

밀폐 공간내 Block에 의한 폭발특성 변화에 관한 연구

오 규 형* · 김 증 복** · 이 성 은** · 김 흥* · 이 영 철*** · 박 승 수***
호서대학교 소방학과*, 호서대학교 대학원 안전공학과**, 한국가스공사***
(1999년 10월 12일 접수, 1999년 12월 4일 채택)

A Study on the Variation of Explosion Characteristics by the Block in Closed Vessel

Kyuhyung Oh* · Jongbok Kim** · Seungeun Lee** · Hong Kim* ·
Youngchul Lee*** · Sungsu Park***

Dept. of Fire Protection Engineering, Hoseo University

Graduate school, Dept. of Safety Eng., Hoseo University

R & D Center, Korean Gas Cooperation

(Received 12 October 1999 ; Accepted 4 December 1999)

요 약

밀폐공간 내에 블록을 조합하여 부피와 표면적이 다르게 내용물을 채우고 용기 부피에 대한 내용물의 부피와 내용물의 표면적을 변화시키면서 LPG 또는 NG와 공기 혼합가스의 폭발특성을 측정하여 밀폐공간 내부에 있는 내용물의 부피와 표면적의 변화가 폭발특성에 미치는 영향을 해석하고자 하였다. 폭발용기는 가로 세로 높이가 각각 100cm x 60cm x 45cm인 부피 270리터의 금속 용기이며, 용기 내 가연성 혼합가스는 전기 스파크로 착화시켰고, strain형 압력센서로 폭발압력을 측정하였다. 실험 결과 부피봉쇄율이 증가할 수록 폭발압력이 감소하였으며, 내용물의 표면적의 증가에 따라서도 폭발압력이 낮아졌으며, 이러한 폭발압력의 감소 경향은 표면적의 증가에 대한 영향보다 부피의 증가에 의한 영향이 더욱 크게 나타났다.

Abstract - Variation of explosion characteristics by the blocks in closed vessel was investigated to analyse the effect of the block volume(volume blockage) and the surface area of the blocks(ratio of block surface area to vessel volume). Volume and surface area of blocks in explosion vessel were changed by the combination of blocks. The volume of explosion vessels was 270 liter, and the LPG-air or NG-air mixtures were ignited by the electric spark. Explosion pressure was measured with the strain type pressure transducer.

From the experimental results, explosion pressure was decreased by the increase of the volume blockage and the block surface area. And the decrease of explosion pressure was more affected by the volume blockage than the surface area.

Key words : Gas explosion Volume blockage

1. 서 론

최근 가스사용시설의 확대, 석유화학 플랜트의 성장과 가스와 원유등의 운반에 사용되는 특수선의 증가등으로 일상주변에 각종의 인화성 액체 또는 가연성가스가 존재하는 위험장소가 많아 졌으며 이러한 위험물질의 취급이 점차 대규모화, 다양화, 복잡화 되어가고 있다.

그동안 밀폐공간에 내용물이 없는 상태의 가스폭발특성에 관한 연구는 많이 되어 왔으나 [1] ~ [4] 폭발하는 공간에 블록등을 넣어 폭발 공간의 부피 감소 또는 내부 표면적이 확대된 상태에서의 연구는 거의 없는 실정이다. 노르웨이 CMR의 Hjertager등 [5] [6] 은 밀폐공간 내에 직경이 다른 파이프 블록을 격자형으로 쌓아 내용물 부피(부피 봉쇄율)가 같게 되는 몇가지 경우에 대한 폭발실험을 하여 직경이 작을수록 압력이 증가하는 결과를 얻었다.

또한 파이프 내에 장애물에 의해 화염면이 흐트러지고 관내 흐름이 난류로 되어 폭연에서 폭굉으로의 전이가 쉽게 일어나는 현상들은 잘 알려져 있으나 [7] 이 경우에는 화염전파 속도에 미치는 영향을 고려하기 위한 단순한 장애물을 이용한 것이었다.

