

압력 변화에 따른 도시가스의 폭발특성에 관한 연구

이인식 · 최재욱 · 목연수 · 전세호 · 박성태* · 정두균**

부경대학교 안전공학과 · *경동도시가스 · **한국소방안전협회 연구실

1. 서 론

가스라는 기체연료는 중세기를 전후해서 사용했던 석탄과 같은 화석연료에 비해 황산화물이나 질소산화물 등 유독한 가스의 발생이 매우 적은 편이며, 취급에만 주의한다면 매우 편리하고 경제적인 에너지원으로 취급되고 있다. 그 중에서도 도시가스는 단위 질량당 발열량이 크고 가격이 저렴하기 때문에 사용량이 매년 증가하는 추세를 나타내고 있다.¹⁾ 특히 도시가스가 Naphtha를 분해하여 제조하는 부탄형 중심에서 청정연료인 천연가스(LNG)로 교체됨에 따라 화재·폭발의 위험성이 적어짐으로써 수요가 급증하고 있다. 이런 이유로 국내에서는 신도시나 대단위 아파트 건설시에 도시가스를 공급할 수 있는 설비를 갖추도록 장려하고 있다.²⁾ 그러나 고체연료나 액체연료보다 취급시 각별한 주의를 기울여야 하는 기체연료는 사용량의 증가와 함께 사고율 또한 증가하고 있으며, 최근 한국가스안전공사에서 발표한 가스별 사고 추이에 대한 5년간의 통계자료에 따르면 LP가스와 다른 고압가스에 비해 도시가스의 사고율이 증가세를 보이고 있는 것으로 나타내고 있으며, 가스사고의 발생시 엄청난 인명피해와 함께 많은 재산 손실을 초래하였다.³⁾ 폭발 위험성을 평가하기 위한 주요 특성으로서는 폭발하한계(lower explosive limit), 최대폭발압력(maximum explosion pressure), 폭발압력상승속도(rate of explosion pressure rise) 등이 있으며, 이러한 가스폭발의 연구사례로는 Kakutkina 등⁴⁾의 밀폐용기의 가스폭발에 관한 평가방법과 Haneda 등⁵⁾의 고전압 영역에 대한 메탄의 점화한계에 관한 연구, 최재욱 등⁶⁾의 도시가스의 폭발특성에 관한 연구가 있으나 초기압력 변화에 따른 연구자료는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 산업현장, 음식점 및 가정에서 널리 사용되고 있는 도시가스의 폭발특성을 파악하기 위하여 초기압력 변화에 따른 도시가스의 폭발특성치를 구하고 폭발시 압력에 대한 위험성인 폭발압력 및 폭발압력상승속도 등을 평가하여 가스누출에 의한 화재·폭발사고의 예방을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험시료

본 실험에서 사용된 도시가스는 (주)경동도시가스에서 채취한 제품을 사용하였으며, 그 성분은 Table 1. 에 나타내었다.

Table 1. The composition of city gas

Component	Concentration	Component	Concentration
Methane(CH ₄)	90.277%	i-Butane(i-C ₄ H ₁₀)	0.476%
Ethane(C ₂ H ₆)	6.203%	Nitrogen(N ₂)	0.159%
Propane(C ₃ H ₈)	2.315%	I-Octane(i-C ₅ H ₁₂)	0.016%
n-Butane(n-C ₄ H ₁₀)	0.545%	n-Octane(n-C ₅ H ₁₂)	0.005%

2-2. 실험장치

가스폭발한계를 측정하는 장치로서는 전파법과 버너법이 있다. 이 중에서 전파법은 원통형 또는 구형의 용기내에 혼합가스를 넣고 한쪽에서 점화하여 화염이 전체에 확산되는 한계조성을 결정하는 방법이고, 버너법은 버너위에 안정된 화염이 가능한 혼합가스 조성의 한계치를 결정하는 방법이다.⁷⁾

본 연구에 사용한 실험장치는 전파법을 개량한 장치로써 그림 1과 같으며, 주요 구성도는 가스혼합탱크, 폭발통부, 에너지 공급부, 폭발압력 측정장치 및 진공펌프 등으로 구성되어 있다.

