Propylene의 화염전파 현상과 폭발특성에 관한 연구

김태근, *최재욱, 김원주, **민철웅
부경대학교 대학원, *부경대학교 안전공학부, 롯데건설 안전·환경팀

A Study on the Explosion Risk and Fire Transmission Situation of Propylene Gas

Kim-Tae-Geun, *Choi-Jae-Wook, Kim-Weon-Joo, Min-Chul-Woong
*Pukyong National University, *Deparement of Safety Engineering*
***LOTTE Construction Depart of Safety Management*

1. 서론

에너지원으로 연료를 연소시켜서 발생하는 열에너지를 가정생활이나 산업활동에 이용하고 있으며, 산업혁명 당시 사용된 화석연료는 연소 시 황산화물이나 질소산화물 등 유독한 가스를 다량으로 배출하여 대기오염을 가속화 시켰다. 그 후 기체연료가 개발되어 사용되어짐에 따라 화석연료의 연소공해물질은 줄어들게 되었으며, 특히 도시가스가 Naphtha를 분해하여 제조하는 부탄형 중심에서 청정연료인 천연가스(LNG)로 교체됨에 따라 화재·폭발의 위험성이 적은 이점 때문에 그 수요가 급증하고 있다. [1),2)]

그러나 고체연료나 액체연료 보다 취급 시 각별한 주의를 기울여야 하는 기체연료는 2006년 원인별 사고현황을 분석하면 취급의 부주의로 인한 사고가 전체 가스사고의 42%, 시설미비가 30.4%, 공급자취급부주의가 7.1%, 제품불량이 6%를 차지하고 있으며, 이들 사고는 인명피해와 함께 많은 재산 손실을 초래하였다. 가스폭발의 경우 폭발상태는 압력에너지의 축적상태에 따라 크게 달라진다. 그러나 건물의 내부 등 밀폐 공간 내에서의 폭발은 압력이 크게 상승하고, 밀폐공간을 구성하는 벽면 등에 강력한 충격파를 주어 큰 피해를 발생시키며, 축적된 압력에너지가 압력파로서 외부로 방출됨으로써 인접한 건물, 설비 및 사람들에게 큰 피해를 준다. 개방공간에서보다 밀폐공간에서 폭발이 발생할 경우 폭발압력에 의한 파괴효과는 더욱 증가한다. [3)]

폭발 위험성을 평가하기 위한 주요 특성으로 폭발하한계(lower explosive limit), 최대폭발압력(maximum explosion pressure), 폭발압력상승속도(rate of explosion pressure rise) 등이 있으며, 이러한 가스폭발의 연구사례로 국내에서는 오 등[4)]이 가연성 가스의 폭발 위험에 관한 연구를 하였으며, 최 등[5)~7)]이 도시가스에 대한 폭발 위험성에 관해 평가한 바 있으나, 국내에서 공급·사용되고 있는 Prorylene의 폭발에 관한 연구 자료는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 액화석유가스로 연료로 사용되고 있고, 또 중합가솔린의 제조원료, 석유화학원료로서 이소프로필알코올 및 아세톤·글리세롤의 제조 등 매우 광범위하게 사용되고 있는 Propylene을 시료로 각각 최대폭발압력, 최대폭발압력상승속도, 폭발범위 및 폭발한계산소농도를 측정하였다. 또한 초고속카메라 측정법을 이용하여 폭발현상 및 폭발속도를 구하여, 이들로부터 화재·폭발 사고의 예방을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치

가스폭발한계를 측정하는 장치로써는 전파법과 버너법이 있으며, 이 중에서 전파법은 원통형 또는 구형의 용기 내에 혼합가스를 넣고 한쪽에서 점화하여 화염이 전체에 확산되는 한계조성을 결정하는 방법이고, 버너법은 버너위에 안정된 화염이 가능한 혼합가스 조성의 한계치를 결정하는 방법이다.[8),9)]

본 연구에 사용한 실험장치는 전파법을 개량한 장치로써, 주요 구성부로는 폭발통부, 진공부, 에너지 공급부, 폭발압력 측정·저장부로 구성되어 있다. 폭발통부는 폭발통과 압력측정