본 연구에서는 액화석유가스(LPG)와 천연가스(NG)를 시료로하여 이들이 밀폐공간내에 누출되어 폭발될 때 공간 내부에 있는 블록의 부피 및 표면적의 변화에 따라 공간의 부피감소 및 열 손실 현상이 달라지며 이에 따른 폭발압력의 변화를 측정하고 고찰함으로써 밀폐공간에 블록이나 모형물의 존재에 따른 폭발특성을 해석하고자 하였다. 또한 가스누출 가능성이 있는 위험장소에 설치하는 방폭형 전기기기의 폭발강도 실험에서 폭발압력을 정상상태에서 폭발시켜 얻은 기준압력의 1.5배로 성능 시험을 하도록 규정한 의미에 대한 해석이 될 것이다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에 사용된 LPG와 NG는 각각 프로판 성분이 97%이상인 가정용 연료로 쓰이고 있는 LPG와 메탄이 약88%이며 에탄이 약 5%, 프로판이 약 5% 그리고 부탄이 약 2%인 NG를 사용하여 실험하였고 실험장치의 개략적인 구

성도는 Fig. 1과 같다. [8]

폭발실험을 하는 순서는 먼저 폭발용기에 내용물(목재블록)을 넣은 후 진공 펌프로 용기 내부를 어느 정도 진공으로 만든다. 실험 대상 가스를 블록의 부피를 제외한 폭발통의 부피에 대한 vol. %를 계산하여 플라스틱 튜브에 담아 둔다. 진공 게이지를 보면서 0.5기압 정도의 진공이 되면 플라스틱 튜브에 채취한 시료가 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 농도로 혼합된다. 이와 같은 방법으로 폭발용기 내에 혼합가스의 농도를 실험에 필요한 조건으로 만들어 밸브를 닫고 1분 후에 점화시켰다. 폭발특성은 strain형 압력센서를 통해 oscilloscope상에 파형이 나타나게 되며, 그 파형을 보고 폭발특성을 측정하였으며 측정된 결과는 플로터를 이용하여 프린트하였다.

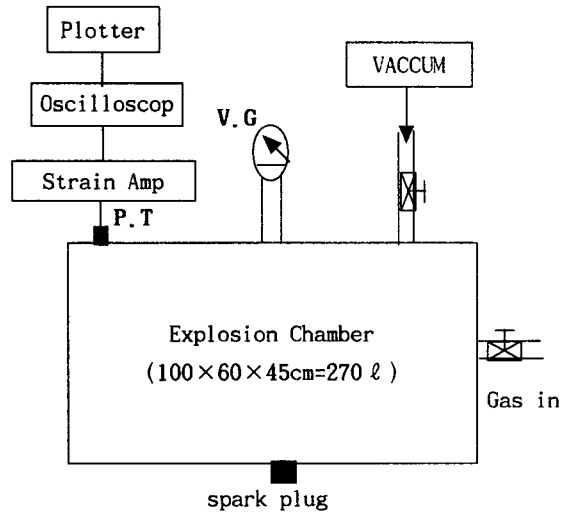


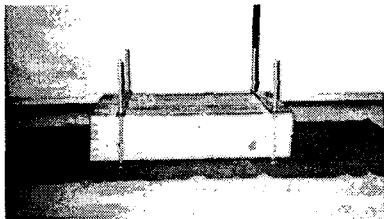
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

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

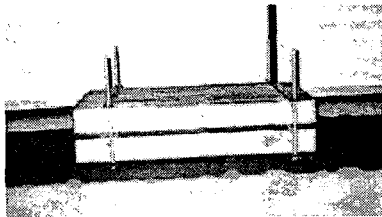
부피에 대한 표면적(S)비 및 블록의 부피(V') 비는 각각 다음 Table 1과 같다.

앞으로는 폭발용기의 내용적에 대한 블록의 부피비를 부피 봉쇄율(Volume blockage ratio)로 그리고 폭발용기의 부피에 대한 블록의 표면적비를 체적 대 면적비율(Area to volume ratio)로 정의하여 설명하겠다.

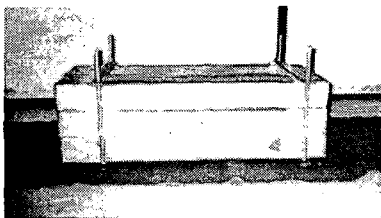
폭발용기 내부에 넣는 블록은 가로×세로가 9.8cm×9.5cm이고 길이가 90cm인 목재 20개를 사용하여 Fig. 2와 같이 부피 봉쇄율 및 체적 대 면적비율을 조정하여 실험하였다. Fig. 2에서 b),d),f)는 a),c),e)와 부피 봉쇄율은 같지만 층 사이의 간격을 두어 체적 대 면적비율을 다르게 한 것이다.



