

프로필렌 수직벽화재의 수치시물레이션

박외철

부경대학교 안전공학부

Numerical Simulation of Propylene Vertical Wall Fires

Park, Woe-Chul

Division of Safety Engineering, Pukyong National University

요 약

수직벽 화재 예측의 정확성을 확인하기 위하여 화재 시물레이션용 전산유체역학 모델인 Fire Dynamics Simulator를 프로필렌 수직벽 화재에 적용하였다. 단위면적당 연소율 7.0~29.29g/m²-s에 대한 버너 중심에서 측정된 온도분포와 비교한 결과, 최고온도가 낮게 예측되는 것 외에는 실험과 잘 일치하였다. 또 연소율의 증가에 따라 경계층의 두께가 일관되게 증가하였다.

1. 서 론

Fire Dynamics Simulator (FDS) (McGrattan et al., 2007)를 이용하여 등은 수직평판 위 난류자연대류(박외철과 Trouve, 2008a)와 프로판 수직벽 화재(박외철과 Trouve, 2008b)에 대한 시물레이션을 수행하였다. 이 연구에서 수직벽 화재에는 스마고린스키 상수(Smagorinsky constant)의 기본값인 0.2 대신에 0.1을 사용할 것과 경계층 내 난류 혼합이 부족한 것이 지적되었다. 또 수직벽 화재 시물레이션에서 FDS는 이러한 문제점 외에, 온도분포가 실험과 잘 일치함에도 불구하고 복사열유속(radiative flux)의 예측에 큰 오차가 있는 것으로 나타났다(박외철, 2008).

이상의 결과는 한 두가지 값의 연소율에 대한 수치 시물레이션을 통해 얻은 것이므로, 더 넓은 범위의 연소율에 대한 조사가 필요하다. 본 연구의 목적은 이전 연구의 결과를 바탕으로 하여 더 넓은 범위의 연소율에 FDS를 적용함으로써 수직벽 화재 시물레이션에 있어서의 FDS의 정확성을 확인하는 것이다.

de Ris(2008)는 프로필렌 수직벽 화재에 대한 실험에서 단위면적당 프로필렌 가스의 연소율 7.0~29.29g/m²에 대해 버너 중심에서 경계층 내 정상상태의 온도분포를 측정하였다. 본 연구에서는 이 실험과 유사한 조건에서 수치 시물레이션을 수행하여 온도분포를 실험 결과와 비교하였다.

2. 연구방법

비교대상의 실험(de Ris, 2008)에서는 Figure 1과 같이 폭 400mm, 높이 400mm의 황동 수직평판의 표면에서 일정한 단위면적당 연소율(물질 전달률)로 프로필렌(propylene, C_3H_6) 가스가 연소하는 버너를 사용하였다. 2차원 경계층을 유지하기 위해 수직평판의 양쪽에 폭 150mm의 황동판을 부착하였고, 수직평판 위쪽에도 수직평판과 동일 평면을 이루도록 황동평판을 부착하였다. 버너의 수직평판 온도를 일정하게 유지하기 위해 수직평판 내부에 일정한 온도의 냉각수가 순환하도록 하였다. 프로필렌의 단위면적당 연소율은 7.0, 10.8, 13.08, 16.33, 19.0, 21.95, 24.84, 29.29 $g/m^2\cdot s$ 의 모두 8가지의 값에 대하여 버너 중심의 표면에서부터 수직방향으로 경계층 내의 온도분포를 측정하였다.

