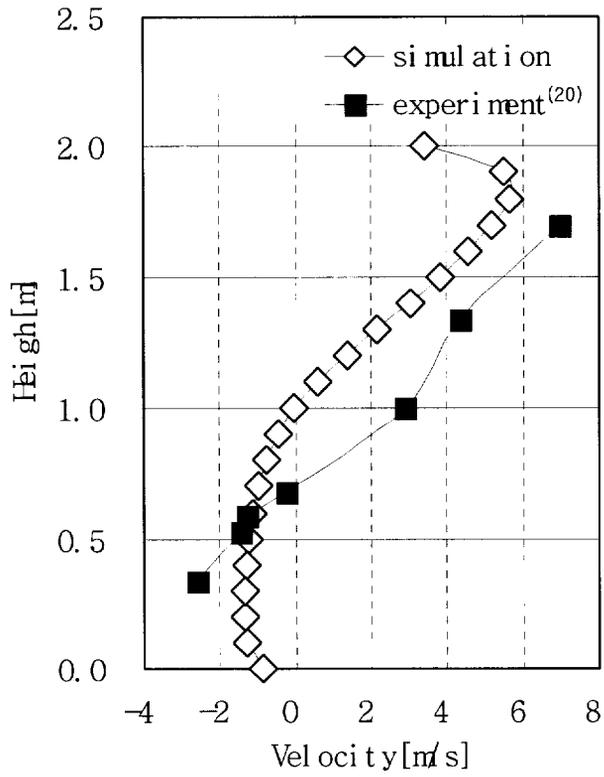


Fig. 8 Comparison of average velocity profiles at $x= 10.0\text{m}$

3.4 화재의 크기에 따른 온도 비교

한편, Fig. 9~10은 화재의 크기에 따른 온도변화를 알아보기 위해 화재크기를 16.9MW와 33.8MW로 하여 각 온도변화를 점 T_1 , T_2 , T_3 에서 비교하였다.

Fig. 8는 $x=2.5m$ 인 지점에서의 화재크기에 따른 온도 비교이다. 전반적으로 온도변화의 형태의 차이는 보이지 않지만 16.9MW가 33.8MW보다 약 20초이후에서의 온도변화가 높게 나타나고 있다. 정상상태에서의 온도변화도 16.9MW와 큰 차이를 나타낸다.

Fig. 10는 $x=7.5m$ 의 점 T_2 에서의 온도변화 곡선을 나타낸 그래프이다.

마찬가지로 정상상태까지의 온도변화는 33.8MW가 높은 반면 그 이후의 온도곡선은 33.8MW는 약 $400^{\circ}C$ 이하의 완만한 온도변화를 보이고, 16.9MW는 그것보다 높은 온도변화를 나타내고 있다.

또한, Fig. 11에서 개구부 T_3 의 온도변화를 살펴보면 화재의 크기가 33.8MW인 경우보다 16.9MW가 오히려 온도가 높게 나타낸다. 화재의 크기가 높아지면 온도가 높아지는 것과는 전혀 다른 계산값을 보이고 있다. 이는 화재의 크기가 큰 프로판의 연소에 필요한 산소가 충분히 공급되지 못하기 때문이다. 즉, 환기 통제하에서는 FDS의 결과가 화재의 크기가 높아져도 불완전 연소로 인하여 온도가 높아지지 않는 것으로 사료된다.

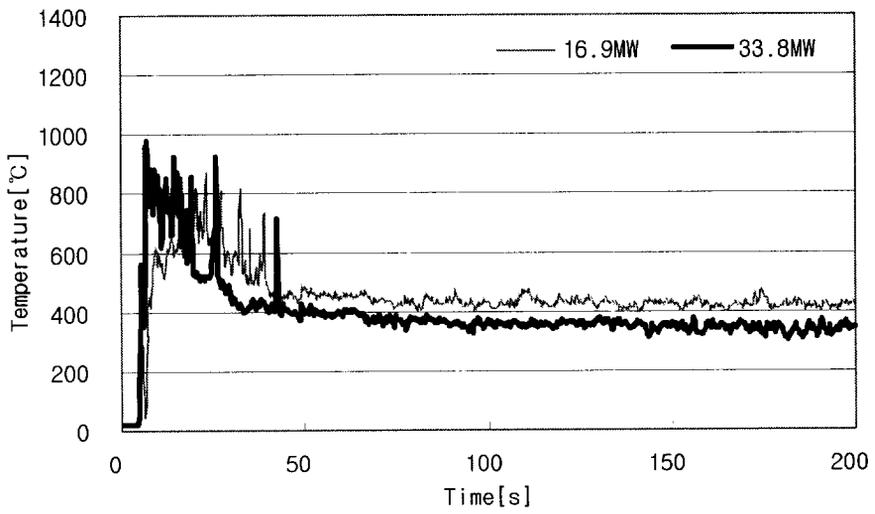


Fig 9. Comparison of temperature variation
for heat release rates at T_1 ($x=2.5m$)

