

가스폭발의 화재전이 메카니즘에 관한 연구

이성은, 김종복, 오규형*
호서대학교 대학원 안전공학과, *호서대학교 소방학과

Study on the Mechanism of Explosion to Fire Transition

Sung eun Lee, Jong bok Kim, Kyu hyung Oh
Dept. of Safety Eng. Graduate School of Hoseo Univ.
Dept. of Fire protection Eng. Hoseo University

1. 서론

액화석유가스(LPG Liquefied Petroleum Gas)는 가정용연료 및 산업용연료로 많이 사용되고 있으며, 그 사용량도 매년 증가추세에 있다. 이러한 것은 산업발달과 함께 편리한 문화생활 및 지구환경의 오염을 줄이기 위한 하나의 대책으로 추진되어 왔기 때문이다.

그러나 이들 가연성 가스의 사용량이 증가할수록 이에 따른 가스 사고도 증가하여 왔다. 특히 가스 사고의 절반 가량이 폭발 및 화재사고로 이어지고 있으며, 대규모의 인명 및 재산의 손실을 초래하고 있으며 사회적인 문제가 되고 있다. 가스폭발사고가 발생하는 경우 주위에 있는 가연물의 특성에 따라 폭발 후 화재로 전이되는 경우가 많았다. 특히 LPG의 경우 가스가 누출되면 공기보다 비중이 크기 때문에 누출된 곳에 장시간 체류하게 되고 이 동안에 점화원이 존재하면 폭발사고로 이어지며 천연가스(LNG)에 비하여 발열량이 높고, 복사열의 강도가 크기 때문에 폭발후 화재로 전이되는 경우가 많았다.

따라서 본 연구에서는 LPG의 농도에 따른 화재로의 전이 현상과 개구부의 크기에 따른 화재로의 전이현상 등을 규명하고자 하였다. 또한 본 연구는 가스폭발로부터 화재로의 전이에 대한 메카니즘을 해석하여 가스폭발에 의해 화재로 전이되는 것을 방지하기 위한 소화시스템을 개발하는 기초자료를 도출하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치의 개략도는 다음 Fig1.과 같으며 실험에 사용된 폭발통의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 100cm, 60cm, 45cm로 부피는 270 ℓ이다. 폭발통의 전면은 폭발화염과 화재로의 전이 과정을 가시화하기 위하여 투명한 폴리카보네이트로 하였으며, 점화원 반대면은 개구부로 폭발통 부피에 대한 개구부의 비가 1/500cm ~ 1/100cm까지 5종류가 되도록 하였다. 폭발 압력은 strain gauge 형을 이용하여 측정하였으며 폭발화염 가시화는 30fps의 속도가 되도록 촬영하여 분석하였으며 점화원은 10kv전기 방전불꽃을 사용하였다. 실험방법은 다른 가스폭발 실험의

경우와 마찬가지로 용기 부피를 진공으로 만든 후 일정량의 가스를 주입한 후 공기를 넣으면 용기내부가 균일한 농도가 되게 하였다. 가스를 혼합한 후 점화원 반대쪽을 종이로 된 diaphragm을 부착하여 폭발압력에 의해 전면의 관측창이 파괴되는 것을 방지하였다. 혼합가스는 10kv의 전기 방전불꽃을 이용하였다.

시료로 사용되는 가스는 일반적으로 가정용 연료로 사용되는 LPG로 propane이 약 97% 이상으로 공기와 혼합시 당량농도는 약 4.1%가 된다.

본 실험에서는 LPG의 농도를 3%, 4.5%, 5%, 6%로 하였다. 가연물로는 신문용지, 골판지, 순수 목면 및 폴리에스테르가 40 : 60인 천을 사용하였고 크기는 가로, 세로가 각각 30cm×20cm로 하였다.

