

Air Entrainment가 pool fire에 미치는 영향에 관한 연구

강연옥 · 오규형* · 이성은 · 권영진*

호서대학교대학원 · *호서대학교 소방학과

1. 서론

대규모 도시화재나 울창한 산림화재가 발생하는 경우 이상기류나 화재시 발생하는 열등에 의하여 대규모의 화염회오리가 발생하는 경우가 있고 이런 경우 불길이 통상의 화염보다 높아 불티 등의 불씨가 멀리까지 전파되어 화재를 확대시키고 연소속도 또한 증가하면서 높은 연소열로 인한 인명 및 재산의 피해가 확대되었다. 역사적으로 1923년 관동 대지진에서 수많은 인명해가 발생하였으며 이 대규모 피해의 원인은 화염 회오리가 주원인 이었으며 2차대전 당시 함부르크 대화재에도 화재 회오리가 발생하여 큰 피해를 발생시켰던 역사기록이 있다.

이러한 화재회오리는 연소현상과 더불어 화염주위의 공기유동 및 주변의 공기유동에 영향을 미치는 기하학적 구조 등이 영향을 미치는 것으로 보인다.

본 연구에서는 pool fire에서 이러한 화재회오리(Whirl fire)가 발생하는 구조를 만들고 연소가 시작됨에 따라 자발적으로 화재회오리가 생성되도록 하였으며, 이때의 화염의 높이, 화염의 온도, 연소속도 및 Heat Flux등을 측정하여 pool fire에서의 air entrainment에 의한 연소특성을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

Pool fire에서의 연소특성과 화염 회오리가 생성될 때의 연소특성을 비교하기 위하여 화염의 온도, 화염높이, 연소속도 및 heat flux등을 측정하였다. 액체 연료 시료로는 아세톤, 메탄올, 헥산 및 휘발유를 사용하였으며 모든 실험에서 시료 연료는 연소용기의 높이에 반이 되는 1cm의 높이까지 채웠으며 부피로는 78cm³ 이었다.

화재회오리를 발생시키기 위한 실험장치의 구조는 다음 그림1과 같으며 넓이 45cm, 높이 1m의 석고판 3개와 화염의 구조를 관찰하고 촬영을 위해 1면은 유리를 사용하였으며 바닥면이 40cm×40cm가 되고 각 판의 틈새가 5cm가 되도록 하였다. 연소용기는 직경 10cm, 높이2cm의 스텐레스 용기를 사용하였으며 실험장치의 바닥면 중앙에 위치하도록 하였다. 화염 중심부의 온도를 높이에 따라 측정하기 위하여 K형 열전대 3개를 연료 액면(열전대1), 연료면에서 20cm(열전대2)와 40cm(열전대3)에 각각 설치하였으며 복사열을 측정하기 위한 heat flux meter는 용기 직경의 2배 떨어져서 연료면으로부터 20cm 높이가 되는 곳에 화염과 직각으로 설치하였다. 화염의 높이와 화염의 회전하는

형상을 관찰하기 위하여 비디오 카메라로 촬영하였다.

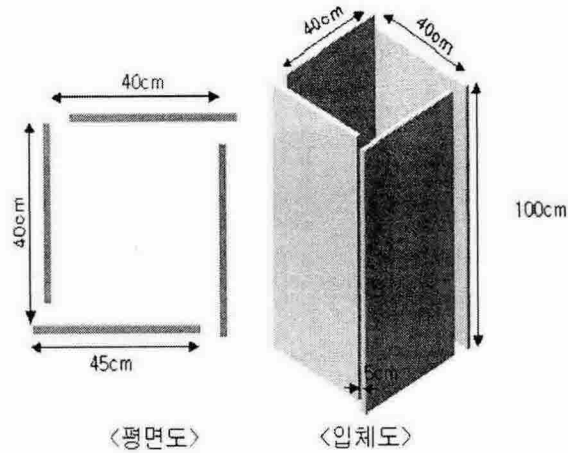


그림 1. 실험장치의 개략도

Pool fire에서의 연소특성의 측정도 위와 유사한 방법으로 하였으며 온도를 측정하는 위치를 액면(열전대1), 액면에서 10cm(열전대2)와 20cm(열전대3) 높이에 각각 설치하였고 복사열측정을 위한 heat flux meter는 용기중심에서 20cm 떨어지고 높이 10cm가 되는 곳에 설치하였다. 그림2는 pool fire에서 실험장치를 설치하여 온도와 열유속을 측정하는 모습을 찍은 사진이다.

