

밀폐공간에서의 Dummy 존재시 가스 폭발특성에 관한 연구

김종복**, 오규형*, 이성은**, 김 홍*, 이영철***, 박승수***

호서대학교 안전공학부 *

호서대학교 안전공학부 대학원 석사과정 **

한국가스공사 ***

1. 서론

최근 우리나라에서는 가스사용시설의 확대, 석유화학 플랜트의 급격한 성장 및 LNG, 원유 등의 운반에 필요한 특수선의 증가등으로 인하여 사회 일상주변에 각종의 인화성 액체 또는 폭발성가스가 존재하는 기회가 많아졌으며, 폭발성 위험물질의 취급이 점차 대규모화, 다양화, 복잡화 되어가고 있다. 이러한 현실속에서 폭발사고 방지에 대한 연구와 폭발성가스가 존재하거나 존재할 우려가 있는 위험장소에서 사용되는 방폭형 전기기기의 방폭성능에 대한 확인과 안전성을 평가하는 기술의 확립이 필요하다.

본 연구에서는 LPG (Liquefied Petroleum Gas)와 NG (Natural Gas)등의 가스가 밀폐공간에서 누출되어 폭발되었을 때 밀폐공간 내부에 있는 내용물(Dummy)의 크기 및 표면적 변화에 따른 폭발압력의 거동과 여러 가지 폭발특성을 측정하고 고찰함으로써 폭발에 의한 영향의 평가와 피해 현상들을 해석하고 방폭형 전기기기의 성능평가에 대한 기초 자료를 도출하고자 하였다.

2. 실험

2.1 LPG와 NG의 물리.화학적 특성

이번 실험에 사용된 LPG는 가정용 연료로 사용되는 프로판이 주성분인 것이고, 천연가스는 보르네오에서 수입된 것을 시료로 사용하였다. LPG는 프로판의 성분이 99%이상이며, 천연가스는 메탄이 약88%로 주성분이며 에탄이 약 5%, 프로판이 약 5% 그리고 부탄이 약 2%인 것으로 되어 있다. LPG와 NG의 물리.화학적 특성은 다음 표 1과 같다.

표 1. 시료가스의 물리, 화학적 성질

가스 특성	비점 (°C)	연소속도 (cm/s)	연소범위 (vol%)	착화온도 (°C)	가스 비중	최소발화에너지(mJ)
LPG	-42	41	2.2~9.5	약 460	1.52	0.26
NG	-163	39	4.4~14.2	약 540	0.61	0.29

LPG의 연소범위는 2.2~9.5(vol%)이고 NG의 연소범위는 Le Chatelier의 식으로 계산하였을 때 4.28~14.22(vol%)였다.

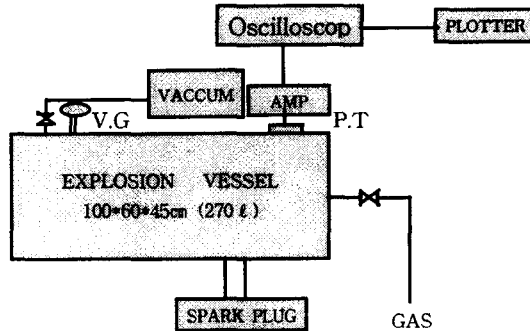
Le Chatelier의 법칙은 L을 혼합가스의 폭발한계(vol%), L_1, L_2, L_3, \dots 를 혼합가스를 형성하는 각 단독성분의 폭발한계(vol%), V_1, V_2, V_3, \dots 를 각각 단독성분의 혼합가스 중의 농도(vol%)로 하면 다음과 같다.

$$L = \frac{100}{\frac{V_1}{L_1} + \frac{V_2}{L_2} + \frac{V_3}{L_3} + \dots}$$

여기서, $V_1 + V_2 + V_3 + \dots = 100$ 이 된다.

2.2 실험장치

밀폐 공간에서의 LPG와 NG의 공기혼합기에 대한 폭발특성을 측정하기 위한 실험장치의 구성도는 그림 1과 같다.



V.G: Vacuum gage

P.T: Pressure transducer

그림 1. 실험장치 구성도

밀폐 용기내 내용물의 크기는 용기의 부피(V)에 대한 표면적(S)의 비 (S/V) 및 용기의 부피에 대한 내용물의 부피비 (V'/V)에 따른 폭발 특성을 알아보기 위하여 7종류로 표면적과 내용물의 부피를 다르게 하였으며

용기의 부피에 대한 표면적(S)비 및 Dummy의 부피(V')비는 각각 다음 표 2와 같다.

