

회오리 화염의 연소특성과 FDS를 이용한 회오리 화염 해석에 관한 연구

이성은, 오규형

호서대학교 소방방재학과

A Study on the Analytical of Whirl fire using the FDS and Combustion Characteristics of Whirl fire

Sung-Eun Lee, Kyu-Hyung Oh

Fire & Disaster Protection Engineering of Hoseo University

1. 서 론

최근 수년 동안의 급속한 경제 성장은 인구 집중등의 불균형적인 발전을 일으키게 되었고, 이로 인해 대도시들의 건물은 고층, 고밀집화현상이 나타났다. 이러한 대도시에서의 화재 발생이나 울창한 산림화재가 발생하는 경우 이상기류나 화재시 발생하는 열 등에 의하여 회오리 화염이 발생하는 경우가 있고, 이런 경우 일반화재시 발생하는 화염 보다 높아 불티 등의 불씨가 멀리까지 전파되어 화재를 확대시키고¹⁾, 연소속도 또한 증가하면서 높은 연소열로 인한 인명 및 재산 피해가 확대되고 있는 상황이다.

이러한 화재를 fire vortex 또는 whirl fire 즉 회오리 화염이라고 한다. 이러한 회오리 화염이나 토네이도 현상의 실제 규모 재현은 불가능하여 최근 실험적으로 유사한 현상을 통하여 유체역학적 및 연소학적 고찰등에 의해 연구⁶⁾되고 있는데 이 또한 한계가 있어 실험과 함께 CFD program 중 화재를 해석하는 FDS program을 통해 회오리 화염을 분석하고, 그 결과를 비교하여 실제 회오리 화염을 예측하는 선행연구로 이용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

회오리 화염 형성을 위한 벽면의 구성도는 다음 Fig.1과 같으며 실험에 사용한 시료 용기는 스테인레스틸로 제작하였다. 또한 벽면크기, 바닥면적, 틈새크기 등에 따라 회오리 화염의 생성과 거동을 관찰하였다.

Pool fire와 whirl fire의 화염높이에 따른 온도 변화 값을 측정하기 위하여 K type의 열전대를 15cm 간격으로 15개를 설치하였고, 열전대에서 측정되는 온도의 변화 값을 온도기록 장치를 사용하여 측정된 실험값을 data화 하였다. 또한 화염이 유지되고 있는 동안 방출되는 복사열을 heat flux meter를 3개 사용하여 각각 용기면, 용기 직경2배, 4배에 설치하여 측정하였고, 로드셀을 이용하여 연료의 초당 증발량을 측정하였다. 또한

화염의 높이와 화염시간을 측정하기 위하여 비디오카메라로 화염을 촬영하여 분석하였다. 실제 실험을 하기 위한 실험동은 가로, 세로, 높이 각각 3m×5m×5m이며, 이를 FDS에 설정한 공간의 모습은 Fig.2와 같다.

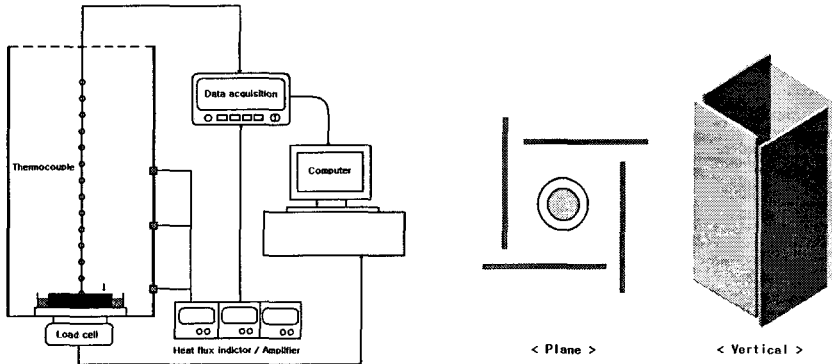


Fig. 1. Schematic diagram of experiment apparatus.