센서로 구성되어 있으며, 폭발통은 원통형으로 외경이 148mm, 지름이 105.4mm로서 용기의 체적이 1.1ℓ이며, 용기의 앞면은 직경 32mm의 강화유리를 부착하여 용기내부의 폭발 거동을 육안으로 확인할 수 있고, 불완전연소 시 발생하는 타르 등의 이물질을 제거할 수 있도록 개폐가 가능한 구조로 하였다. 그 외의 부분은 두께 21.3mm의 Stainless steel로 제작하였다. 용기에는 가스주입 시 농도를 확인할 수 있도록 디지털 압력계(PG-200-102G, Copal Electronics CO. LTD)를 부착하였으며, 폭발시에 압력측정을 위해 용기 상부에 0~30 kgf/㎠까지 측정할 수 있는 압력센서(PE-30KF, Kyowa Electronics Co. LTD)를 부착하였다. 폭발통 양측부에는 전기에너지를 공급할 수 있도록 점화전극을 용기의 중앙부에 설치하였다.

3. 실험결과

가연성 가스와 지연성 가스의 혼합 상태에서 점화원이 가해진다고 해서 항상 폭발이 일어나지는 않으나, 이때 가연성 가스가 폭발범위 내에 있을 경우에 폭발이 일어난다. 이러한 폭발범위의 정확한 측정은 가스폭발사고 방지대책의 가장 기본적이고 중요한 사항이다. Fig. 1은 Prorylene과 산소농도에 변화에 따른 폭발 특성치를 나타낸 것으로, 산소농도 21%에서 압력이 1.0, 1.5, 2.0bar로 변화시켰을 때 폭발한계는 2.4~11.6, 2.3~12.3 및 2.2~12.8%로 넓어진다는 것을 알 수 있었다. 또한 산소농도가 감소함에 따라 하한계는 거의 변화가 없으나 상한계는 급격히 감소했으며, 연소에 필요한 최소산소농도(minimum oxygen concentration :M.O.C)는 1bar에서 10.9%, 1.5bar에서 10.5%, 2bar에서 10.3%를 구하였다. 따라서 압력이 증가함에 따라 M.O.C가 낮아지므로 가압상태에서는 산소농도에 대한 관리가 필요하다.

폭발압력은 가연성 물질을 다루는 공정에서 매우 중요한 특성치이다. 가연물의 최대폭발압력에 따라 용기의 두께가 달라지고, 기타 안전장치도 다르기 때문이다. Fig. 2는 산소농도 21%, 시료농도 5%에서 초기압력을 변화시켜 최대폭발압력을 나타낸 것으로서, 초기압력이 1.0, 1.5, 2.0bar로 변화함에 따라 최대폭발압력은 7.41, 11.47, 및 14.52kg/cm^{2}로 증가하였다. 이는 일반적으로 밀폐계에서 폭발이 일어날 때 초기압력, 기체의 몰수변화, 온도의 변화 등에 의존하기 때문으로 사료된다.

Fig. 3은 초기압력의 변화에 따른 폭발압력상승속도를 나타낸 것으로써 초기압력이 1.0, 1.5, 2.0bar로 증가함에 따라 폭발압력상승속도는 306.88, 598.46, 및 794.78kg/cm^2/s로 증가함을 알 수 있었다. 이는 초기압력이 증가할수록 용기 내 분자간의 충돌횟수가 증가하기 때문에 폭발압력상승속도가 상승하는 것으로 사료된다. 따라서 반응로의 초기압력이 높은 사업장에서는 반응기의 제작을 위한 설계 시, 재료 및 반응기의 두께 선정에 유의하여야 한다.

