

폭발화염의 성장 거동에 관한 연구

오규형, 이성은*

호서대학교 소방학과, 호서대학교 대학원

A Study on the Explosion Flame Growth Behavior

Kyu-hyung Oh, Sung-eun Lee

Dept. of Fire Protection Eng. Hoseo University

1. 서론

가연성 가스를 사용하는 양의 증가와 취급의 기회가 많아지면서 가스의 누출 사고와 누출 후 폭발과 화재에 의한 사고들도 빈번하게 발생하고 있다.

가스의 누출 후 착화에 의한 폭발화염의 성장거동은 가스의 종류 농도 확산정도 및 장애물 등 주위 환경에 따라 그 양상이 다양하며 이러한 성장의 거동은 폭발후 폭발특성의 변화를 가져오며 피해의 정도에도 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 연료로 많이 사용되는 액화석유가스(LPG)와 천연가스를 중심으로 가스의 누출속도, 점화위치, 장애물의 존재 등에 의해 폭발 후 화염의 성장되는 현상을 가시화한 것을 분석하여 어떠한 특성들을 갖는지를 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험 방법

실험장치에 대한 개략도는 Fig. 1과 같으며 가스 주입구 노즐의 크기를 변화시켜 용기 내부의 농도 및 분포를 변화 시키고 장애물을 설치하여 화염의 성장에 미치는 영향들을 살펴보았다. 폭발용기의 크기는 270리터와 33리터 및 20리터의 다양한 용기를 사용하였다. 점화원으로는 10kV 전기 스파크를 사용하였고 고속 카메라는 1초에 500장을 촬영하도록 하였고 또 통상의 비디오카메라로 촬영하여 1초에 30프레임으로 나누는 시스템을 이용하여 분석하였다. 실험 방법은 다른 논문들에 설명된 방법과 유사하며 균일 농도에서 실험할 경우는 용기내부를 진공펌프를 이용하여 진공으로 만든 후 정해진 농도의 가스를 정량하여 주입한 후 공기를 주입하여 균일하게 혼합하였으며, 불균일 농도 실험시에는 가스주입구의 노즐의 크기와 가스 유량을 조절하여 내부의 불균일 정도가 조정하였다.

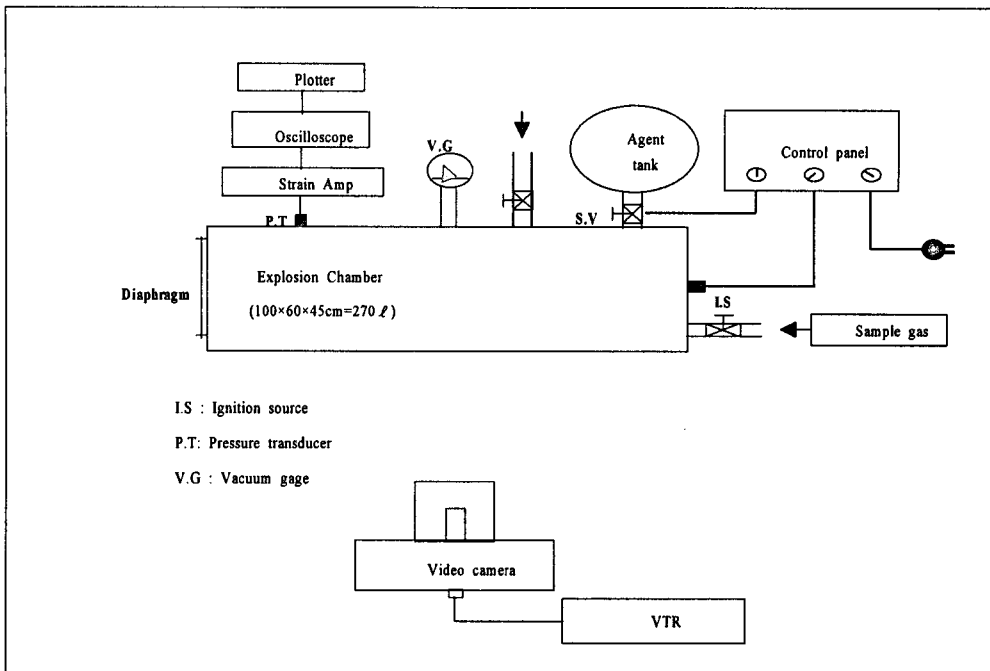


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

3. 결과 및 고찰

3.1 가스의 농도에 따른 폭발화염 성장

실험 결과 가스의 농도가 완전연소 혼합비에 가까울수록 화염의 연소속도가 빨라지며 화염의 셀이 잘 보이지 않는 것을 볼 수 있었고 당량비가 1보다 클수록 연소속도도 낮아지는 한편 화염에 셀의 크기가 증가하는 모습을 볼 수 있었다. 가스의 농도가 당량비보다 낮은 경우에는 연소속도는 역시 낮아지지만 화염내에 셀의 모습은 잘 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 가스의 농도가 당량비보다 높은 경우 불충분한 공기의 양 때문에 화염에서 열분해 되는 탄소입자들에 의한 발광현상 때문인 것으로 보인다.