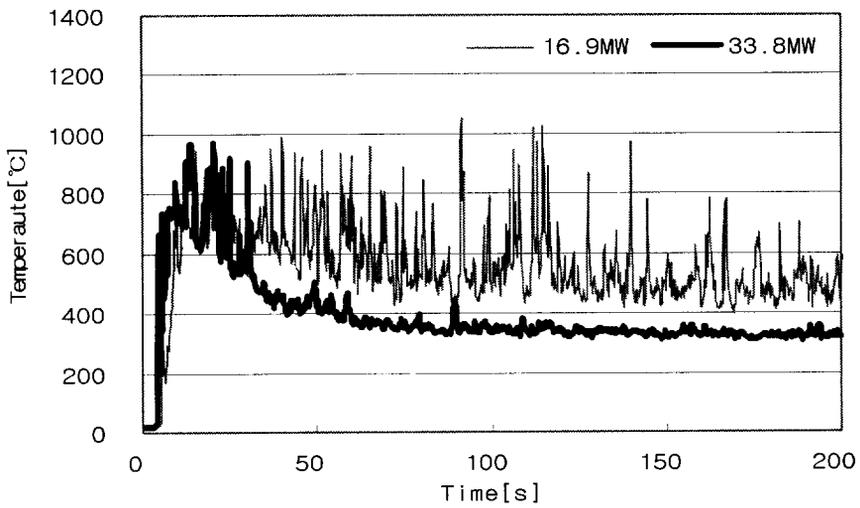


Fig 10. Comparison of temperature variation
for heat release rates at T_2 ($x=7.5\text{m}$)

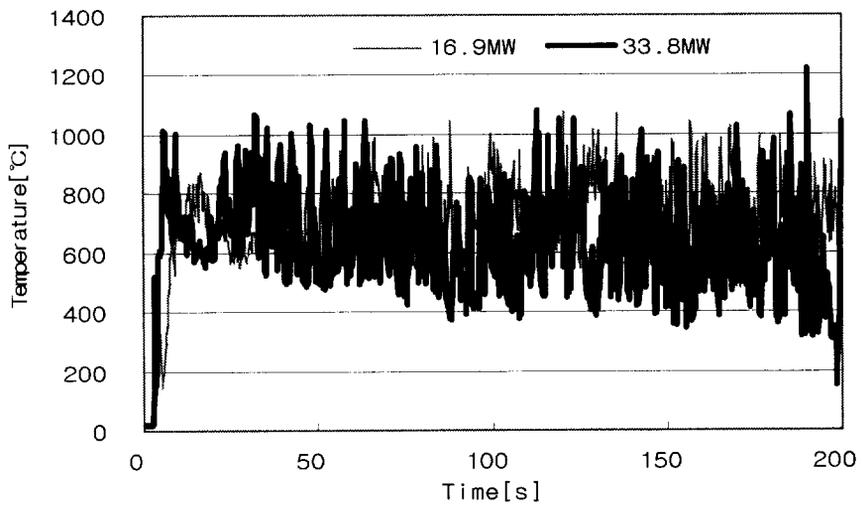


Fig 11. Comparison of temperature variation
for heat release rates at T_3 ($x=10.0\text{m}$)

이 경우 $t = 100 \sim 200s$ 에서 구한 평균온도는 Table 2와 같다.

점 T_1 에서의 평균온도는 16.9MW가 426°C이고, 33.6MW일때 349°C로 16.9MW일때 77°C가 높다는 것을 알 수 있었다. 점 T_2 는 16.9MW가 523°C이고 33.8MW는 333°C로 16.9MW가 190°C로 훨씬 높게 나타났다. 점 T_3 에서도 16.9MW는 734°C, 33.8MW는 607°C로 33.8MW가 127°C 낮은 평균온도가 계산되었다. 또한 개구부에서의 평균온도가 다른 두 점에 비해서 높은 온도가 계산되었다.