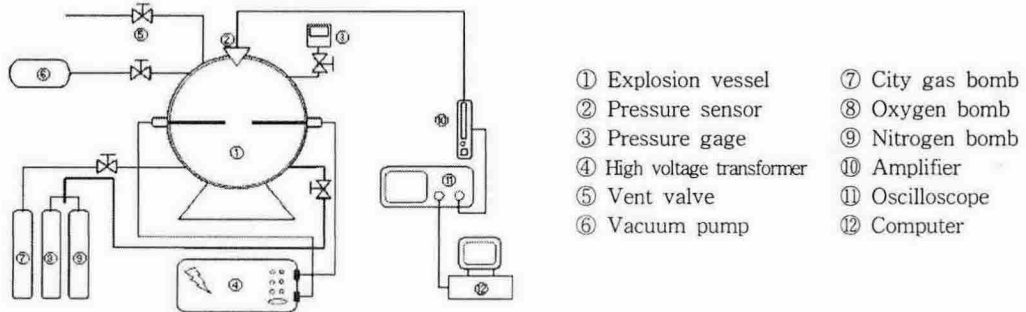


그림 1. 가스 폭발 실험 장치

2-3. 실험방법

가스 폭발의 경우 온도와 습도에 따라서 폭발의 상태가 다르므로⁸⁾ 실험의 재현성을 좋게 하기 위하여 온도 20±2℃, 습도 50±5%의 항온항습실에서 실험을 행하였다. 가스의 농도 변화에 대한 실험을 행하기 위한 가스혼합조에 주입하는 산소, 질소는 순도 99%의 것을 사용하였으며, 실험은 다음의 순서에 의해 진행하였다.

- (1) 가스혼합탱크 내부를 진공펌프를 사용하여 압력계의 눈금이 -1.000 kgf/cm²까지 진공으로 만든다.
- (2) 기체 혼합물의 상태방정식으로 계산된 압력의 수치만큼 각각의 가스를 주입한다.
- (3) 점화플러그에 전원을 연결한다.
- (4) 점화스위치를 ON시켜 폭발유무를 관찰한다.
- (5) 폭발시 오실로스코프상에 나타난 압력파형과 전류치를 기록한다.

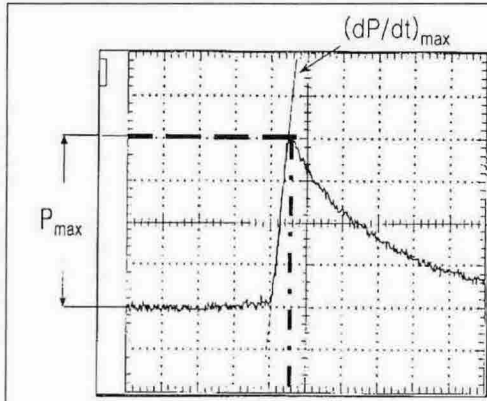


그림 2. 압력의 영향 평가를 위한 파형

도시가스 폭발하한과 상한은 같은 농도에서 3회이상 실험하여 1회라도 폭발할 때를 폭발로 판정하였으며, 최소·최대농도를 폭발하한계와 상한계로 나타내었다. 또한, 그림 2에는 폭발후 폭발통 내부의 압력 변화를 나타낸 것으로 이 파형으로부터 폭발압력과 폭발압력상승속도를 계산할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 산소농도 변화에 따른 폭발한계측정

그림 3은 도시가스의 산소농도 변화와 초기압력의 변화에 따른 폭발한계 특성치를 나타낸 것으로서 산소농도 21%에서의 초기압력변화에 따른 도시가스의 폭발한계는 0, 0.5, 1.0, 1.5kg/cm²에서 각각 4.9~15%, 4.9~15.5%, 4.8~16%, 4.7~16.5%를 구하였으며, 산소농도 18%, 15%, 13%등에서 나타난 바와 같이 폭발하한계의 변화는 산소농도가 감소함에 따라서 조금씩 증가하였으나 폭발상한계에 있어서는 산소농도가 감소할수록 급격하게 감소하여 산소농도 12%에서 5.2%의 한계산소농도를 구하였다.

