

파열면이 발생하는 밀폐공간에서의 가스폭발특성연구

오규형*, 김 홍*, 김상섭**, 조영도**, 조지환**

호서대학교 안전공학부*,

한국가스안전공사 가스안전기술연구센터**

1. 서 론

기상폭발은 가연성물질이나 산화제의 성질 및 공간의 상태에 크게 의존하며, 밀폐공간에서 일어날 경우에는 그 공간을 구성하고 있는 벽면의 강도 등에 의해 폭발현상이 달라진다. 밀폐공간의 가로, 세로, 높이 중 임의의 두 방향 치수비가 1보다 극단적으로 다르지 않은 거주공간의 경우 공간내의 가연성 혼합기의 농도분포, 공간을 구성하고 있는 벽면 가운데 약한 부분의 강도 및 넓이, 개방되고 있는 창등의 개구부의 넓이등의 상태가 폭발 특성에 대한 변수가 된다.

본 연구에서는 그 동안의 가스사고 분석 결과로부터 현재 가스 연료로 사용하고 있는 천연가스(NG)와 액화석유가스(LPG)등의 가스가 가정의 주방이나 거실 등의 공간에서 누출되어 공기와 혼합되어 폭발되었을 때의 폭발 압력의 거동과 폭풍압력에 의한 파괴 현상 등과 유사한 현상을 만들기 위하여 폭발통의 한쪽 측면에 파열판을 부착하고, 가스의 농도, 파열판의 강도, 파열판의 면적 등을 변수로 혼합 가스 폭발실험을 하여 이때 일어나는 여러 가지 폭발 특성들을 측정하고 고찰함으로써 폭발에 의한 영향의 평가와 피해 현상들을 해석하고자 하였다.

2. 장 실험

2-1 실험장치

실험장치는 크게 폭발통 및 계측기 부분으로 나눌 수 있으며 폭발통은 가로 세로 높이가 각각 100x60x45cm 이며 부피가 270리터인 직육면체 용기로 앞 면에는 폭발현상의 관측과 화염전파 현상을 촬영하기 위해 가로 세로가 각각 80x10cm 인 두께 15mm의 투명 아크릴 관측창을 부착하였고 점화프러그 위치를 변경하며 부착할 수 있도록 하였으며 뒷면에는 용기의 진공과 시료가스 주입을 위한 밸브의 부착과 폭발특성 측정을 위한 압력 센사를 부착할 수 있도록 하였다. 오른쪽 측면에도 시료가스 주입밸브와 압력 센사를 부착할 수 있게 하였으며 반대편 왼쪽 측면에는 실내 가스폭발시 압력에 의해 유리창등이 파열되는 현상과 유사하게 하기 위해 파열판을 설치할 수 있도록 하였다. 폭발통의 크기는 일반적인 가정의 거실이나 주방 크기에 비해 길이비로 1/5 정도로 축소된 것이며 파열판의 넓이는 거실의 유리창이나 창문등의 크기를 고려하여 5종류로 하였다.

실험장치의 개략적인 구성도는 그림 1과 같으며 압력센사(PT)는 strain type을 사용하였으며 점화원은 압전소자를 이용한 점화기의 방전 불꽃을 이용하였다. 실험 결과의 계측은 압력센사로부터 나온 신호를 strain amplifier를 통해 oscilloscope로 측정하였으며 plotter를 이용하여 출력하였다. 측면에 사용된 파열판은 두께가 각각 0.05, 0.1, 0.175mm인 polyester 필름을 사용하였으며 이들의 인장 강도는 각각 0.989KN, 1.247KN, 및1.779KN 이었다.