3.2 가스의 불균일 상태에 따른 폭발화염의 거동

Fig. 2는 불균일 농도상태의 폭발화염의 성장과 전파과정을 보여주고 있으며 Fig. 3은 균일 농도의 폭발화염의 성장과 전파 거동을 보여주고 있다.

Fig. 2의 불균일 농도상태에서의 화염은 성장 전파되면서 화염의 빛에 밝은 곳과 어두운 곳이 주름 모양으로 나타나는 현상을 볼 수 있는데 이러한 현상은 가스의 농도가 당량농도보다 높은 경우의 화염에 셀이 존재하는 것과 유사한 현상이며 폭발화염의 전파에 의한 화염의 요동현상으로 압력파에 의한 혼합의 상태가 영향을 받는 것으로 보인다. Fig. 3의 균일농도에서의 화염성장은 3.1에서 설명한 것처럼 농도에 따라 차이를 나타내며 불

균일에서와 같은 화염의 주기적 요동 현상을 나타내지는 않았다.

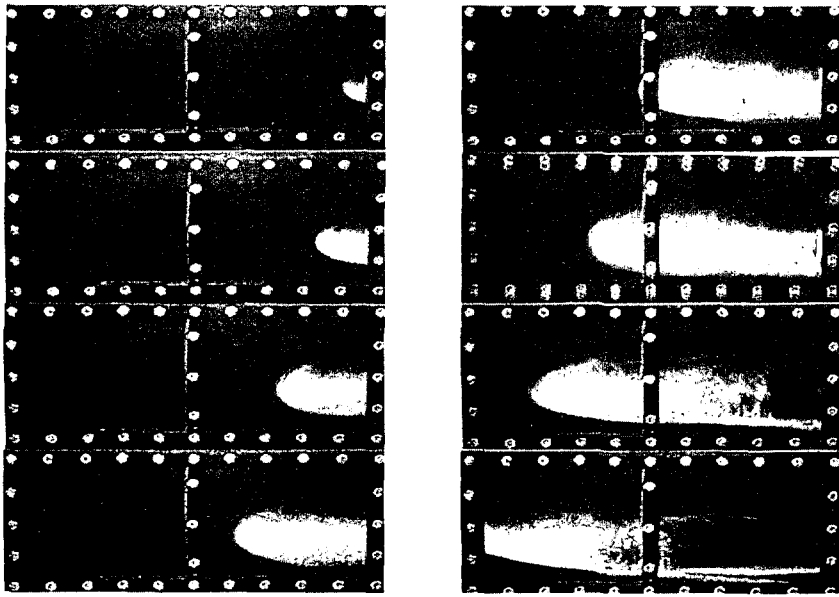
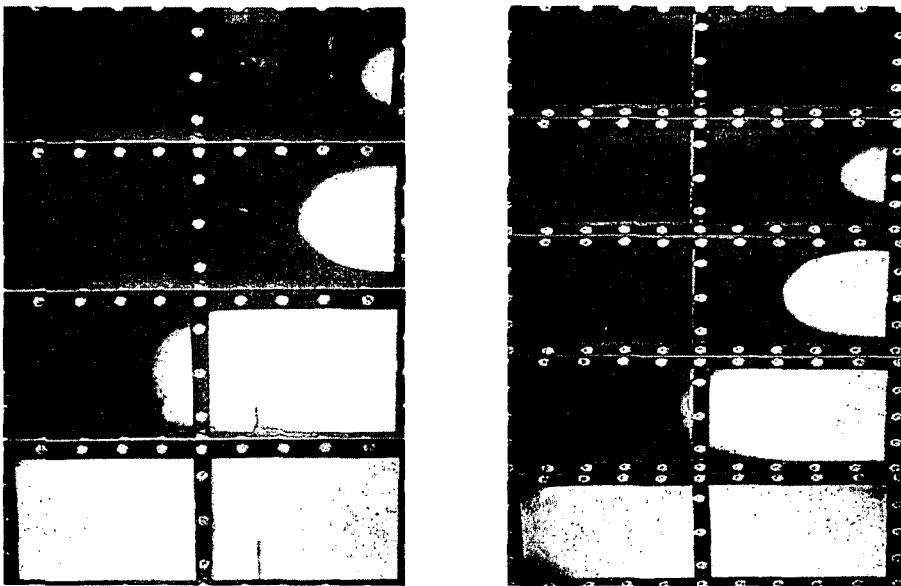