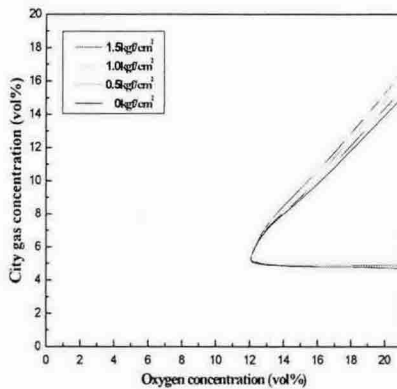


그림 3. 산소농도변화에 따른 폭발한계

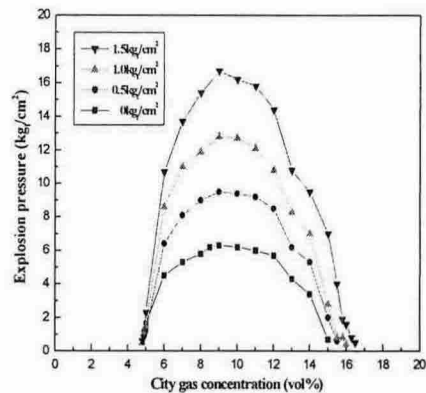


그림 4. 폭발압력과의 관계

3-2. 도시가스의 농도변화에 따른 폭발압력

그림 4는 초기압력 변화에 따른 도시가스의 폭발압력을 나타낸 것으로서 도시가스

농도 9%에서 각각 6.3, 9.4, 12.7, 16.7kg_t/cm²의 최대폭발압력 값을 얻었다. 또한 도시가스의 농도가 하한계에 가까울수록 가파르게 상승하나 상한계 부근으로 접근할수록 폭발압력은 하한계에 비해 서서히 감소하였다.

5. 결 론

초기압력변화에 따른 도시가스의 폭발특성을 고찰하기 위하여 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 산소농도 21%에서 초기압력변화 (0, 0.5, 1.0, 1.5kg_t/cm²)에 따른 도시가스의 폭발 한계범위는 각각 4.9~15%, 4.9~15.5%, 4.8~16%, 4.7~16.5%로 나타났다.
- 2) 초기압력변화에 따른 도시가스의 폭발압력은 도시가스 농도 9%에서 각각 6.3, 9.4, 12.7, 16.7kg_t/cm²의 최고폭발압력을 구하였다.
- 3) 산소농도가 감소함에 따라 폭발하한 농도는 거의 변화가 없으나, 폭발상한농도는 급격히 감소하는 경향을 나타내었으며, 폭발한계산소농도는 12%를 구하였다.

참고문헌

- 1) 小林清志, 荒木信辛, 牧野敦, 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>, 사고통계.
- 4) N. A. Kakutkina, A. A. Korzhavin, V. S. Babkin, V. V. Zamashchikov, and A.A. Pleslov, "Scale Modeling of Gas Explosions in Closed Vessels, Combustion", Explosion and Shock Waves, Vol.32, No.6, 1996.
- 5) 羽田博憲, 高橋保盛, 木山保, 皿田滋, 鍋谷弘, "高電壓領域におけるメタンの點火限界", 安全工學, Vol.28, No.3, 1989.
- 6) 최재욱, "도시가스의 폭발 특성에 관한 연구", 한국산업안전학회지, Vol. 16, No 4, pp.109~114, 2001.
- 7) 安全工學協會, 防爆工學, 海文堂, pp.39-40, 1983.
- 8) F. T .Bodurha, Industrial Explosion Prevention and Protection, McGraw-Hill, pp.19-22, 1980.