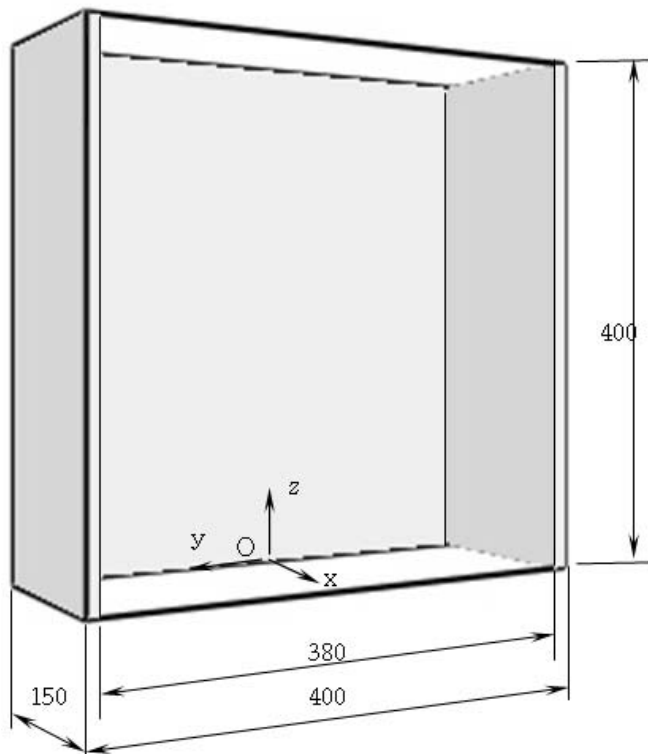


Figure 1. Burner configuration (dimensions in mm).

본 연구에서는 예비 시뮬레이션을 통해 계산영역의 크기가 결과에 미치는 영향의 거의 없도록 계산영역 크기를 x 방향 150mm, y 방향 150mm($-75mm \leq y \leq 75mm$), z 방향 높이 600mm (버너 400mm, 평판 200mm)를 선정하였다. 또 실험과 유사한 경계조건을 만들기 위해 벽면의 온도를 130°C, 벽면표면에서의 속도를 0으로 하였고, 2차원 경계층 유동이 되

도록 $y = -75\text{mm}$ 와 $y = 75\text{mm}$ 에서의 경계조건을 MIRROR로 설정하였다. 격자크기와 스마고린스키 상수(Smagorinsky constant)를 이전의 연구(박외철, 2008)에 따라 각각 $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 5\text{mm}$, $C_s = 0.1$ 로 하였다. 복사 손실률(radiative loss fraction) 0.3, 황동벽의 방사율(wall emissivity) 0.6, 연기질량분율(soot yield), 즉, $m_{\text{soot}}/m_{\text{fuel}}$ 를 0.02로 설정하였다. 그밖의 변수값은 FDS의 기본값을 그대로 사용하였다. 시뮬레이션 시간은 50초로 하였고, 정상상태의 온도분포는 30~50초 사이 온도의 시간평균값으로 계산하였다.

3. 결과 및 토의

Figure 2는 프로필렌의 단위면적당 연소율이 $7.0\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$ 일 때 버너 중심에서의 온도분포를 실험(de Ris, 2008)과 비교한 그림이다. 벽면 근처의 경계층에서는 실험과 잘 일치하지만, 벽면으로부터의 거리가 30mm를 넘는 영역에서는 실험에 비해 낮게 나타나 있다. 이것은 이전의 연구(박외철, 2008)에서 지적된 바와 같이 시뮬레이션에서의 난류혼합 부족의 결과이다.

Figure 3에는 연소율 $10.8\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$ 의 경우를 비교하였다. 앞의 $7.0\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$ 에 비해 실험과 더 잘 일치하는 것으로 나타났다.

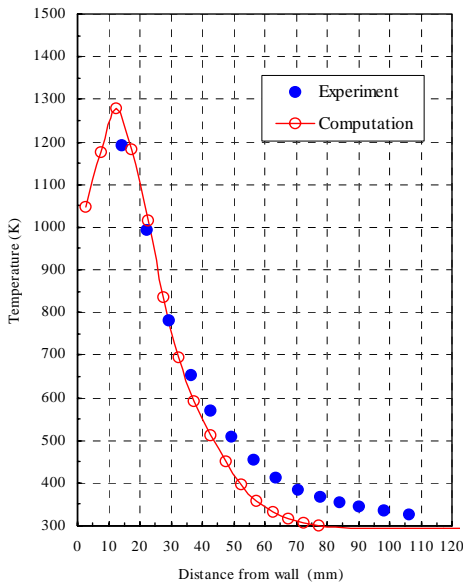


Figure 2. Comparison of temperature profiles for $7\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$.

