

플 화이어의 화염거동에 관한 연구

라선중, 박승일, 이진영, 오규형*
호서대학교 대학원 안전공학과, *호서대학교 소방학과

A Study on the Pool fire behavior

Sun-jong Ra, Kyu-hyung Oh*, Seung-ill Park, Jin-young Lee.

Dept of safety Eng. Graduate school of hoseo Univ.

*Dept of Fire protection Eng. Hoseo Univ.

1. 서론

연소현상을 분류하는 방법중 연료와 산화제의 혼합형태에 따라 예혼합연소와 확산연소로 나눌 수 있으며 일반적인 화재시의 연소현상은 대부분 확산연소형태를 갖게된다. 연소과정에서 화염을 갖는 유염연소는 연료와 산화제 모두 기체상태일때 발생하여 기체상태의 연료와 산화제가 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 확산되어 혼합이 되고 이 부분에서 연소반응이 일어나면 발광하게 되는 부분이 화염이며 이때의 화염이 확산화염이다.

대부분의 고체와 액체의 연소는 고체의 열분해에 의해 생성되는 가연성 기체나 액체의 증발에 의한 가연성증기가 공기중에 확산되는 형태의 확산연소이다. 이런 확산 연소에서 연소속도를 지배하는 요소는 연료와 산화제의 확산속도이며 고체와 액체 연료의 경우 기체상태의 열분해 생성물이나 증가의 생성속도가 연소속도에 영향을 미치는 요소가 된다.

이러한 형태의 연소에서 연료와 산화제의 공급상태에 따라 발열량 및 화염의 형태등이 영향을 받게 된다. 화재에서 화재의 확대에 영향을 미치는 요소들 중에 화염의 높이와 복사열 에너지등이 있다.

그동안 액체 연료의 연소현상에 대하여 여러 연구자들이 연구하여왔다. Akita.K, Hirano.T, 등은 메탄올을 이용하여 가연성액체의 온도에 따른 액체표면에서 연소확산 현상들을 연구하였으며, Blinov.V. 등은 Pool fire에서 액면 강하속도와 용기직경과의 관계를 열전달 현상과 관련하여 연구하였다.

Nakamura, M, 등은 석유탱크화재에서 화염에 의한 복사열에 의한 열전달 현상들을 연구하였다.

또 B.J.Mccaffiey 와 G.Heskestad 등은 Pool fire 등에서 연소발열량과 화염높이의 상관관계를 구하고자 연구하여 많은 결과들을 도출하였다.

본 연구에서는 휘발유와 헥산을 이용하여 Pool fire에서 용기의 크기(직경)에 따른 화염높이와 주위 온도 변화에 따른 화염높이의 변화 등을 살펴보고 또 용기의 직경과 연료의 종류 및 온도에 따른 plum의 vortex주기 변화 등을 고찰하고자 하였다.

2. 실험

액체연료의 pool fire에서 화염의 거동을 살펴보기위한 변수로 용기의 직경과 주위온도 등을 변화 시켰다. 용기의 직경은 50mm로부터 약 450mm까지 변화시켰다. 주위온도변화를 주는 방법으로는 용기내부의 일정부분까지 각각 20℃, 50℃, 80℃의 물을 넣고 물위에 연료의 깊이가 5mm가 되도록 맞추었다. 연료를 넣은 후 유면이 안정될 때까지 약 1분간 기다린 후 착화하여 화염이 소멸될 때까지의 시간을 측정하고 비디오카메라를 이용하여 화염의 거동을 촬영하여 화염높이 및 주기적 화염거동을 관찰하였다.

다음 표 1은 용기의 표면적에 따른 연료량이고 표2는 시료의 특성이다.