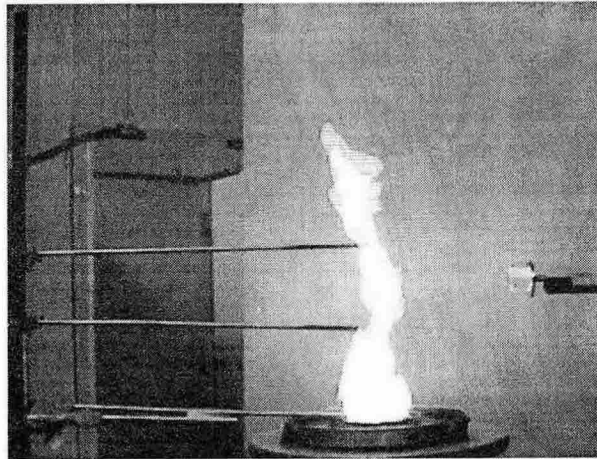


그림 2. Pool Fire에서의 실험사진

3. 결과 및 고찰

3-1 화염온도

그림3의 a)는 pool fire에서의 아세톤의 화염온도를 측정된 결과이고 b)는 화염회오리 발생 장치에서 화염온도를 측정된 결과로서 pool fire에서도 난류확산연소 현상으로 주기적인 vortex shedding으로 온도의 편차가 발생하지만 화염회오리가 발생한 경우 온도의 편차는 더욱 커지는 현상을 보이고 있으며 화염의 최대온도는 pool fire에 비해서 화염회오리 발생시가 더욱 높은 것을 볼 수 있는데 이는 회오리 발생에 의해 화염으로의 air entrainment 속도가 증가하여 결국 연소속도를 증가시키고 pool fire에 비해 에너지 방출율이 크게 되기 때문으로 생각된다. 또한 열전대의 위치에 따른 온도의 비교에서 연료면에 설치한 온도를 비교하면 회오리화염이 발생된 경우 화염이 회전하면서 연료면에 더욱 근접하여 연소하므로 온도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 메탄올, 헥산, 휘발유의 경우도 같은 결과를 보여주었다.