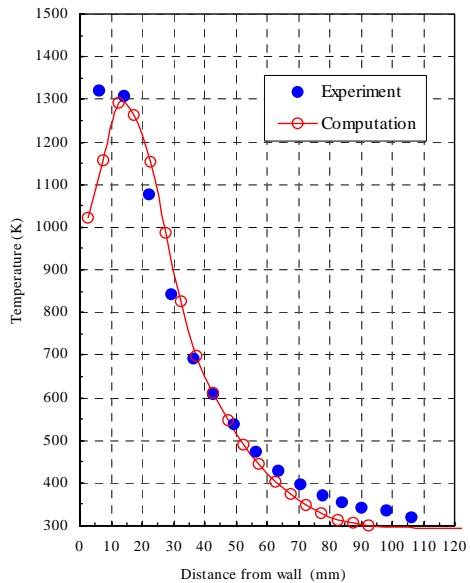


Figure 3. Comparison of temperature profiles for $10.8\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$.

Figure 4의 $13.08\text{g/m}^2\text{-s}$ 의 경우에는 최고온도의 오차가 크게 나타났다. 벽면 근처에서는 온도측정에 오차가 클 가능성이 있다. 최고온도의 큰 오차는 Figure 5의 $16.33\text{g/m}^2\text{-s}$ 에서도 볼 수 있다. 그러나 최고온도를 제외하면 실험과 잘 일치함을 알 수 있다.

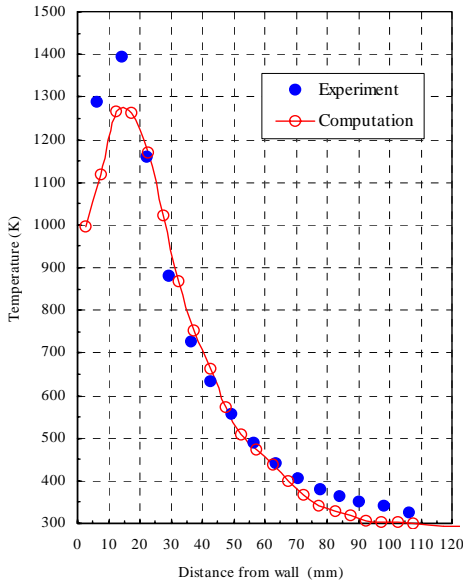


Figure 4. Comparison of temperature profiles for $13.08\text{g/m}^2\text{-s}$.

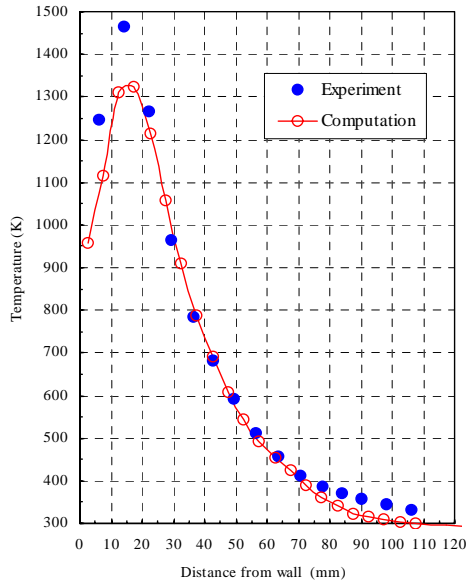


Figure 5. Comparison of temperature profiles for $16.33\text{g/m}^2\text{-s}$.

$19.0\text{g/m}^2\text{-s}$ 의 경우에는 Figure 6 나타나 있는 바와 같이 온도분포가 실험과 잘 일치한다. 그러나 최고온도가 낮게 예측되는 것은 $21.95\text{g/m}^2\text{-s}$ (Figure 7), $24.84\text{g/m}^2\text{-s}$ (Figure 8), $29.29\text{g/m}^2\text{-s}$ (Figure 9)에서도 확인할 수 있다.