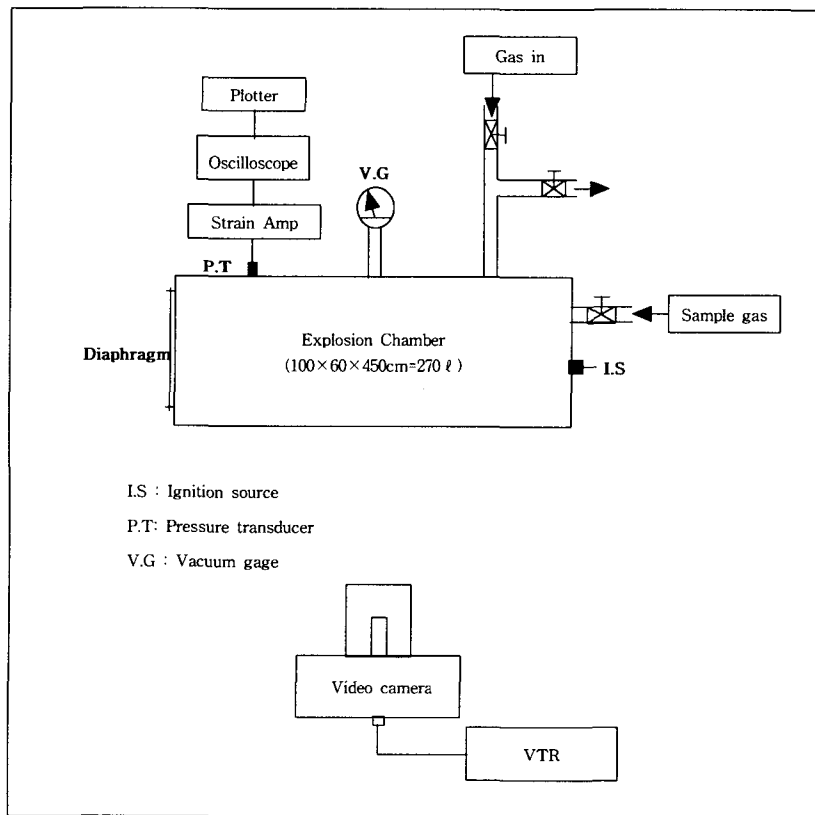


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

3. 실험 결과 및 고찰

다음 Fig2.는 용기내에 신문용지를 넣었을 때 LPG농도 3%에서 가스 폭발로부터 화재로의 전이현상을 촬영한 사진으로 가스 폭발화염이 통과한 직후 신문용지에 화염이 발생하는 현상을 보여주고 있다. Fig3은 폭발통의 개구부의 크기가 27cm×20cm일 때 파열판을 종이로 한 경우 폭발화염의 전파속도로 당량비에 가

가운 농도에서 화염전파속도가 가장 빠르고, 당량비에서 멀어질수록 화염전파속도가 낮아지는 일반적인 가스폭발 현상과 같은 경향을 보여주고 있으며 Fig4.는 폭발압력으로 밀폐용기에서의 폭발압력보다 작은 것은 폭발통에 개구부가 설치된 vented explosion이기 때문이며 이 경우도 당량비에 가까운 4.5%에서 압력이 최대가 되고, 당량비에서 멀어질수록 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 또한 Fig5.는 LPG 농도 4.5%일 때 개구부의 크기(파열면의 크기)에 따른 용기내부의 폭발 압력으로 개구부가 작을수록 용기내부의 폭발압력은 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