표 2. 내용물의 크기 및 내용적에 대한 부피비 및 표면적비

크기(cm)	90*49*9.5	90*49*19	90*49*28.5	90*49*38	90*49*9.5	90*49*19	90*49*9.5
					*2	*2	*3
S/V(cm ⁻¹)	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12
V'/V	15%	30%	45%	60%	30%(II)	60%(II)	45%(II)

2.3 실험방법

폭발실험을 하는 순서는 먼저 폭발용기에 내용물을 넣은 후 진공 펌프로 용기 내부를 어느 정도 진공으로 만든다. 실험 대상 가스를 형상물의 크기에 따른 폭발통의 부피에 대한 부피%를 계산하여 플라스틱 튜브에 담아둔다. 진공 게이지를 보면서 필요한 만큼 진공이 되면 플라스틱 튜브에 채취한 시료가스를 용기내에 흡입시키고 밸브를 열어두면 나머지 진공부분이 공기로 채워지게 되며 이때 진공에 의한 부압으로 공기가 흡입되면서 폭발용기 내부에는 난류가 생기고 이 난류에 의해 용기내부에 흡입된 가연성 가스와 공기가 빠른 속도로 거의 균일한 상태로 혼합된다. 이와 같은 방법으로 폭발용기 내에 혼합가스의 농도를 실험에 필요한 조건으로 만들면 밸브를 닫고 1~2분 후에 점화시켰다. 폭발 특성은 strain형 압력센서를 통해 Oscilloscope상에 파형이 나타나게 되며, 그 파형을 보고 폭발특성을 측정하였으며 측정된 결과는 플로터를 이용하여 프린트 하였다.

실험은 표면적에 따른 폭발 특성을 측정하기 위하여 표 2에 있는 7종류로 표면적을 변화시키면서 실시하였다. 또한 가연성 가스의 농도에 따른 폭발 특성을 측정하기 위하여 LPG의 경우는 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6%를 NG는 7, 8, 9, 10, 11, 12%로 농도를 변화시키면서 실험 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 LPG의 폭발특성

그림 2는 밀폐공간에서 LPG의 폭발특성을 측정한 결과이다. 폭발압력이

S/V의 7종류 모두 당량농도에 가까운 4%에서 최대값을 나타내고 있다. 즉, 실제

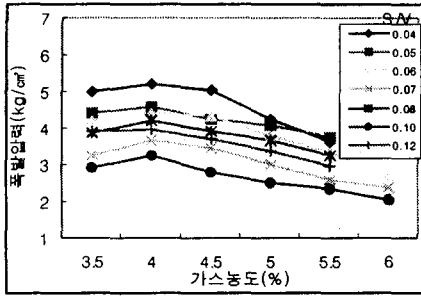


그림 2. LPG 농도 변화에 따른 폭발압력

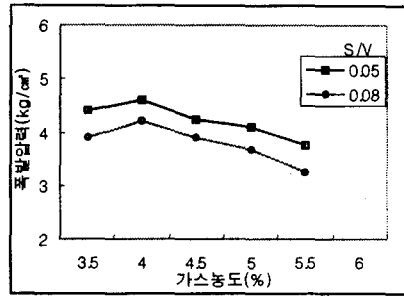


그림 3. 동일부피비($V_1/V_2=30\%$)에서 표면적이 다를 때 폭발압력 비교

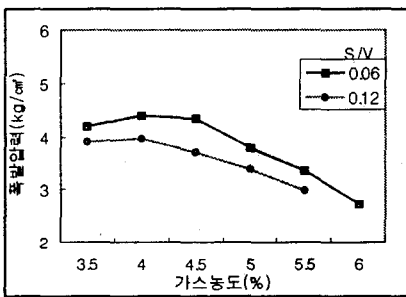


그림 4. 동일부피비($V_1/V_2=45\%$)에서 표면적이 다를 때 폭발압력 비교

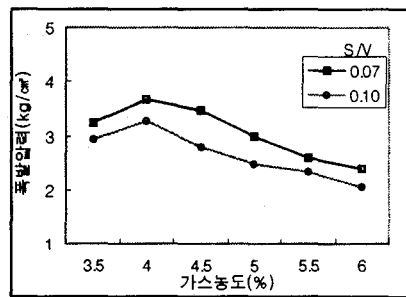


그림 5. 동일부피비($V_1/V_2=60\%$)에서 표면적이 다를 때 폭발압력 비교

공기량에 대한 이론 공기량의 비가 1인 당량농도의 경우 완전연소가 일어나고 연소속도가 최대가 되며 발열량 또한 최대가 되므로 연소에너지에 의해 폭발압력이 최대로 상승하기 때문이다. 반면 연료의 과잉상태인 가스농도 5.5%와 6%인 경우에는 폭발이 일어난다기 보다는 화염전파속도가 느린 연소현상이 일어나기 때문에 압력상승속도가 느리고 폭발압력 또한 낮음을 알수있다. 그리고 폭발압력은 내용물의 부피가 증가할수록 압력은 낮아지고 있다.

그림 3에서 5까지는 Dummy는 같지만 표면적이 다른 경우 폭발압력을 나타낸 것이다. 세가지 경우 모두 표면적이 넓을수록 폭발압력은 더 낮음을 알 수 있다. 즉, 폭발이 일어났을 때 표면적이 더 큰 경우 더 많은 열손실이 발생하기 때문에 압력이 낮아지는 것으로 판단된다.

3.2 NG의 폭발특성

NG의 폭발실험은 LPG의 경우와 같지만 NG의 농도를 연소범위를 고려하여 7%에서 12%까지 하여 폭발특성을 측정하였다. 그림 6은 밀폐공간에서 NG의 폭발특성을 측정한 결과이다. 폭발압력이 S/V의 7종류 모두 당량농도에 가까운 9%에서 최대값을 나타내고 있다. LPG의 경우와 마찬가지로 폭발압력은 내용물의 부피가 커질수록 압력은 낮아지고 있다.