Figure 10에는 위의 8가지 값의 단위면적당 연소율에 대하여 유동방향 속도의 변화를 알아보기 위해 시뮬레이션에서 얻은 유동방향 속도를 비교하였다. 이 값은 온도분포와 같이 버너의 중심에서의 경계층 내 시간평균 속도분포이다. 단위면적당 연소율이 $7.0\text{g/m}^2\text{-s}$ 에서 $29.29\text{g/m}^2\text{-s}$ 로 증가함에 따라 최대속도가 약간 증가하고 경계층의 두께도 증가함을 알 수 있다. 이것은 연소열이 증가함에 따라 부력에 의해 공기의 흐름도 증가하기 때문이다.

경계층 내 난류혼합의 부족여부는 유동방향의 속도분포로 쉽게 확인할 수 있으나, 비교 대상의 실험(de Ris, 2008)에서는 이를 측정하지 않았기 때문에 비교할 수 없었다. 한편, 본 연구에서 대부분의 연소율에서 최고온도가 낮게 예측됨에 따라 이에 대한 조사가 필요하다. 따라서 수치 시뮬레이션 결과와 비교하기 위한 온도분포와 속도분포를 함께 측정할 실험데이터가 요구된다.

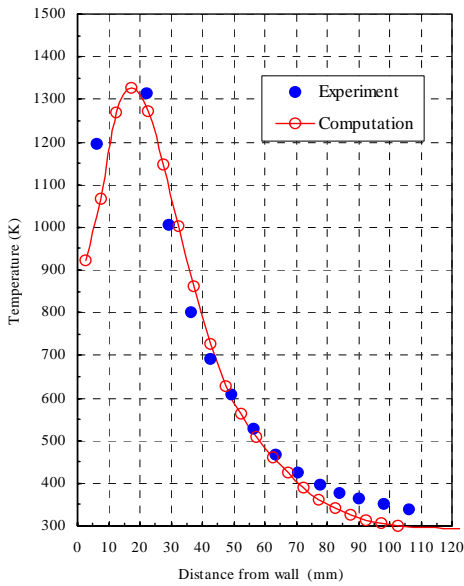


Figure 6. Comparison of temperature profiles for $19.0\text{g/m}^2\text{-s}$.

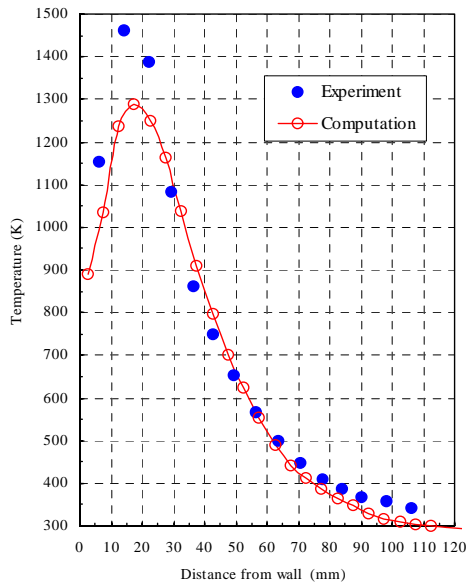


Figure 7. Comparison of temperature profiles for $21.95\text{g/m}^2\text{-s}$.

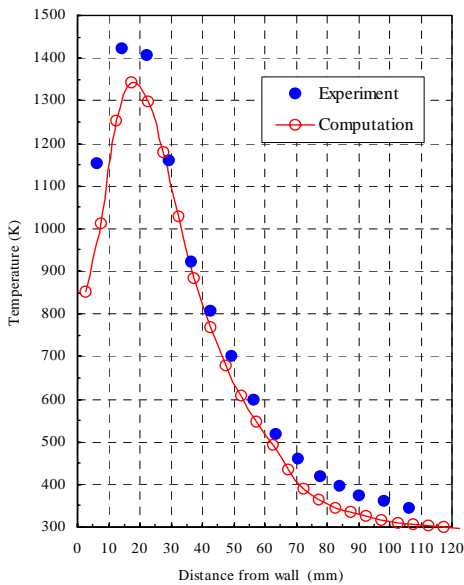


Figure 8. Comparison of temperature profiles for $24.84\text{g/m}^2\text{-s}$.