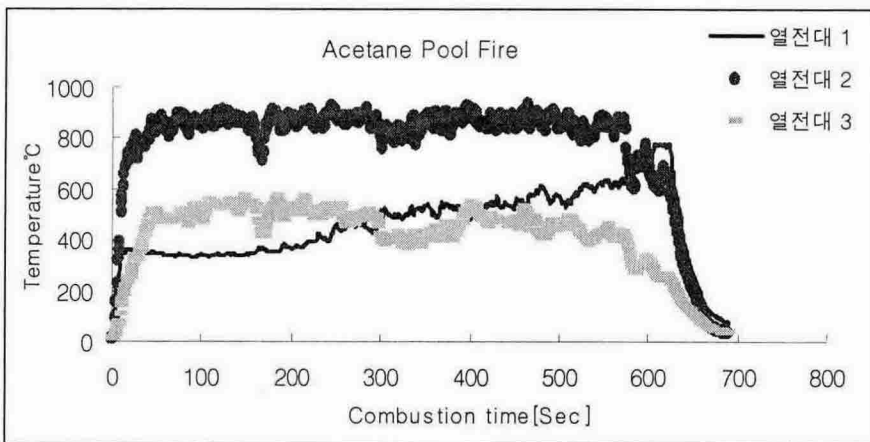


그림 3. a) Pool Fire에서의 온도 측정

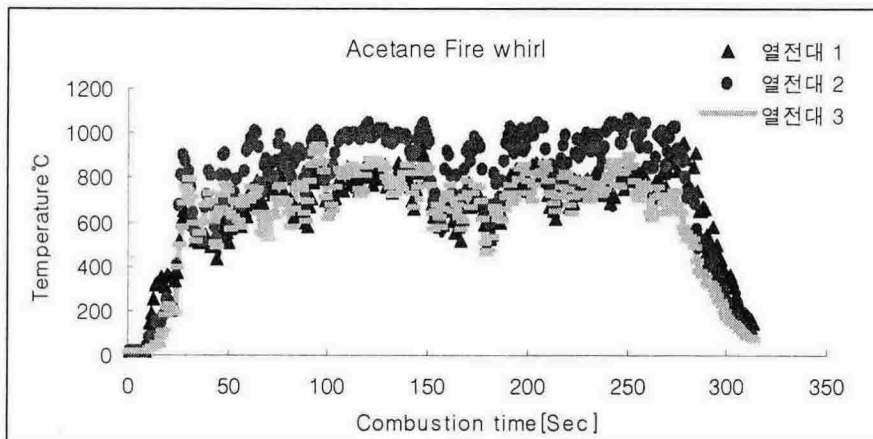


그림 3. b) 화염회오리시의 온도측정

3-2 화염의 높이

다음 표1은 각 연료의 pool fire에서와 화염회오리 발생시의 화염의 높이를 비교한 것이다.

표1. pool fire와 화염회오리와의 화염높이 비교(단위:cm)

	아세톤	메탄올	헥산	휘발유
pool fire	46	23	55	48
회오리화염	92	47	120	101

표1에서 보여주는 것처럼 화염회오리가 발생하는 경우 일반적인 pool fire보다 약 2배 이상의 화염높이가 되는 것을 볼 수 있는데 이는 유입되는 공기의 swirling에 의한 연료 증발속도의 증가와 공기와의 빠른 혼합으로 확산 연소속도가 증가하고 이에 따라 에너지 방출속도가 증가하고 다시 용기액면으로의 열전달량이 증가하여 연료의 기화속도를 증가시키고 증발된 연료가 유동하는 공기와 함께 더 높은 위치까지 이동하며 연소하는 현상의 순환과정으로 볼 수 있다. 실제 화재에서 화염회오리가 발생할 경우 더욱 높은 곳까지 빠른 속도로 화염 전파가 가능하여 화재전파속도가 증가하게 됨을 예측할 수 있다.

3-3. 연소속도

다음 표2는 각 연료의 pool fire와 회오리화염 발생시 연소시간을 비교한 것으로 회오리화염 발생시가 보통의 pool fire에 비하여 약 2.5배정도 빠른 것을 볼 수 있다. 따라서 단위시간당 많은 연료가 연소하므로 화염의 온도가 높고 복사열유속이 크게 다를 것을 예상할 수 있으며 이 결과 화염회오리 발생시 피해가 확대될 것을 예측할 수 있다.

표2. pool fire와 회오리화염 발생시 연소속도 비교(S)

	아세톤	메탄올	헥산	휘발유
pool fire	11분	14분7초	10분5초	12분44초
회오리화염	5분16초	6분22초	3분53초	4분50초

3-4. Heat Flux

다음 그림4의 a)는 아세톤의 pool fire에서 heat flux를 측정된 결과이고 b)는 회오리화염 발생시의 heat flux 측정결과이다. 그림4에서 보는 바와 같이 화염회오리에서 heat flux의 측정값이 pool fire의 약1.5배정도 크게 나타났으며 헥산이나 가솔린의 경

우는 약 2배정도로 높게 측정되었다.

이러한 결과는 pool fire에서 air entrainment에 의해 화염회오리를 형성하면서 연소 속도가 증가하고 화염의 온도가 높아지며 열방출속도가 커져서 주위 가연물 존재시 복사열 유속의 증가와 수직 상승면으로의 열전달 등이 증가하여 화재전파속도에 크게 영향을 미치게 됨을 예측할 수 있으며 산불화재나 대도시 화재에서 발생했던 회오리 화염에 의한 대규모 피해 현상을 이해할 수 있다.