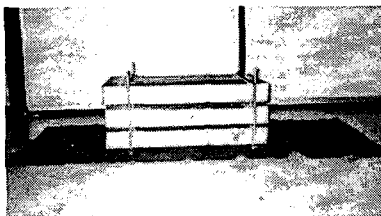
a) $s/v=0.05$



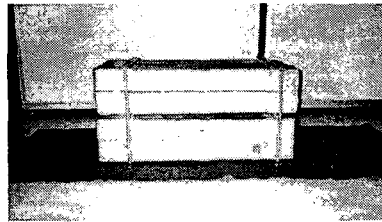
b) $s/v=0.08$



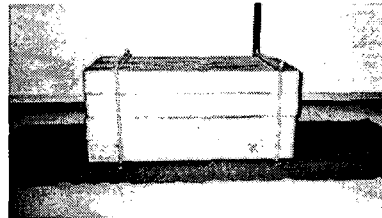
c) $s/v=0.06$



d) $s/v=0.12$



e) $s/v=0.07$



f) $s/v=0.10$

Fig. 2. Photograph of variation for volume blockage ratio and area to volume ratio

Table 1. Volume blockage ratio and area to volume ratio of the vessel

| 블록크기 (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) |

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 부피 봉쇄율에 따른 폭발특성

폭발공간 내에 있는 블록이 차지하는 부피 때문에 용기 내부에 있는 가연성 가스의 부피가 달라지고 이에 따른 폭발특성도 달라지게 될 것이다. Fig. 3과 Fig. 4는 부피 봉쇄율(V'/V)이 서로 다른 4종류와 부피 봉쇄율은 같으나 체적 대 면적 비율(S/V)이 다른 3가지의 경우에 대하여 LPG와 NG의 농도를 변화시키며 실험한 결과이다. Fig. 3과 Fig. 4에서 보여주는 것처럼 부피 봉쇄율이 증가할수록 폭발압력이 감소하는 경향을 보여주고 있는데 이는 폭발공간 내에 가연성 혼합기의 부피 감소에

따른 폭발에너지의 감소에 의한 것으로 생각된다. 또한 Fig. 3과 Fig. 4에서 부피 봉쇄율이 30%(II), 45%(II), 60%(II)는 동일한 부피 봉쇄율에서 체적 대 면적비율의 증가에 따라 폭발압력이 감소하는 현상을 보여주고 있다.

소할수록 폭발압력이 낮아지는 경향을 보이고 있으나 S/V값이 0.12가 0.10보다 큰데도 불구하고 폭발압력이 작은 것은 S/V값이 0.12인 경우가 부피 봉쇄율이 적기 때문이다.

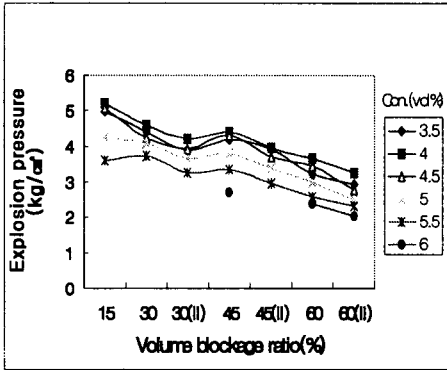


Fig. 3. Variation of explosion pressure according to volume blockage ratio of LPG-air mixture

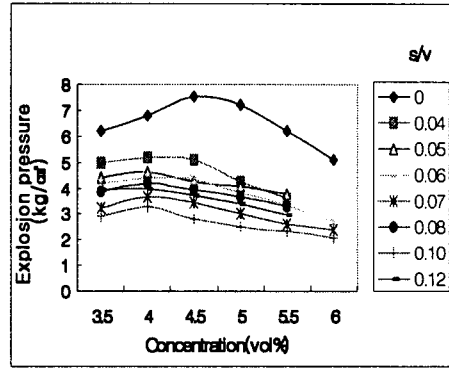


Fig. 5. Variation of explosion pressure according to area to volume ratio of LPG-air mixture

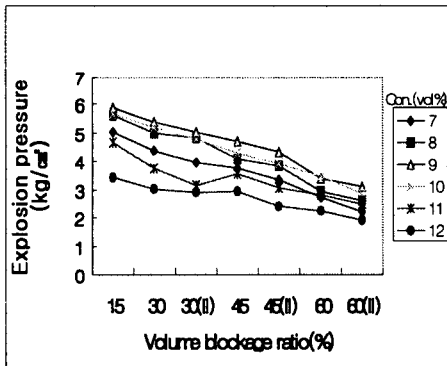


Fig. 4. Variation of explosion pressure according to volume blockage ratio of NG-air mixture