표 1. 용기의 크기 및 표면적

용기 직경 (mm)	50	80	100	150	170	190	220	250	270	360	430	490
표면적(cm ²)	20	50	79	177	227	284	380	491	572	1018	1452	1886
연료량(ml)	10	27	38	91	124	148	197	243	293	506	740	958

표 2. 시료의 특성

	분자량	총발열량 (MJ/kg)	순발열량 (MJ/kg)	인화점(℃)	비점(℃)
휘발유	혼합물	46.8	43.7	<-20	78
헥산	86.17	48.31	44.74	-21	64.8

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용기의 직경에 따른 연소시간

다음 그림 1은 휘발유의 경우 용기의 직경에 따른 연소시간이고 그림 2는 헥산에 대한 연소시간 측정결과이다. 연료의 액면 깊이는 직경에 상관없이 5mm로 하였다. 그림 1과 그림 2에서 모두 직경이 증가할수록 연소시간이 짧아지는 현상을 보여주고 있는데 다시 말하면 용기의 직경이 증가할수록 액면 강하속도가 증가하였다고 할 수 있다. 이러한 현상은 용기의 직경이 증가할수록 용기위의 화염이 난류화염이 되고, 복사열의 증가등에 의해 연료의 증발속도와 연소속도가 증가하였기 때문이며 Blinov와 Akita등의 연구결과와도 잘 일치함을 알 수 있다.