따라서 화재의 크기가 33.8MW일 때 16.9MW보다 평균온도가 더 낮음을 확인할 수 있다. 이것은 산소가 부족한 실내화재에서는 실험과 달리 정확한 시물레이션이 불가능함을 알 수 있다. 그러므로 FDS를 사용하여 실내화재 시물레이션을 수행할 때 이점을 유의해야 한다.

Table 2 Comparison of average temperature at T₁, T₂ and T₃

| Heat Release Rate | T ₁ [°C] | T ₂ [°C] | T ₃ [°C] |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 16.9MW | 426 | 523 | 734 |
| 33.8MW | 349 | 333 | 607 |

4. 결 론

본 연구는 FDS를 사용한 실내 화재모사에 있어서의 문제점을 파악하기 위해 2.5m× 2.0m의 개구부가 있는 10.0m×3.6m×4.0m 크기의 환기 통제하에 있는 공간의 프로판 화재에 대한 시뮬레이션을 수행하여 측정치와 비교하였다.

(1) 정상상태의 온도분포는 FDS의 계산 결과가 실험에 비해 훨씬 더 낮게 나타났다.

(2) 개구부에서 유속을 실험과 비교하였을 때 공기의 유입과 유출이 실험보다 낮게 나타났다.

(3) 화재크기가 33.8MW일 때의 실내온도가 16.9MW의 경우 보다 오히려 더 낮게 나타났다.

(4) 환기 통제하의 실내 화재 시뮬레이션의 경우, FDS 연소모델이 화재를 정확하게 예측할 수 없음을 알 수 있었다.

(5) 따라서 연소에 필요한 공기가 충분히 공급되지 못하는 경우에는, 시뮬레이션 결과의 타당성에 대한 검토가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) 김태인, “10대 화재 사례분석 및 대책”, 방재기술, 제28호, 2000.
- (2) 한국화재보험협회, “대구 지하철 화재”, 화재보고서, 2003.
- (3) 김태현, 전규엽, 홍원화, “대구지하철 화재조사분석(Ⅰ)”, 대한건축학회 추계 학술발표대회 논문집, pp. 877~880, 2003.
- (4) 박현우, 전규엽, 홍원화, “대구지하철 화재조사분석(Ⅱ)”, 대한건축학회 추계 학술발표대회 논문집, pp. 881~884, 2003.
- (5) 정진용, 유홍선, 이재하, 홍기배, “실내공간에서 화재 발생위치에 따른 연기 거동에 대한 실험연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제26권, 제5호, pp. 703~709, 2002.
- (6) 정진용, 홍기배, 이재하, 유홍선, “지하계단 화재에서 유동에 대한 실험연구”, 설비공학논문집, 제15권, 제10호, pp. 821~823, 2003.
- (7) O. Vauquelin, O. Megret, “Smoke extraction experiments in case of fire in a tunnel”, Fire Safety Journal, Vol. 37, pp. 525~533, 2002.
- (8) 추병길, 조성곤, “밀폐공간내 화재에 의해 생성된 연소가스 분석 및 유동에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제12권 제1호, pp. 77~93, 1997.
- (9) 박외철, 고경찬, “실내화재에 있어서의 대류열전달에 관한 수치연구 - I. 수치법 검증과 자연대류”, 산업안전학회지, 제14권, 제2호, pp.26~31, 1999.
- (10) 박외철, 고경찬, 이광진, “실내화재에 있어서의 대류열전달에 관한 수치연구

- 구 - II. 혼합대류”, 산업안전학회지, 제14권, 제3호, pp.33~39, 1999.
- (11) 노재성, 유홍선, 정연태, “화재 발생시 연기 거동에 대한 수치해석적 연구”, 산업안전학회지, 제13권, 제1호, pp.70~76, 1998.
- (12) 정진용, 유홍선, 홍기배, “실내화재에서 연기거동에 미치는 복사영향에 대한 수치해석적 연구”, 한국화재·소방학회지, 제14권, 제3호, pp, 2000.
- (13) K. B. McGrattan, ed., Fire Dynamics Simulator(version 4.05) User’s Guide, NIST, U.S.A., 2005.
- (14) 박외철, “큰 개구부가 있는 공간의 화재와 제연의 대외류모사”, 한국화재소방학회논문지, 제17권 제3호, pp. 7~12, 2003.
- (15) 박외철, “대구 지하철역 제연의 문제점과 대책 - I. 제연방식”, 한국화재소방학회논문지, 제17권, 제4호, pp.98~104, 2003.
- (16) 박외철, “대구 지하철역 제연의 문제점과 대책 - II. 배기방식 제연설비의 풍량”, 한국화재소방학회논문지, 제17권, 제4호, pp.105~110, 2003.
- (17) 김종훈, 김운형, 이수경, “스프링쿨러 반응시간 예측에 대한 화재모델의 비교”, 한국화재·소방학회논문지, 제15권 제 2호, pp. 46~52, 2001.
- (18) 고경찬, 박외철, “FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점 - I. 중심형 화재”, 산업안전학회지, 제19권, 제1호, pp. 18~22, 2004.
- (19) 고경찬, 박외철, “FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점 - II. 벽면형 및 모서리형 화재”, 산업안전학회지, 제19권, 제3호, pp. 9~13, 2004.