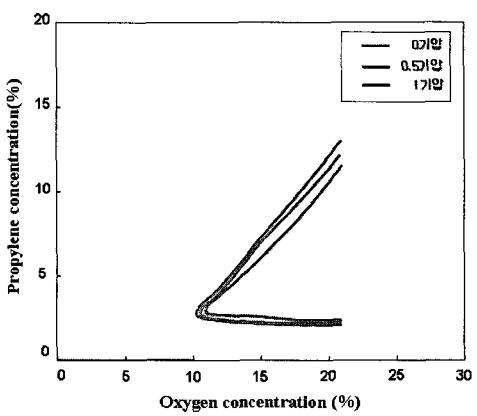

Fig. 1 Relation between oxygen concentration and Propylene concentration

Photo 1은 초기압력이 1.0bar이고, LPG의 농도가 5%일 경우에 있어서 폭발현상을 촬영한

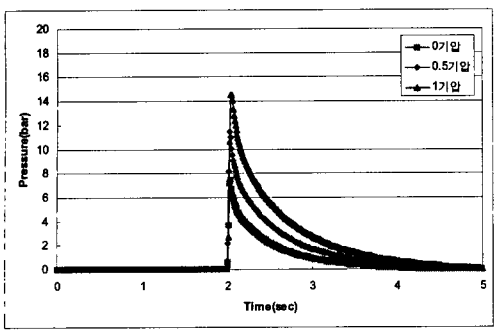

Fig. 2 Explosion pressure behavior of Propylene gas.

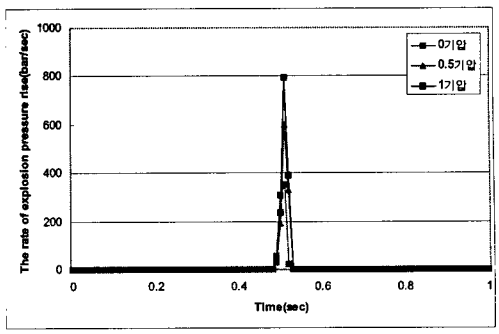

Fig. 3 Explosion pressure rising velocity rate of Propylene gas.

것으로써 최대 화염도달시간은 70,500㎲이후 점차 화염이 소멸되는 것으로 나타났다. Photo 2는 압력변화에 대한 폭발 전의 기체의 유동상태를 조사한 결과로써 압력이 증가함에 따라 기체의 유동이 증가하였으며, 전극의 중심에서 용기 표면까지의 유동전파속도는 1.0bar의 압력에서 28,000,㎲로 빠르게 진행됨을 알 수 있었다.

(t:㎲)

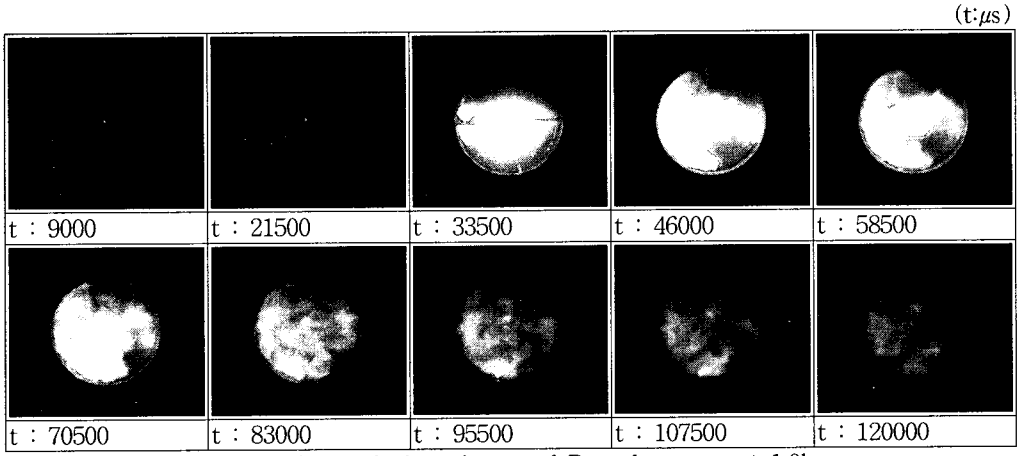

Photo 1 The explosion picture of Propylene gas at 1.0bar.

(t:㎲, d:mm, S:m/s)