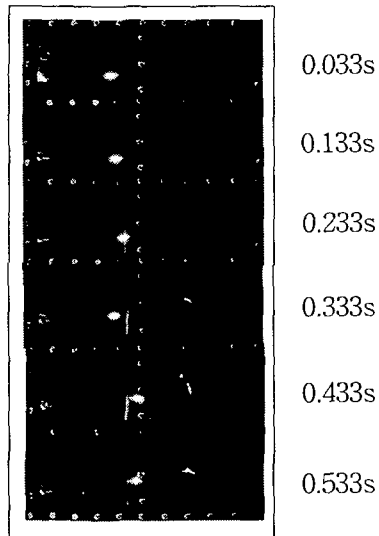


Fig 2. LPG 3%에서 가스폭발로부터 화재로의 전이현상 사진

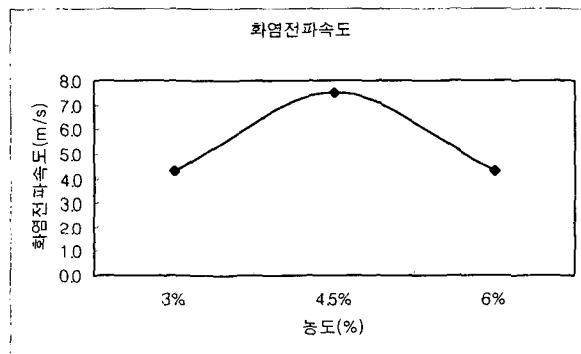


Fig 3. LPG-공기 혼합기의 농도에 따른 화염전파속도(개구부 27*20cm²)

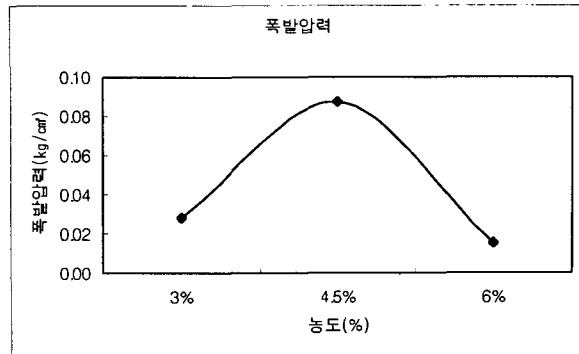


Fig 4. LPG-공기 혼합기 농도에 따른 폭발압력(개구부27*20cm)

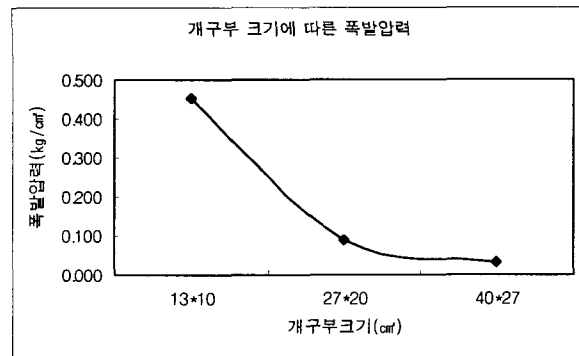


Fig 5. 개구부 크기에 따른 용기내 폭발화염(LPG농도 4.5%)

Fig6은 개구부키기가 27cm×20cm인 경우 가스의 농도에 따른 착화지연 시간을 보여주고 있다. 착화지연시간은 혼합가스의 착화에서부터 용기내 가연물 시료의 착화까지의 시간을 의미하는 것으로 농도가 낮은 쪽이 높은 쪽보다 짧은 것을 나타내고 있는데 이는 농도가 당량비보다 낮은 경우는 폭발화염에 의해 가연물의 열분해 가스가 착화되는 것이며 농도가 당량비 보다 높은 경우는 용기내에 이미 연료의 농도가 높기 때문에 열분해된 가스가 점화되지 못하고 폭발가스가 용기 밖으로 방출된후 부압에 의해 외부공기가 다시 용기 내부로 들어 올 때 산소의 공급과 더불어 연소가 시작되는 것으로 판단된다. Fig7은 개구부의 크기에 따른 착화지연시간으로 개구부의 크기에 따라 일정한 경향을 나타내지 않고 있는데 이는 Fig6과 관련하여 볼 때 개구부가 작을수록 내부압력이 크기 때문에 연소가스의 방출 속도가 빠르고 착화지연시간이 짧아질 것으로 예측하였으나 개구부가 작은 경우 압력이 높아 개구부에서의 방출 유속은 크지만 전체가 빠져나가는 데는 시간이 많이 소요되기 때문에 외부공기의 유입시간도 늦어져 착화지연 시간이 길어졌으며, 개구부의 크기가 큰 경우는 용기내부의 압력이 낮기 때문에 개구부에서의 방출 유속이 낮아서 연소가스의 방출에 많은 시간이 소요되어 외부공기의 유입 시간이 늦어져 착화지연시간이 길어진 것으로 생각된다.