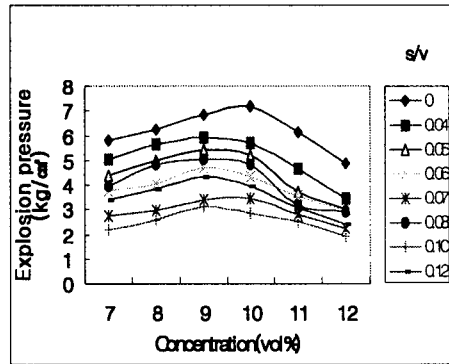


Fig. 6. Variation of explosion pressure according to area to volume ratio of NG-air mixture

3.2. 체적 대 면적비율에 따른 폭발특성

체적 대 면적비율이 서로 다른 8가지의 경우에 대하여 LPG와 NG의 농도를 변화시키며 폭발특성을 측정 한 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6에서 S/V가 0.05와 0.08의 부피 봉쇄율이 같고 0.06과 0.12의 부피 봉쇄율이 같으며 0.07과 0.1의 부피 봉쇄율이 같은 것이다.

Fig. 5와 Fig. 6에서 체적 대 면적비율이 감

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9는 LPG의 경우 동일한 부피 봉쇄율에서 체면적 비율이 다른 경우에 대한 실험결과로 S/V값이 클수록 즉 표면적이 증가할수록 폭발압력이 낮은 것을 보여주고 있으며 Fig. 10, Fig. 11 및 Fig. 12는 NG에 대하여 실험한 결과로 LPG와 동일한 경향을 나타내고 있다.

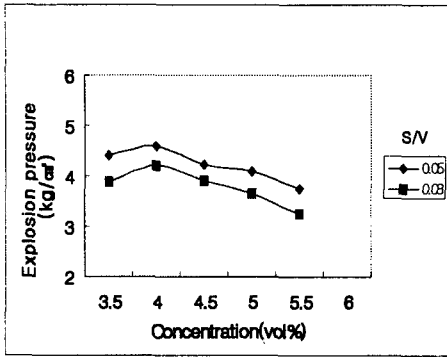


Fig. 7. Variation of explosion pressure according to the area to volume ratio at the same volume blockage ratio of 30% of LPG.

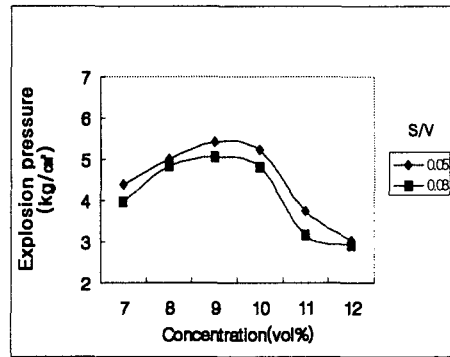


Fig. 10. Variation of explosion pressure according to the area to volume ratio at the same volume blockage ratio of 30% of NG.

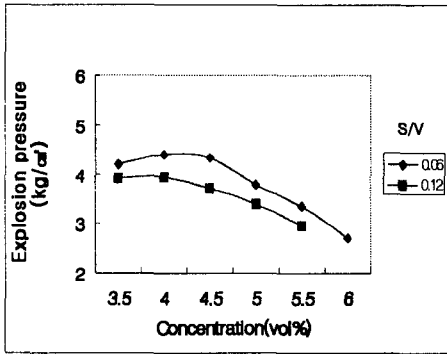


Fig. 8. Variation of explosion pressure according to the area to volume ratio at the same volume blockage ratio of 45% of LPG.

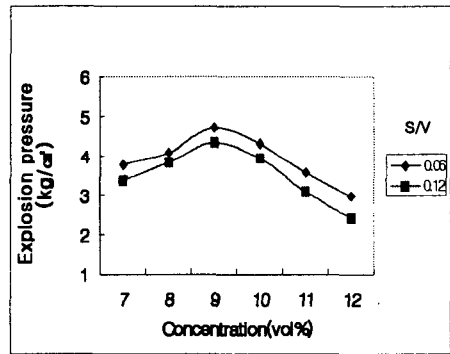


Fig. 11. Variation of explosion pressure according to the area to volume ratio at the same volume blockage ratio of 45% of NG.