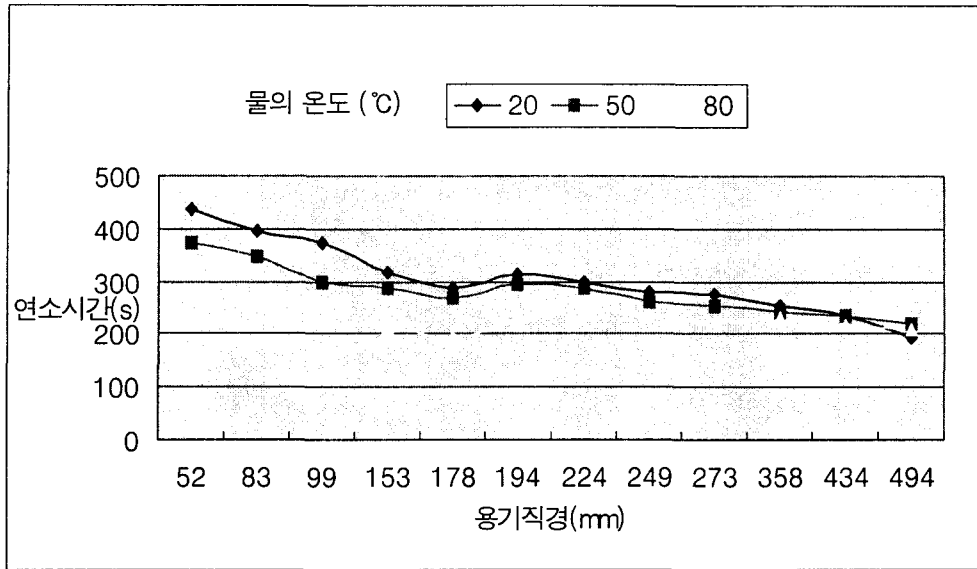


그림 1. 휘발유의 연소용기 직경에 따른 연소시간

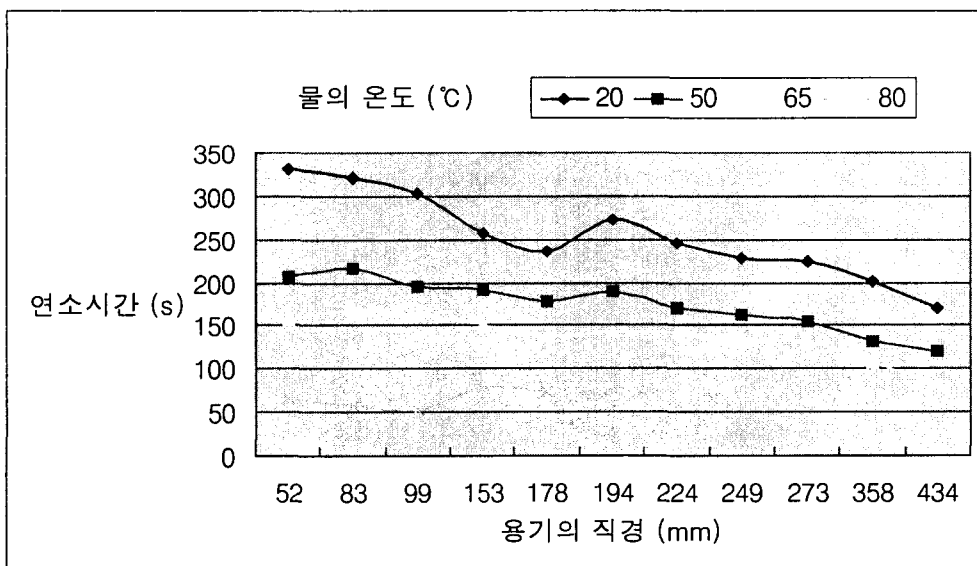


그림 2. 헥산의 연소용기 직경에 따른 연소시간

3.2 주위온도 변화에 따른 연소시간

그림 3과 그림 4는 휘발유와 헥산에 대하여 연료면 아래 물의 온도를 20°C, 50°C, 80°C로 변화시키면서 실험한 결과로서 물의 온도가 증가할수록 연소시간이 짧아짐을 보였다. 액체연료의 경우 증발속도가 연소속도에 영향을 미치게 되는 것을 확인할 수 있으며 온도상승에 따른 증기압의 증가와 반비례하여 연소시간이 짧아지는 것을 알 수 있다.