- (20) 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.
- (21) K. B. McGrattan, ed., Fire Dynamics Simulator(version 4.05) Technical Reference Guide, NIST, U.S.A., 2005.

A Simulation of room fire under ventilation-controlled conditions

Jun Park

*Dept. of Safety Engineering,
Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

Prediction of heat and smoke derived from a fire could reduce the damage of property and human life. However, there are many difficulties when performing the work under the same fire size and condition as the reality because of the characteristics of the fire. Recently, simulations are performed due to the advance in computer science and computational fluid dynamics. Particularly, the study with FDS of NIST is on the rise. However, verification is necessary. Therefore, the purpose of this study is to find out the problem of FDS under the ventilation-controlled conditions in the simulation of room fire. A space size is 10.0m×3.6m×4.0m and there is a vent of 2.5m×2.0m. size. A size of the fire is 16.9MW and it is propane

fire. First, we compared the time-averaged temperature between $100 \times 36 \times 40$ and $200 \times 72 \times 40$ to verify the influence of the grids number. After checking no difference in the result, we used $100 \times 36 \times 40$ grids. This was done to consider the efficiency of computation time.

(1) Comparison of temperature change according to the position.

We compared the experiment with the temperature distribution in $x=2.5\text{m}$, $x=7.5\text{m}$ and $x=10.0\text{m}$. As a result, FDS displayed far less temperature than the experiment.

(2) Comparison of fluid velocity.

When comparing the experiment with the distribution of average fluid speed on position in the vent, FDS yielded lower velocity value than that of the experiment.

(3) Comparison of temperature change from the fire size.

The temperature of the fire size 33.9MW was compared with 16.9MW . As a consequence, 33.8MW has lower temperature than 16.69MW .

Therefore, the consequence shows completely different expectation, if there is oxygen deficiency in the fire simulation using FDS. The reason is considered to be that combustion model of FDS can not precisely predict the fire simulation under ventilation-controlled condition.

감사의 글

본 논문의 완성에 이르기까지 많은 시간과 어려움이 있었지만 끝까지 부족한 저에게 많은 조언과 지도를 해 주시고, 연구자로서의 진면목을 보여주신 박외철 교수님께 먼저 진심으로 감사드립니다.

또한 본 논문을 면밀히 검토해 주시고, 학부때부터 많은 가르침과 교훈을 주신 권오현 교수님과 최재욱 교수님께 깊이 감사드리며, 항상 격려와 칭찬을 아끼지 않으신 목연수 총장님, 이내우 교수님, 장성록 교수님, 이동훈 교수님께 감사의 인사 올립니다.

항상 반대의 길을 가는 저에게 방향성을 제시해주고, 든든한 버팀목이 되어 주신 고경찬 선배님과 강지웅 선배님께 정말로 감사드립니다. 그리고 대학원 과정 동안 많은 도움을 되었던 친구들과 선, 후배들 윤유성 선생님, 임우섭 선생님, 동철이형, 종빈이형, 상민이, 필훈이, 승진, 동호, 낙곤, 현동, 종관, 슬연, 보미, 영삼, 나의 친구들 국래, 창우, 진욱 제가 아는 모든 이들에게 감사의 말씀 드립니다. 그리고 대학원 과정을 무사히 끝낼 수 있게 항상 아낌없는 지원과 격려를 해준 세상에서 제일 사랑스런 아내 민희, 저를 사위가 아닌 아들처럼 챙겨주신 장모님과 처가 식구들께 이 기쁨을 나누고 싶습니다. 논문을 쓰는 과정에서 많은 지원과 배려를 해주신 고려e스쿨 변경석 원장님과 선생님들께도 논문의 완성의 기쁨을 나누고자 합니다.

마지막으로 저를 이 세상에 있게 해주신 부모님과 나의 말이면 칼같이 들어
주는 동생 현에게 이 작은 결실의 기쁨을 돌리고자 합니다.