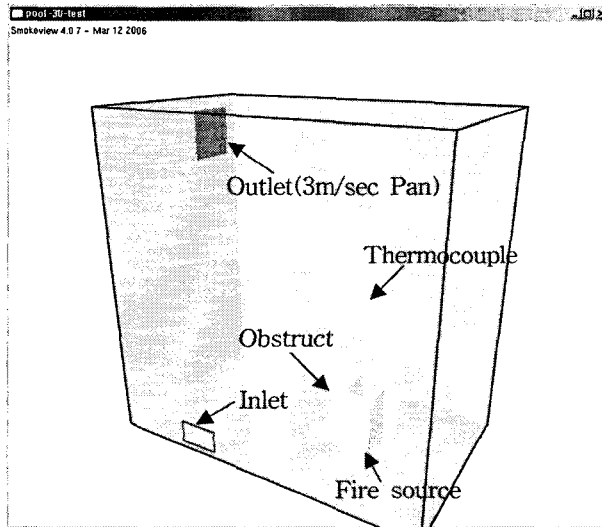


Fig. 2. Domain.

본 연구에 사용된 CFD program은 미국 NIST에서 만들어 배포하고 있는 fire-driven fluid flow model인 화재해석 전용 program인 FDS(Fire Dynamics Simulator) Ver 4.를 사용하였다. FDS 프로그램은 화재로 인해서 발생된 연기 및 열전달에서의 low speed 및 열기류들을 해석하기 위하여 Navier-Stokes 방정식들의 형태들을 적용하여 해석하는 프로그램으로서 일반적으로 화재에서 다음과 같은 현상들을 해석하기 위해 사용되는 프로그램이다.

- 화재로부터의 연소 생성물과 열전달
- 가스 및 고체표면에서의 열전달과 복사열

- 열분해
- 화염 확산 및 화재 성장
- 스프링클러, 열감지 및 연기감지기의 작동
- 스프링클러 작동 및 소화 현상등

3. 실험결과 및 고찰

Fig.3은 각 열전대의 위치에서의 화염의 평균온도를 나타낸 것으로서 pool fire인 경우는 용기 직상면에 설치된 열전대101번 위치로부터 화염이 발생하여 길지 않은 화염을 발생하므로 점차적으로 온도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 whirl fire의 경우는 용기 직상면은 증발한 아세톤으로 인하여 온도가 약 550℃를 유지하다가 point 화염이 발생한 102번 열전대까지 계속 상승하다가 점차 화염이 줄어들어 열전대의 온도 또한 점차 낮아지는 현상을 나타내었다.

Whirl fire가 발생한 경우의 화염온도가 높아진 것은 회오리 발생에 의해 화염으로의 공기 흡입 속도가 증가되어 증발된 연료와 공기와의 혼합속도가 빨라져서 연소속도를 증가시키며, 이로 인해 화염의 길이 또한 증가함으로 화염에서 연료면으로의 복사열도 증가된다. 따라서 pool fire에 비해 에너지 방출속도가 크게 되기 때문으로 생각되는데 이는 뒤에 설명하는 연소속도의 증가와 복사 열 유속의 증가를 통해 알 수 있다.

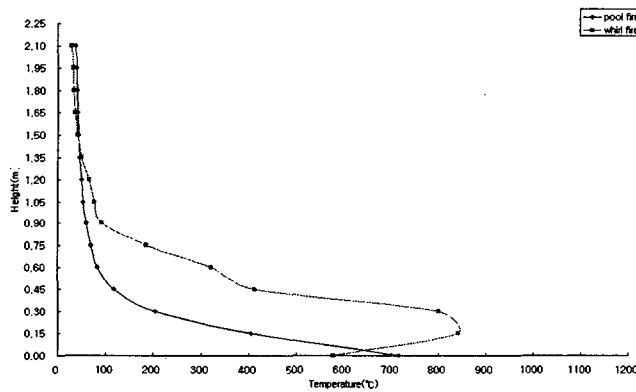


Fig. 3. Compare Centerline Average Temperature at Different Heights of Pool fire with whirl fire(pool:10cm).

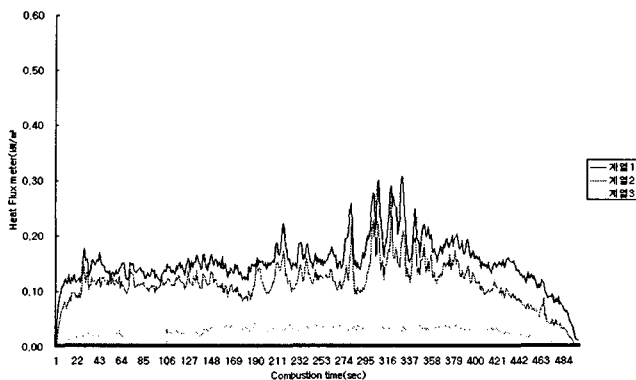


Fig. 4. Heat flux of pool fire of acetone.