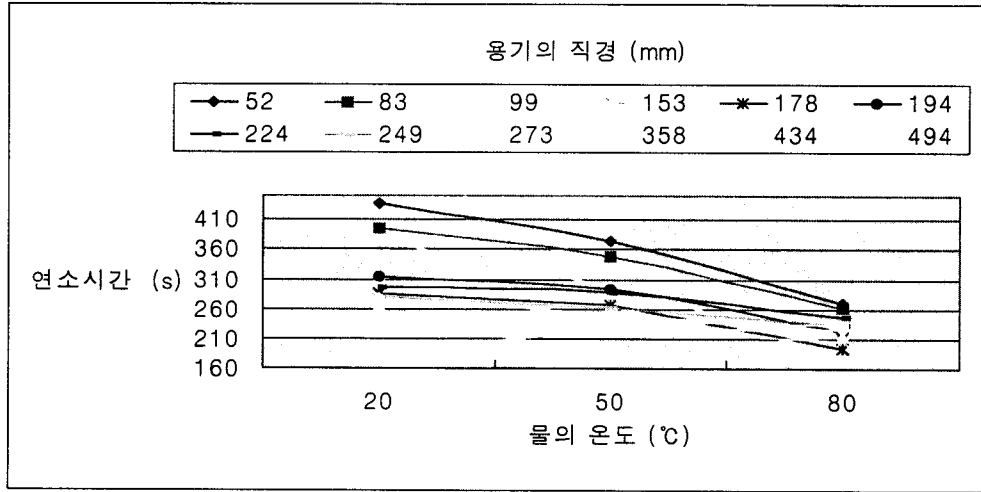


그림 3. 휘발유의 연료층하의 온도에 따른 연소시간

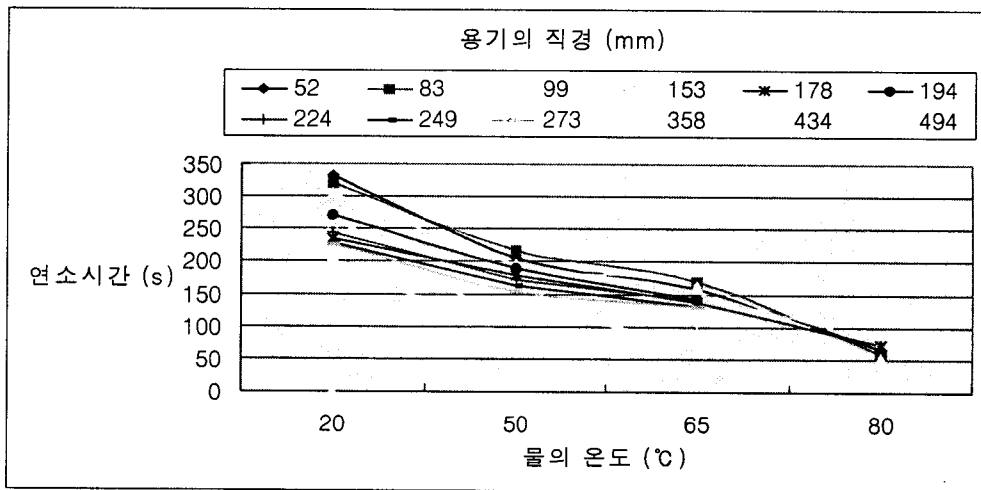


그림 4. 헥산의 연료층하의 온도에 따른 연소시간

3.3 용기직경에 따른 화염의 높이

pool fire에서 용기 직경에 따른 화염의 높이를 측정한 결과를 그림 5와 그림 6에 각각 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 용기의 직경이 증가할수록 화염의 높이가 증가하는 경향을 보여주고 있는데 Heskestad등이 연구한 결과 pool fire에서 화염높이는 다음 식과 같이 대략적 계산이 가능하다.

Heskestad는 Froud수가 크지않은 pool fire의 경우

$$Hf/D = 3.7Q^{*2/5} - 1.02 \quad (1)$$

와 같으며 여기서 는 다음식과 같다.

$$Q^* = \frac{Q^o}{\rho_a C_{pa} T_a \sqrt{g D D^2}} = \frac{Q^o}{1100 [D]^{\frac{5}{2}}} \quad (2)$$

따라서 (2)식을 (1)식에 넣어 정리하면 다음 (3)식과 같이 된다.

$$Hf = 0.225 Q^{o.25} - 1.02D \quad (3)$$

따라서 화염의 높이 Hf는 연소시 발열량 Q^o 와 용기의 직경D에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 화염의 높이는 연소열량 Q^o 가 작은 경우는 직경의 증가에 따라 감소하지만 Q^o 가 큰 경우는 직경보다 발열량의 영향이 증가하게 됨을 예측할 수 있다. 본 연구에 사용된 두 시료는 발열량이 유사한 값을 가지고 있어 화염의 높이에 큰 차이가 없음을 보여주고 있으며, 용기의 직경의 증가와 함께 화염높이가 증가하였는데 다른 액체 연료에 비하여 발열량이 높고 황색화염에 의한 복사 전열 비율이 높기 때문인 것으로 보인다.