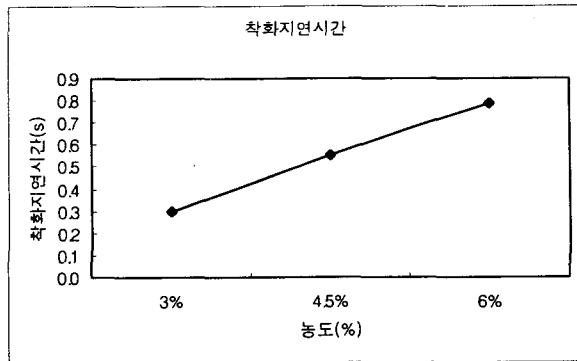


Fig. 6. LPG-공기 혼합기 농도에 따른 착화지연시간(개구부 27*20cm)

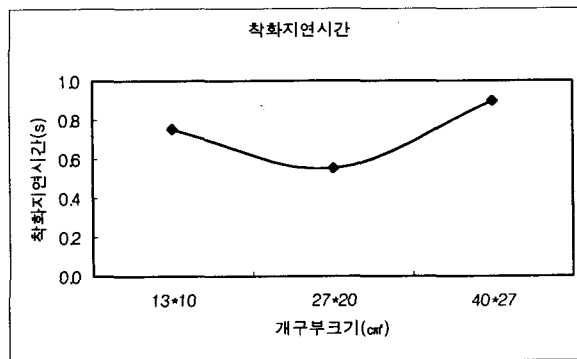


Fig 7. 개구부 크기에 따른 착화지연시간 (LPG농도 4.5%)

4. 결론

가연성 가스의 폭발에 따른 가연물로의 화재 전이현상을 LPG를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 가스폭발후 화재로의 전이 현상은 혼합가스의 농도에 따라 다른 양상을 볼 수 있는데 당량비 보다 낮은 경우는 폭발화염에 의한 열분해와 함께 착화되었으며 당량비보다 높은 경우는 산소의 부족으로 폭발화염과 연소가스 분출 후 재유입되는 공기의 공급과 함께 착화하였다.
2. 당량비보다 높은 농도의 혼합가스 폭발인 경우 착화지연시간은 연소가스의 방출후 용기내부로 외부공기가 유입되는 시간과 관계 있으며 외부공기의 유입이 빠를수록 착화지연시간이 짧아짐을 알 수 있었다.
3. 개구부의 크기가 작을수록 용기내의 폭발압력은 증가하여 개구부에서의 연소가스 방출속도는 크나 방출유량이 작아 시간이 많이 소요되므로 착화지연시간이 길어졌으며 개구부가 클 경우는 용기내부압력이 낮기 때문에 연소가스 방출속도가 느려 외부공기 유입속도가 늦어져 점화지연시간이 증가하였다.

Reference

1. 김영대 역 “가스폭발 예방기술”, 도서출판 세화.
2. 오규형 외, “가연성가스의 폭발특성에 관한 연구.”, 한국산업안전 학회지 Vol.7 No.3, 1992.
3. T. Hirano 외, “An Experimental Study of Gas Small Scale Model”, Bulletin of Japan Association for Fire Sci. and Eng. Vol.36 No. 1. 2, 1987.
4. 安全工學協會, “爆發”, 海文堂, 1983
5. 綜合安全工學研究所. “火災 爆發 危險性的 測定法”. 日刊工業新聞社, 1982.
6. J.J Ohlemiller 외, “13th Symp. on Comb., p1087, 1970, The Comb. Inst.
7. 安全工學協會, “火災”, 海文堂, 1983
8. 오규형, 김홍, 조영도, 김상섭, “실내 가스 폭발 현상 및 실내·외 영향 분석”, 호서대학교 연구보고서, (1998).
9. 오규형, 김홍, 조영도, 김상섭, “실내가스 누출 및 폭발특성에 관한 연구”, 호서대학교 연구 보고서, (1999).