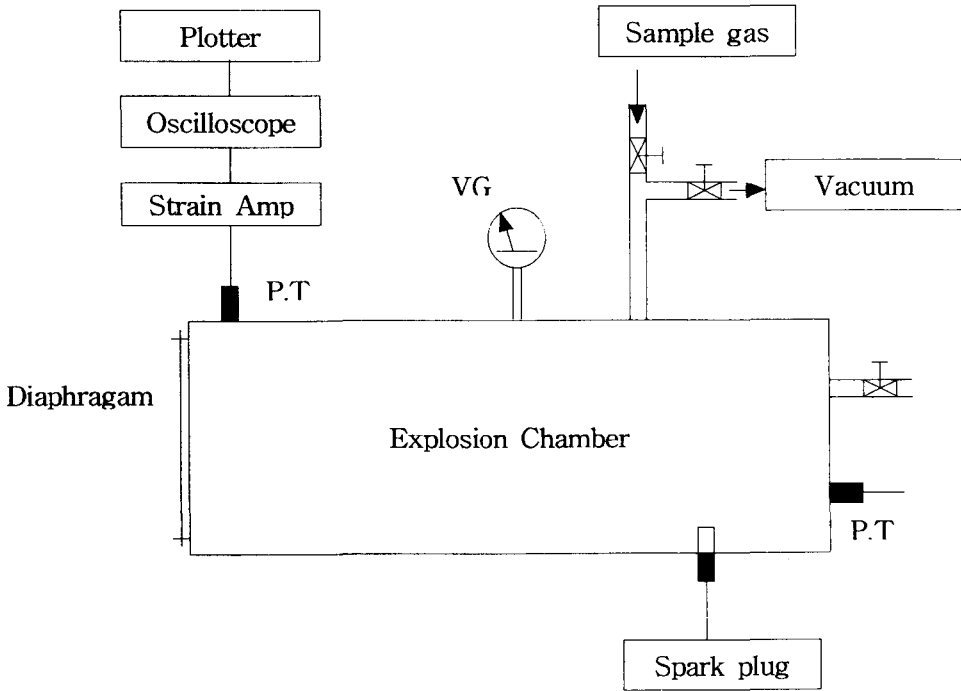


그림 1 실험장치 개략도

2-2 실험 방법

폭발실험을 하는 순서는 먼저 폭발용기의 파열면에 파열용 필름을 고정시키고 진공 펌프로 용기 내부를 어느 정도 진공으로 만든다. 실험 대상 가스를 폭발통의 부피에 대한 부피%를 계산하여 플라스틱 튜브에 담아둔다. 진공 계지를 보면서 필요한 만큼 진공이 되면 시료 튜브에 채취한 시료가스를 용기 내에 흡입시키고 밸브를 열어두면 나머지 진공부분이 공기로 채워지게 되며 이때 진공에 의한 부압으로 공기가 흡입되면서 폭발용기 내부에는 난류가 생기고 이

난류에 의해 용기 내부에 흡입된 가연성 가스와 공기가 빠른 속도로 거의 균일한 상태로 혼합된다. 이와 같은 방법으로 폭발용기 내에 혼합가스의 농도를 실험에 필요한 조건으로 만들면 밸브를 닫고 3~5분 기다린 후에 점화시켰다. 점화원은 가스렌지 점화기인 압전식 전기 스파크 점화기를 사용하였다. 오실로스코프는 점화장치의 스파크에 의해 동기 되도록 하여 폭발용기에서 점화로부터 과열면의 과열에까지 걸리는 시간도 측정하였다.

3장 결과 및 고찰

3-1. 가연성 가스의 농도에 따른 폭발특성

그림2와 그림3은 LPG의 농도를 변화시키면서 100 μ m polyester 필름을 과열판으로 사용하고, 과열면적대 폭발용기 부피비(S/V)는 1/400 (cm^{-1})이고, 용기중앙 상부(S2)에서 점화시킨 실험 결과이다.

실험은 각각의 농도에서 4회씩 실시하였다. 그림2에서 보여주는 것처럼 폭발압력(과열압력)은 LPG의 농도변화에 따라 큰 변화가 없었으며, 완전밀폐공간에서의 실험결과와 비교할 때 매우 다른 특성을 보여주고 있는데 이는 폭발에 의해 과열면의 과열로 개방공간이 형성될 때 폭발 공간에서의 압력은 공간내의 혼합가스의 농도보다 과열면의 과열강도에 의해 지배적인 영향을 받게 됨을 알 수 있었다.

그림3의 폭발압력 상승속도는 당량농도 부근에서 가장 높고 폭발한계 농도쪽으로 농도가 높아거나 낮아지면 감소하게 되는데 이는 당량농도 부근에서는 연소속도와 화염전파속도가 크고 폭발한계 농도쪽으로 농도가 높아지거나 낮아지면 연소속도와 화염전파속도가 낮아지기 때문이다.