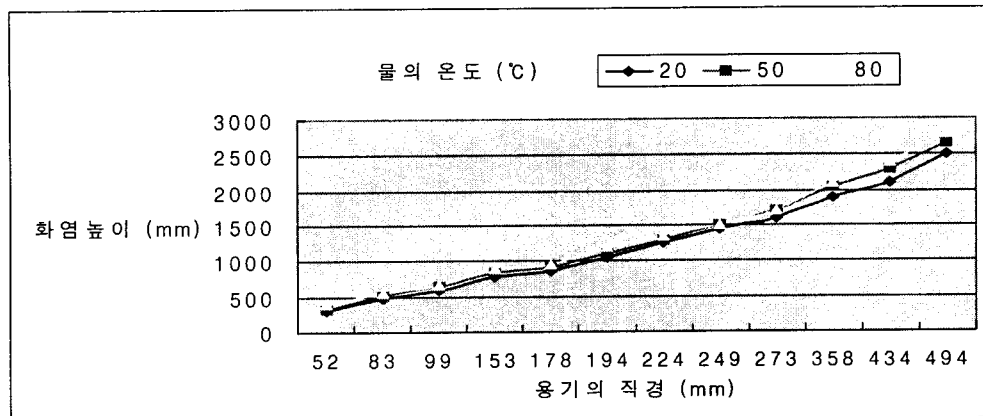


그림 5. 휘발유의 용기직경에 따른 화염높이

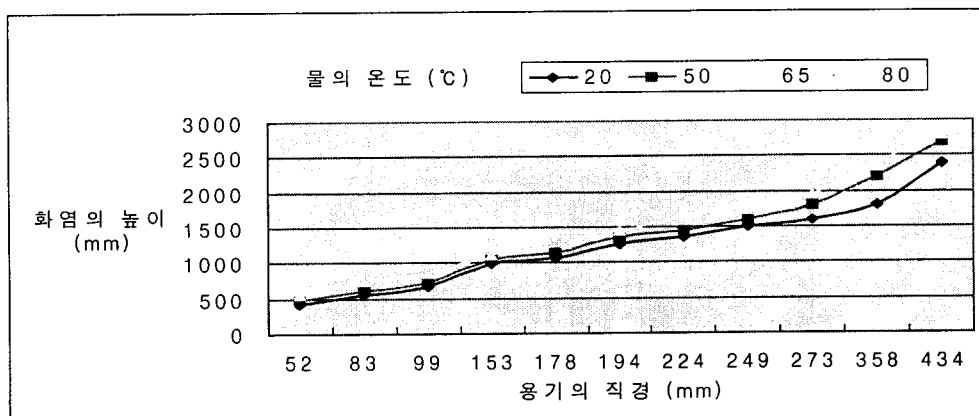


그림 6. 헥산의 용기직경에 따른 화염높이

3.4 액면하 온도에 따른 화염 높이

다음 그림 7과 그림 8은 연료통 아래 물의 온도를 변화시키며 화염의 높이를 측정 한 결과로 주위온도가 증가할수록 화염의 높이가 증가하는 경향을 보여주고 있으나 그 영향이 매우 미약한 것으로 보이는데 이는 앞의 식(3)에서 화염높이에 영향을 미치는 변수가 용기의 직경과 발열량 Q^o 이며 물의 온도증가에 따른 증발량의 증가에 따른 발열량의 증가가 미소하다는 것을 보여주는 것으로 생각된다.