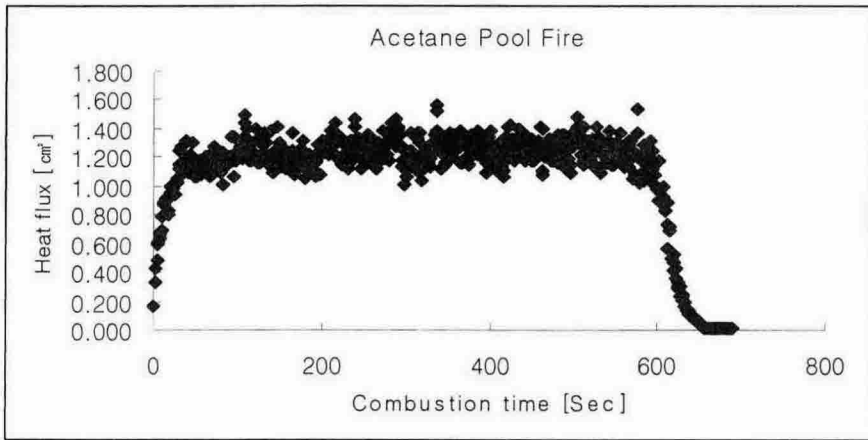


그림 4. a) Pool fire에서의 Heat flux 측정

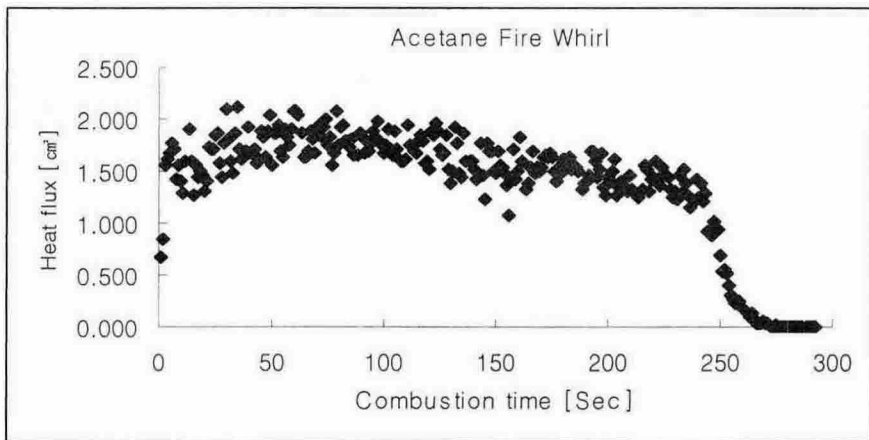


그림 4. b) 화염회오리시의 Heat flux 측정

4. 결론

본 연구에서는 용기내 액체 연료의 액면연소인 pool fire에서 화염회오리가 발생하는

구조를 통해 화염회오리 발생시 연료의 연소 형태와 거동 및 화염의 온도와 복사열유속, 연소속도, 화염높이 등을 측정 비교함으로써 회오리화염의 특성을 살펴보았으며 회오리(whirl)발생으로 인해 일반적인 pool fire에서 보다 연소속도의 현저한 증가, 연소화염 온도의 상승, 화염높이의 증가, 복사열 유속이 크게 증가하였다.

결국 이러한 회오리 화염의 발생은 화재에 의한 손실에 더욱 치명적인 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

이번의 연구는 이러한 화염회오리 발생을 방지하기 위한 한계 조건을 연구하기 위한 선행 연구로서 향후 실험장치와 연소용기의 무차원화 및 열방출속도와 실험장치의 구조와의 관련성 등을 계속 연구할 것이다.

참고문헌

1. Emmons, H. W. and S. J. Ying, "The Fire Whirl, "Eleventh Symposium on Combustion on Combustion (1966), The Combustion Institute, 1967, ppl 475-488.
2. Satoh, K. and Yang, K. T., 1996, Experimental Observations of Swirling Fires. 1996 International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Atlanta, GA, USA, ASME HTD-Vol. 335,393-400.
3. Satoh, K. and Yang, K. T., 1997, "Simulations of Swirling Fires Controlled by Channeled Self-Generated Entrainment Flows", Proceedings of the 5th International Symposium on Fire Safety Science, Melbourne, Australia, 201-212.
4. Satoh, K. and Yang, K. T., 1998, "Study of Swirling Fires in a Vertical Channel With a Single Gap", Proceedings of the 35th National Heat Transfer Symposium of Japan, Nagoya, Paper No. B321.
5. Satoh, K. and Yang, K. T., 1998, "Experiments and Numerical Simulations of Swirling Fires due to 2x2 Flames in a Channel with a Single Gap", Proceedings of the 1998 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Anaheim, CA, ASME HTD-Vol.2, 49-56
6. 平野敏右 著, 김홍·오규형·양희준·인세진 譯 : 연소학, p92 ~ p202 동화기술, 3. 1996