Fig. 2. 불균일 농도상태의 폭발화염의 성장
(촬영속도:30fps, LPG 5% 상당)



a) LPG 4%

b) LPG 5%

Fig. 3. 균일 농도의 폭발화염 성장
(촬영속도:30fps)

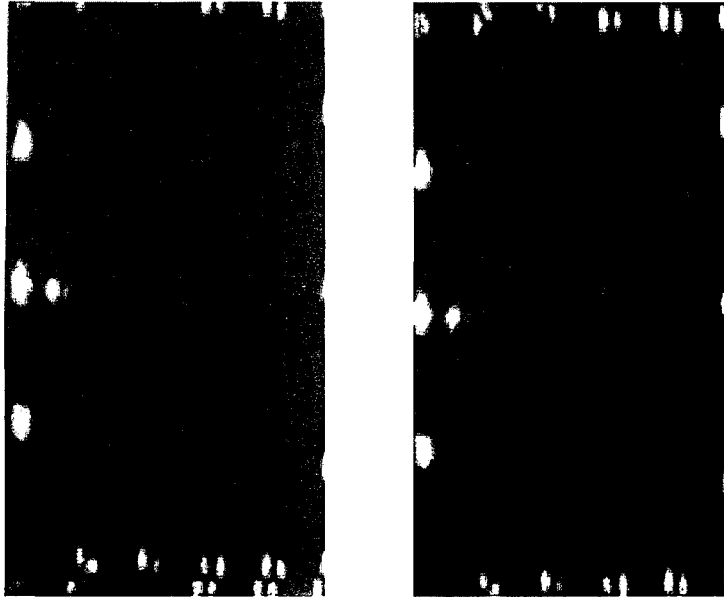


Fig. 4. 장애물 존재시 폭발화염 성장거동
(LPG 5%, 촬영속도 500 fps, 108ms)

3.3 장애물 존재시 폭발화염의 성장

Fig. 4는 장애물 존재시 폭발화염 성장거동을 보여주고 있으며 장애물 후면에서의 와류현상에 의해 화염의 성장(전파) 속도가 일시적으로 감소하지만 다시 증가하는 모습을 볼 수 있었다. 또한 천연 가스의 실험에서는 화염이 위쪽으로 성장하는 현상을 나타내었는데 이는 천연가스가 공기보다 가볍기 때문인 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구는 화염성장 거동에 관하여 체계적인 연구라기보다는 기존에 가스폭발을 연구 하면서 얻어진 자료를 분석한 것으로 좀더 세밀한 성장거동을 위해서는 보다 철저하게 계획된 연구가 필요할 것으로 생각된다. 그동안의 연구를 통해서 폭발화염의 성장 거동은 가스의 종류에 따른 물성과 농도 및 장애물 조건 등에 따라 다르며 이러한 성장 거동은 폭발에 의한 2차적인 피해에 영향을 미칠것으로 보인다. 연구결과를 정리하여 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다

- 불균일 농도 시에 폭발화염은 폭발화염의 열부력 및 압력파에 의한 혼합이 이루어지면서 주기성을 갖는 성장을 하였다.
- 균일 농도 시에는 완전연소농도 이하에서는 화염성장이 순조롭게 이루어지나, 당량비가 1보다 높을 수록 화염의 성장이 불규칙하게 이루어짐을 나타내었다.
- 장애물 존재 시에는 장애물에 의해 난류화염으로 바뀌는 시점에서 성장이 가속되었다.

참고문헌

1. I. O. Moen, A. Sulmistras, B. H. Hjertager, and J. R. B . : Turbulent flame propagation and transition to detonation in lage fuel-air clouds, 21st Int. Symp. on Combustion pp1617-1627, The Combustion Institute, 1986.
2. R. A. Strehlow, Combustion fundamentals, McGraw-Hill Book CO. New York pp418-419, 1985.
3. Kyu hyung Oh, : A study on the Explosion characteristics and leakage of gas at the indoor, Research Report KGS 98-149, Korea Gas Safety Cooperation, 1999.
4. H. Matsui, T. Matsuda, S. Yagy, : Studies of explosive characteristics of hydrogen, RIIS-RR-18-1 Research Institute of Industrial Safety, 1969.
5. Kyu hyung Oh, "A study on the LPG Explosion characteristics of Non-uniform Concentration", J. of KIFSE. Vol.17, No. 4, 2003
6. Kyu hyung Oh, Sung-eun Lee, "A study on the Transition of Explosion to Fire of LPG and It's Prevention ", J. of KIFSE. Vol.12, No. 2, 2004