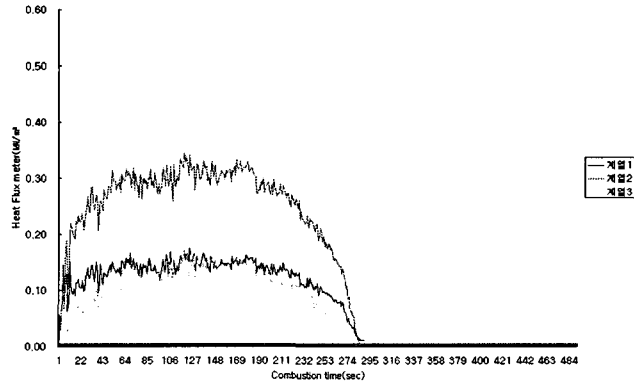


Fig. 5. Heat flux of whirl fire of acetone.

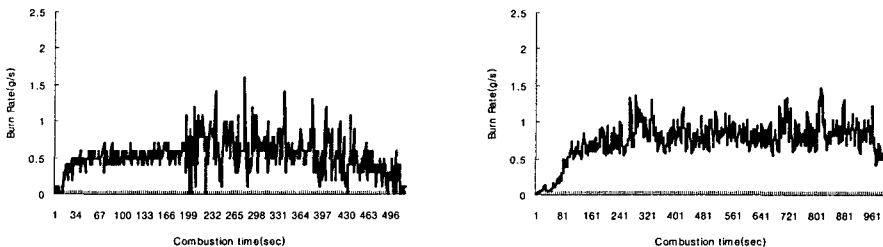
다음Fig.4는 아세톤의 pool fire에서 heat flux를 측정 한 결과이고 Fig.5는 whirl fire 발생시의 heat flux 측정 결과 값을 나타낸 것이다. Fig.4와 5에서 보는 바와 같이 whirl fire에서 최대 heat flux의 측정값이 pool fire의 약 3배정도 크게 나타났는데 이러한 현상은 이미 앞에서 설명한 연소특성에서 예측할 수 있었으며 실제 측정결과도 유사한 경향을 나타내었다.

Fig.6은 실제 실험을 통해 얻은 Pool fire의 연소속도와 동일한 조건으로 FDS를 실행 했을 때의 연소속도를 비교한 그래프이다. Pool fire와 FDS의 연소속도를 비교하여 보면 정확히 일치하지 않지만 대략적으로 경향이 일치하며, 평균속도도 약 0.53g/s이고, FDS의 연소속도는 0.75g/s정도가 된다.

Fig.7은 용기 직경 20cm, 바닥면적이 50×50cm², 틈새가 20cm, 날개 15cm의 조건일 때의 실험 data와 FDS data를 비교한 것이다.

실제 실험은 흔들림이 많지만 평균 0.69g/s의 연소속도를 나타내며, FDS를 실행해서 얻은 연소속도는 0.78g/s로 약간 높게 나타났다.

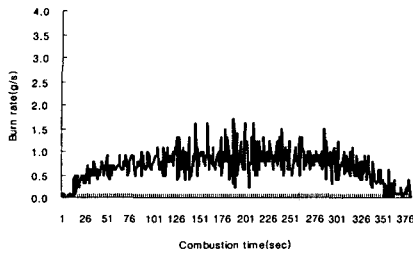
Fig.8은 FDS에서 y=1.5의 단면에서 temperature stream couter로서 연소후 400초 상태에서 a)pool fire와 b)whirl fire로 인한 domain 안의 온도 분포를 보여 주는 그림으로서 whirl fire로 인하여 pool fire 상태보다 더욱 높은 온도분포들을 보이며 공통되게 천정 부분 상부에서 온도분포들이 좌로 치우쳐진 현상들은 좌측에 있는 outlet에서 연소로 인해 생성된 열기들이 3m/sec로 유출 되는 지는 현상을 보여 준다.



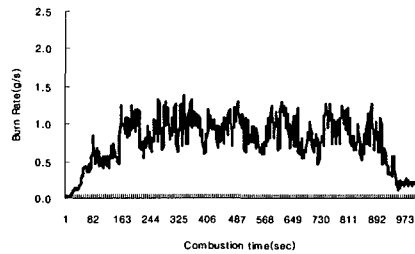
a) Test data

b) FDS data

Fig. 6. Burn rate of pool fire.