그림 7에서 9까지는 내용물의 부피는 같지만 표면적이 다른 경우 폭발압력을 나타낸 것이다. 세가지 경우 모두 표면적이 넓을수록 폭발압력은 더 낮음을 알 수 있다. 그 이유는 LPG의 경우와 같다.

밀폐공간에서 가스의 폭발특성은 NG와 LPG 두 경우 모두 비슷한 경향을 보였으며 측정값만 약간 차이가 있음을 알 수 있다.

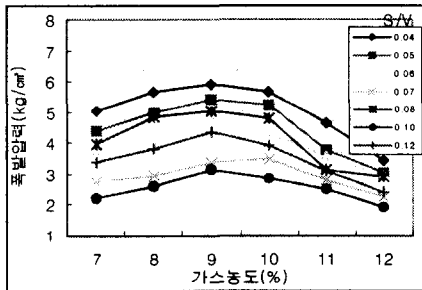


그림 6. LPG 농도 변화에 따른 폭발압력

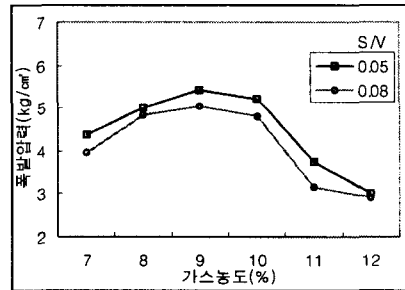


그림 7. 동일부피비($V_1/V_2=30\%$)에서 표면적이 다를 때 폭발압력 비교

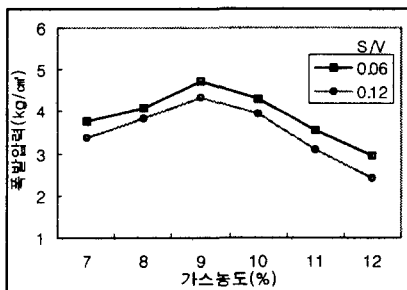


그림 8. 동일부피비($V_1/V_2=45\%$)에서 표이 다를 때 폭발압력 비교

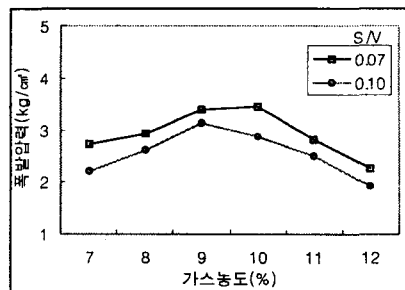


그림 9. 동일부피비($V_1/V_2=60\%$)에서 표면적이 다를 때 폭발압력 비교

4. 결론

LPG 및 NG의 폭발특성에 관한 실험에 의한 결과 S/V에 따라 약간의 차이가 있었지만 LPG와 NG 각각 당량농도에 가까운 4%와 9%일때 최대폭발압력이 가장 컸고 최대폭발압력 도달시간이 가장 짧았다. 결과적으로 당량농도에서 폭발위험성이 가장 크며 폭발사고시 피해가 가장 클 것으로 예측되었다. 또한 LPG 및 NG 모두 내용물의 부피가 증가할수록 폭발압력은 급격히 낮아지는 것으로 나타났다. 이것은 폭발공간내에 내용물이 있는 경우 폭발에너지가 감소하여 내용물의 부피가 클수록 상대적으로 폭발압력은 작아짐을 알 수 있었다. 끝으로 표면적 변화에 따른 폭발압력은 내용물이 동일 부피 일때는 표면적이 넓어질수록(S/V가 클수록) 압력이 낮아짐을 통해 열손실에 의한 폭발압력이 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 또한 용기내 내용물의 부피가 클수록 폭발 압력이 감소하는 경향을 통해 알수 있듯이 방폭기기의 폭발 실험에 있어서 용기의 부피에 대해 내용물의 크기가 클 경우 시험압력을 낮게 적용해도 가능할 것으로 판단되나 이런 경우는 내용물에 대한 내용물의 부피비 및 표면적비를 정확히 알아야 하며 그렇지 않으면 기존의 기준을 적용하는 것이 안전할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김 홍의 3명, 방폭공학, 동화기술(1997)
2. 오규형의 3명, 연소학, 동화기술 (1996)
3. 김 홍의 3명, 방화공학, 동화기술 (1993)
4. Dag Bjerkedvedt 등, Gas explosion handbook, Elsevier Science (1997)
5. T. Hirano, 가스폭발 예방기술, 해문당 (1983)
6. W. E. Baker 등, Explosion hazards and evaluation, Elsevier Science (1983)
7. W.Bartnecht, Explosions (1981)
8. Wilfred E.BAKER, Ming Jun Tang GAS, DUST AND HYBRID EXPLOSIONS (1991)
9. 오규형의 3명 실내가스 폭발 현상및 실내,외 영향분석, 산업안전기술연구센터 (1998)