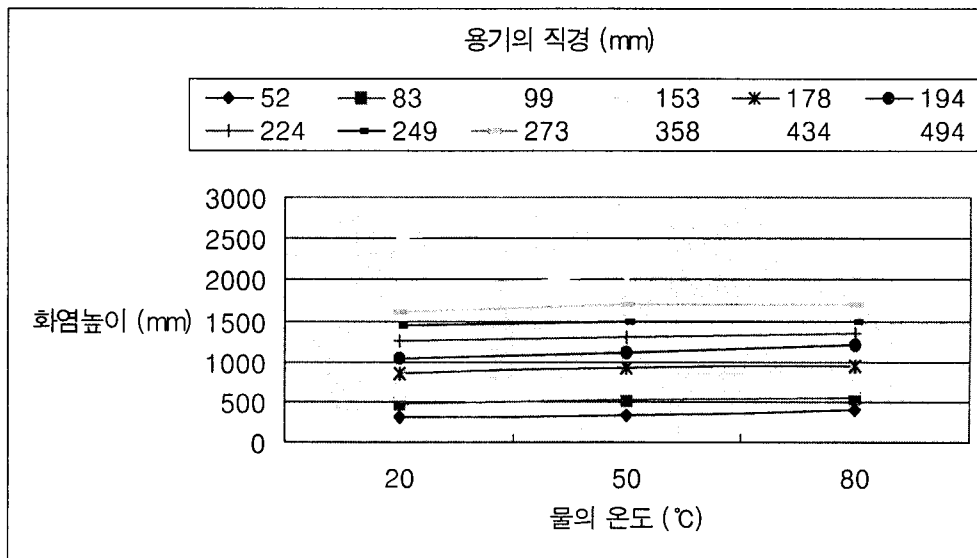


그림 7. 휘발유의 주위온도에 따른 화염높이

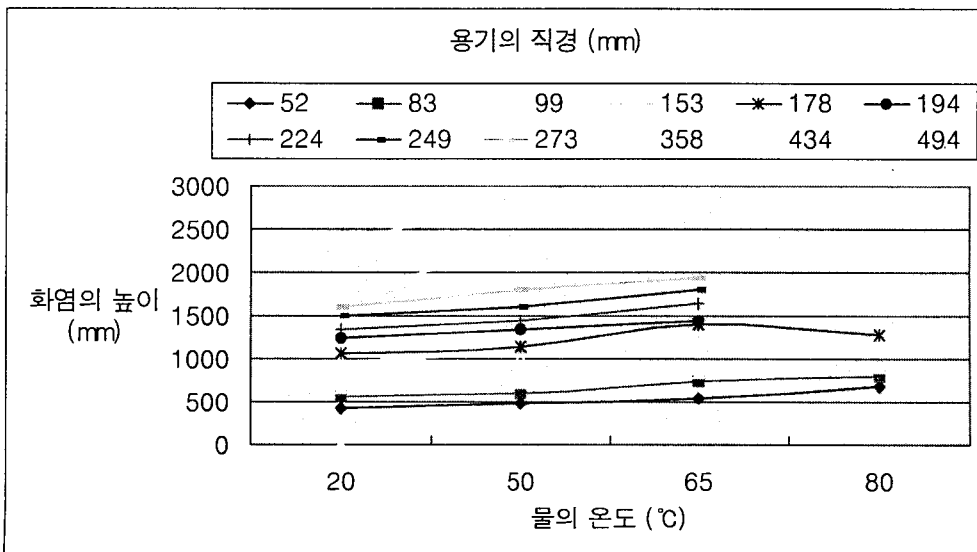


그림 8. 헥산의 주위온도에 따른 화염높이

4. 결론

이 상의 실험결과를 통하여 액체연료의 pool fire에서 실험한 범위내에서는 용기의 직경이 증가할수록 난류확산화염에 의한 연소발열량의 증가로 연소속도가 증가함을 알 수 있으며, 화염의 높이 또한 용기의 직경이 증가할수록 증가하였는데 이것도 연소발열량의 증가가 크게 영향을 미치는 요소임을 알 수 있었다.

한편 액체연료주위의 온도 변화에 따른 연소시간은 감소하였으나 화염이 높이에선 영향을 미치는 정도가 매우 적은 것을 알 수 있었고, 화염높이는 그동안의 연구결과와 같이 연소시 발열량과 용기의 직경에 따라 영향을 받게됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. V. I, Blinov and G. N. Khudyakov, T-1490 a-c, U. S. Army R & D Laboratories, Fort Belvoir (1961)
2. G, Heskestad, F. Safety J., 5, 103 (1983)
3. B.J. McCaffrey, Momentum Diffusion Flame Characteristics and the Effect of water Sprays, NBSIR 86-3442, National Bureau of Standards, Washington (1986)
4. B.J. McCaffrey and D.D. Evans, Very Large Methane Jet Diffusion Flames, 21st Combustion Symposium, Munich (1986)
5. Blinov,V.I., Khudyakov (reviewed by Hottel, H. C.): Fire Research Abstracts Revs., 1, 41 (1959)
6. Akita, K., Yumoto, T.: 10th Symposium (International) on Combustion, p.943, The Combustion Institute (1965)
7. Nakamura, M., Koda, S., Akita K.:19th Symposium (International) on Combustion, p.1395, The Combustion Institute (1982)