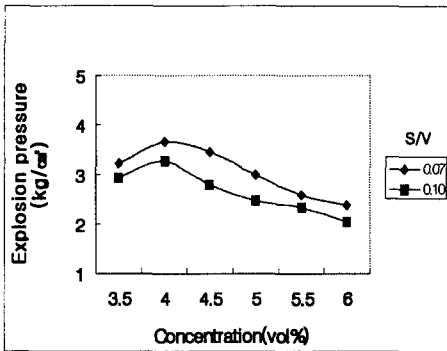


Fig. 9. Variation of explosion pressure according to the area to volume ratio at the same volume blockage ratio of 60% of LPG.

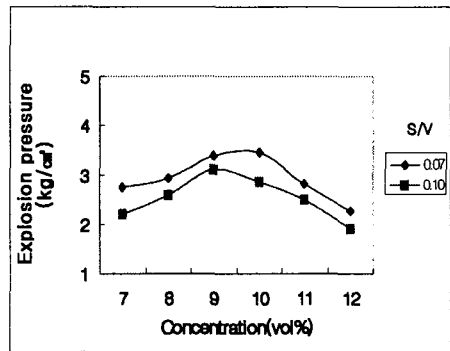


Fig. 12. Variation of explosion pressure according to the area to volume ratio at the same volume blockage ratio of 60% of NG.

체적 대 면적비율의 증가 즉 목재 블록의 표면적의 증가에 따른 이러한 실험결과들은 내용물의 표면을 통한 열 손실에 의해 폭발압력이 감소하는데 기인하는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 5와 Fig. 6의 결과들을 통해 내용물에 의한 폭발특성의 변화는 표면적의 증가에 따른 영향보다 부피 봉쇄율의 증가 즉 폭발용기내의 가연성 혼합가스의 부피 감소에 의한 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다.

또한 이 실험 결과를 통해 서론 부분에서 언급한 것처럼 내압방폭 전기 기기의 폭발강도 실험의 폭발압력이 전에는 용기의 내용물의 존재나 크기에 관계없이 시험 압력을 8기압으로 규정하였으나 최근 들어 정상 상태에서의 폭발압력의 1.5배 압력으로 시험하도록 한 것도 본 연구 결과와 같이 용기 내 존재하는 내용물에 따라 폭발압력이 감소하기 때문에 실제에 맞도록 개정된 것임을 알 수 있다.

4. 결 론

밀폐형 폭발용기 내에 목재 블록을 내용물로 사용하여 부피 봉쇄율과 체적 대 면적비율을 변화시키며 LPG와 NG의 공기 혼합 가스에 대한 폭발 특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 밀폐공간 내에 내용물에 의해 부피 봉쇄율이 증가할수록 폭발 에너지의 감소에 의해 폭발압력은 낮아지게 된다.
- 2) 내용물의 표면적 증가에 따라 표면으로의 열 손실등 에너지 손실에 의해 폭발압력은 감소하게 된다.
- 3) 내용물의 부피에 의한 부피 봉쇄율이 폭발용기의 부피에 대한 내용물의 표면적비율 보다 폭발특성에 미치는 영향이 크게 나타났다.

참 고 문 헌

1. W. E. Baker, P.A. Cox, P.S. Westine, J.J. Kulesz, R.A. Strehlow., "Explosion hazards and evaluation", Elsevier scientific Pub. Co., (1983)
2. Jan Roar Bakke, Bjorn H. Hjertager, "The effect if explosion venting in empty vessels", Int. J. for Numerical methods in Engineering. Vol 24. P129~140 (1987)
3. Dag Bjerkedvedt, J.R. Bakke, Kees van Wingerden., "Gas explosion handbook", Elsevier Science (1997)
4. T. Hirano, Explosion pressure of combustible gaseous mixtures with concentration gradient, 安全工學 Vol. 18, No 1 (1979)
5. C.J.M. van Wingerden, J.G. Visser, H.J. Pasman, "Combustion in obstructed diverging and non-diverging flow fields", Combustion and Reaction Kinetics, 22nd Int. annual Conference of ICT, Karlsruhe, (July 1991)
6. B.H. Hjertager, M. Bjorkhaug, K. Fuhre., "Spherical gas explosion experiments in a high density obstructed 27m³ corner" CMI Report No. 865403-3 (1986)
7. R.A. Strehlow, "Combustion Fundamentals", McGraw Hill, (1985)
8. 오규형, 김홍, 조영도, 김상섭., "실내가스 폭발 현상 및 실내의 영향분석", 호서대학교 -한국가스안전공사 연구보고서, (1998)