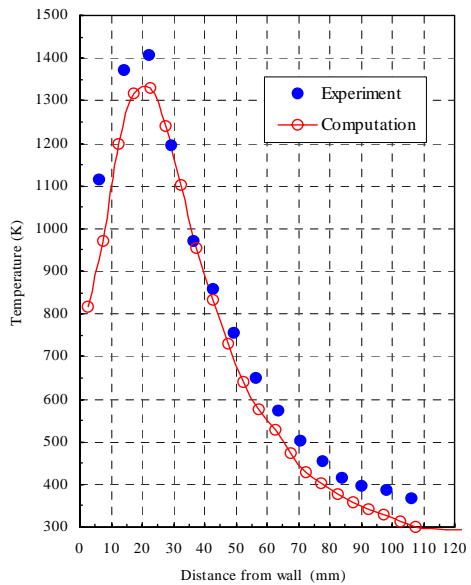


Figure 9. Comparison of temperature profiles for $29.29\text{g/m}^2\text{-s}$.

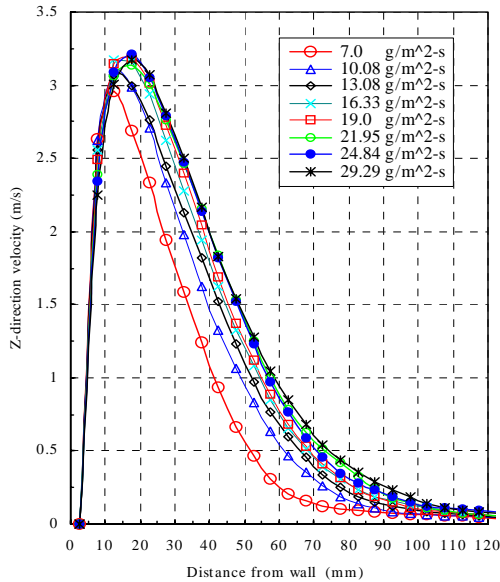


Figure 10. Comparison of computed streamwise velocity profiles for mass fluxes.

4. 결론

단위면적당 연소율 7.0~29.29g/m²-s의 프로필렌 수직벽 화재에 대한 수치 시뮬레이션을 전산유체역학 모델인 FDS (Fire Dynamics Simulator)로 수행한 결과, 버너 중심에서의 경계층내 온도분포가 실험과 잘 일치하였다. 그러나 최고온도는 실험에 비해 낮게 예측되었다. 유동방향 속도분포는 단위면적당 연소율에 따라 일관되게 약간 증가하였고 경계층의 두께가 점차 증가함을 확인하였다. 최고온도와 난류혼합에 대한 추가조사가 필요하며, 온도분포와 속도분포를 모두 측정한 실험데이터가 요구됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. de Ris, J.L (2008), FM Global, Private communication.
2. McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., Baum, H. and Rehm, R. (2007), Fire Dynamics Simulator (V.5) Technical Reference Guide, NIST, Gaithersburg, Maryland, U.S.A.
3. 박외철, Trouve, A (2008a), "수직벽화재의 수치 시뮬레이션 I. 수직벽 난류자연대류", 한국화재소방학회 논문지, 제22권 제3호, pp.181-187.
4. 박외철, Trouve, A (2008b), "수직벽화재의 수치 시뮬레이션 II. 프로판 화재", 한국화재소방학회 논문지, 제22권, 제3호, pp.188-193.
5. 박외철 (2008), "FDS를 사용한 수직벽화재 시뮬레이션의 문제점", 한국화재소방학회 2008년도 추계학술논문발표회 논문집, pp.68-75.