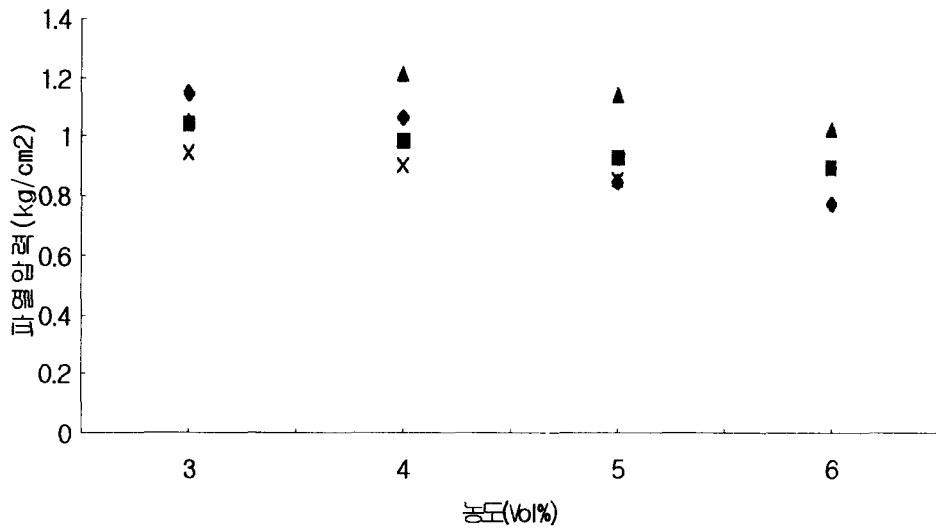


그림 2. LPG-공기 혼합가스의 농도변화에 따른 파열압력

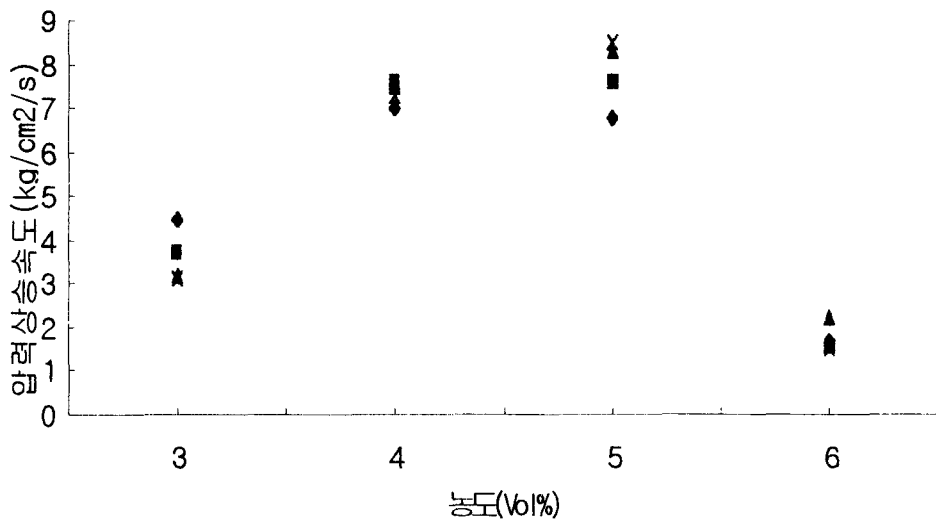


그림 3 LPG-공기 혼합가스의 농도변화에 따른 압력상승속도

그림4와 그림5는 NG-공기 혼합가스에 대한 농도변화에 따른 폭발 특성의 변화로 LPG의 경우와 같이 파열판은 $100\mu\text{m}$ 두께의 필름을 사용했으며 파열면의 면적은 S/V 가 $1/400(\text{cm}^{-1})$ 이고 중앙상부(S2)에서 점화시킨 결과이다. 그림4에서 보는 바와 같이 폭발압력은 NG의 농도에 크게 영향을 받지 않으나, 압력상승속도는 당량농도 부근에서 높고, 파열시간은 폭발한계 농도쪽으로 갈수록 길어지는 현상은 앞에서 설명한 LPG의 경우와 동일한 현상으로 해석할 수 있다.