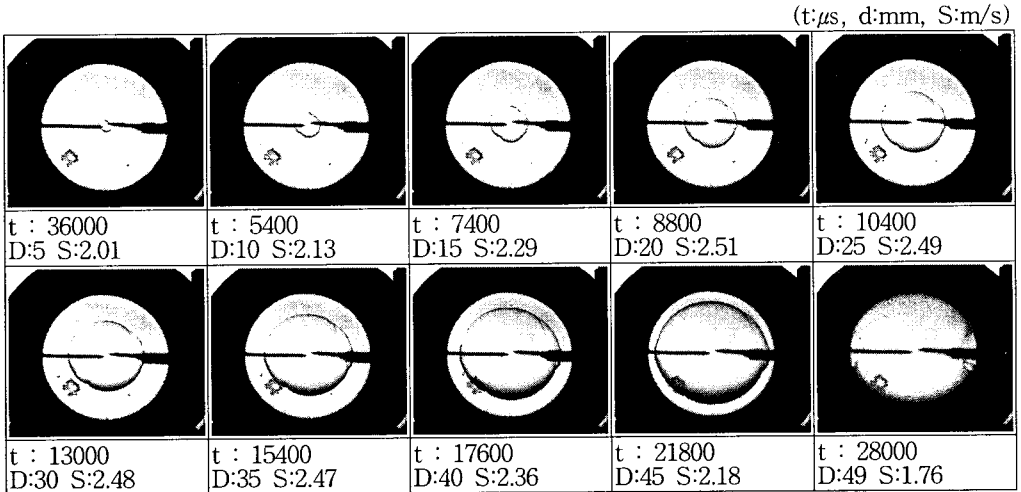

Photo 2 The explosion picture of Propylene gas at 1.0bar(Shadow).

4. 결론

여러 가지 용도로 사용되는 Propylene의 폭발특성을 고찰하기 위하여 초기압력과 산소농도를 변화시키면서 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 산소농도 21%에서 초기압력을 1.0, 1.5, 2.0bar로 변화시켰을 경우 폭발범위는 각각 2.4~11.6, 2.3~12.3, 2.2~12.8%를 구하였으며, 압력이 증가함에 따라 폭발범위가 넓어지므로 압력변화에 대한 주의가 요망된다.
2) 산소농도가 감소함에 따라 폭발하한은 거의 변화가 없으나, 폭발상한은 급격하게 감소하였으며, M.O.C는 초기압력 1.0bar에서 10.9%, 1.5bar에서 10.5%, 2bar에서 10.3%를 구하였으며, 압력의 증가에 대한 M.O.C가 낮아지므로 산소농도에 대한 관리가 필요하다.
3) LPG의 최대폭발압력은 초기압력이 1.0, 1.5, 2.0bar로 변화함에 따라 7.4, 11.4, 14.5kg/cm^{2}로 나타났다.
4) 최대폭발압력상승속도는 초기압력이 1.0, 1.5, 2.0bar에서 306.88, 598.46, 794.78kg/cm^2/s를 구하였으며, 급격한 압력상승으로 용기의 설계 시에 재료 등의 선정이 필요하다.
5) Propylene의 폭발현상을 촬영한 결과 70,500μs에서 최대폭발이 일어나는 것을 알 수 있었다.
6) Propylene의 압력변화에 대한 폭발 전의 기체의 유동을 조사한 결과, 전파시간은 1.0bar의 압력에서 28,000μs로 빠르게 진행됨을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 小林清志, 荒木信幸, 牧野敎, 燃燒工學, 理工學社, pp.1-24, 1988.
2. 대한민국, "청정연료등의 사용에 관한 고시", 환경부고시 99-100호.
3 한국가스안전공사, http://www.kgs.or.kr, 가스통계.
4. 오규형, 김한석, 이춘하, "可燃性 가스의 爆發特性에 관한 硏究", 한국산업안전학회지, Vol.7, No.3, pp.66~72, 1992.
5. 최재욱, 목연수, 박승호, "도시가스의 폭발 특성에 관한 연구", 한국산업안전학회지, Vol.16, No.4, pp.109~114, 2001.
6. 최재욱, 민철웅, 임우섭, 이병철, 김동규, "표면열처리용 변성가스의 위험성에 관한 연구", 한국산업안전학회지, Vol.9, No.3, pp.9~14, 2005.
7. 최재욱, 이인식, 박성태, "산소농도와 압력변화에 따른 도시가스의 폭발특성", 한국가스학회지, Vol.9, No.1, pp.38~43, 2005.
8. 安全工學協會, 防爆工學, 海文堂, pp.39~40, 1983.
9. 近藤重雄, 浦野洋吉, 岩阪雅二, 堀口貞茲, 德僑和明, "AH_n水素化物ガスの爆發下限界溫度と結合解離エネルギー", 安全工學, Vol.25, No.5, pp.258~264, 1986.