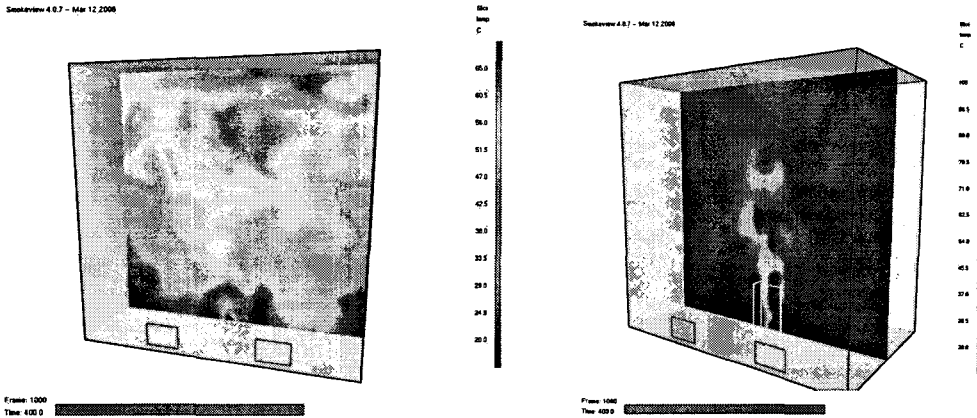


a) Test data



b) FDS data

Fig.7. Burn rate of whirl fire.



a) pool fire

b) whirl fire

Fig. 8 Sliced room temperature profile of FDS.

4. 결론

용기내 액체 연료의 액면연소인 pool fire에서 whirl fire이 발생하는 구조를 통해 화염의 거동을 측정하여 whirl fire 특성을 살펴보았으며, 이러한 결과를 화재시뮬레이션 (FDS) 값과 비교하여 실험값을 예측할 수 있다. 또한 whirl fire의 실험과 FDS의 결과 값을 통하여 whirl fire가 생성되기 어려운 한계조건을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Whirl fire 발생시 화염 주위의 벽면에 의한 유입공기의 회전현상과 열 부력 현상으로 pool fire에서 보다 연소속도, 화염높이가 2배이상 증가하였으며, 이로 인해 화염온도, 복사열 유속이 증가하였다. 따라서 Whirl fire 발생은 화염길이의 증가 및 열방출속도의 증가로 화재 확대속도의 증가와 화재 범위의 확대로 화재시 더욱 치명적인 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.
2. 동일한 실험 조건에서 측정된 화염의 온도는 whirl fire의 평균 화염온도가 pool

fire보다 약 50%정도 높게 나타나는 현상을 나타내었으며, 동일한 조건으로 FDS를 실행하여 해석된 whirl fire이 약 70%정도 높게 나타났다. 그 원인은 실제 실험이 FDS의 해석과 비교하여 열손실등의 영향들이 더욱 많기 때문으로 판단되어진다.

3. 틈새크기와 바닥면적의 변화에 따라 유입되는 공기의 channeling 현상이 발생되기 곤란한 기하학적인 형태가 whirl fire의 한계점이 될 수 있음을 알 수 있다.
4. Whirl fire에 대한 FDS 해석 결과 실험결과와 거의 같은 경향을 보였다. 이 결과 FDS를 이용하여 whirl fire에 대한 다양한 실험변수를 도입하여 이론적 해석이 가능할 것으로 판단된다.
가와 화재 범위의 확대로 화재시 더욱 치명적인 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

5. 참고문헌

1. Howard W. Emmons, and Shuh-jing Ying. "The fire whirl", 11th International Symp. on Combustion 1967, The Combustion Institute, pp.475-488, 1966.
2. R.N.Meroney, "Fire whirls and building aerodynamics", International Conference on Wind Engineering, Vol. 2003, pp.2257-2266, 2003.
3. 고경찬, 박외철, "FDS를 이용한 실내화재 모사의 문제점(II. 벽면형 및 모서리형 화재)", 한국안전학회지, Vol. 19. No.3. 2004.
4. 金炳熙, 理化學辭典, 成文閣, pp.56-268, 1983.
5. 김원국, "성능위주의 소방설계를 위한 건축물 화재 모델링" 오름, 1999.
6. 최상열, "회전강도가 Fire Whirl의 특성에 미치는 영향에 관한 실험연구", 중앙대학교 대학원, 2004. 12.
7. 이성은, 오규형, 김수영, "FDS를 이용한 회오리 화염의 연소특성에 관한 연구", 2006년도 춘계학술논문발표회 논문집, pp.258-263.