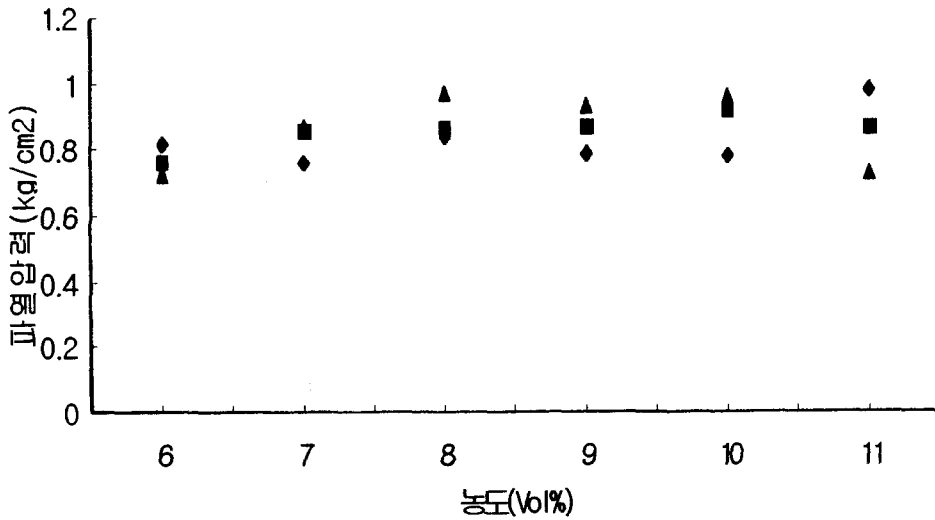


그림4. NG-공기 혼합가스의 농도에 따른 파열압력

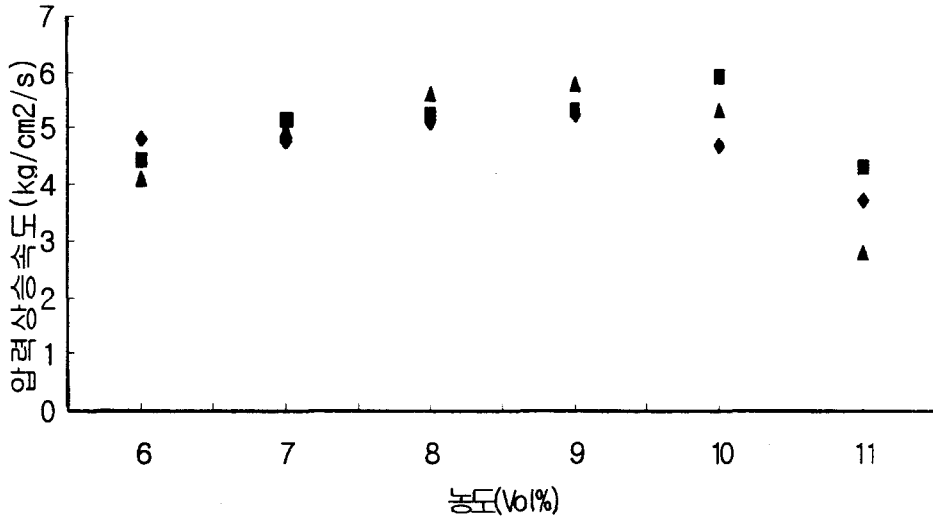


그림5. NG-공기 혼합가스의 농도에 따른 폭발압력 상승속도

3-2. 점화 위치변화에 따른 폭발특성

밀폐용기 내에서는 점화원의 위치에 따라 폭발특성의 변화가 거의 없었으나 폭발에 의해 과열면이 발생하는 경우의 점화위치에 따라 폭발 특성에 약간의 변화가 있었으며, 점화위치가 중앙에 있을 경우가 다른 두 곳의 경우보다 과열압력과 압력 상승속도가 높았으며, 과열 시간이 짧은 경향을 알 수 있었다. 이러한 현상은 점화원을 중심으로 화염이 각 방향으로 같은 속도로 전파된다고 할 때 용기 중심부에서 점화되는 경우 용기내 혼합가스의 연소시간이 짧고 폭발압력상승이 빠르기 때문이며 폭발이 일어나는 공간에서 점화원이 어느 한 쪽에 치우쳐 있는 경우보다는 중심부분에서 점화될 때 폭발위험성이 더욱 커지는 것을 예상할 수 있었다.

4장 결 론

본 연구에서는 가정이나 가스 저장시설등에서 폭발 사고가 발생할 경우 폭발압력에 의해 폭발이 발생하는 공간은 물론 폭발압력의 방출에 의해 외부에도 큰 피해를 가져오는 현상을 분석하기 위하여 연료가스로 가장 많이 사용되는 LPG와 NG를 시료가스로 하여 여러 가지 상황에서 폭발특성을 실험하므로써 실내 가스 폭발시 일어나는 현상 및 실내, 외에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

폭발용기에 파열판을 설치하여 폭발이 일어날 경우 개구부가 발생하는 실험을 통하여 폭발시 파열이 일어나는 경우에 폭발이 발생하는 공간에서의 폭발압력은 가스의 농도보다는 파열되는 면의 강도에 의존함을 알 수 있었으며 점화원의 위치가 파열압력에 미치는 영향은 적었으나 중심부분에서 점화할 경우 연소시간이 짧아지고 압력 상승속도가 증가하여 점화후 파열면이 파열되는데 까지 걸리는 시간이 약간 짧아지는 경향을 보였다. 또한 파열면의 면적이 작아질 경우 파열압력이 커지고 따라서 폭발공간내의 피해도 증가하게 됨을 예측할 수 있었다.

참고문헌

1. Dag Bjerketvedt 외, Gas explosion handbook, Elsevier Science (1997)
2. Jan Roar Bakke, Bjorn H. Hjertager, The effect of explosion venting in empty vessel, Int. J for Numerical method in engineering. Vol24 p129-140 (1987)
3. R. K. Eckhoff 외, Venting of turbulent gas explosion in 50m³ chamber, Fire safety journal, 7 (1984)