

부분개방공간에서의 폭발이 개구부 외부에 미치는 영향범위

이영순 · 오신규* · 박달재** · 박상현*** · 박남영 · 구민호

서울산업대학교 안전공학과 · *한국가스공사 연구개발원

호주UNSW · *한국산업안전공단

1. 서 론

사회의 다양화와 생활환경의 편리성 추구에 따라 LPG 및 도시가스의 보급이 날로 확대되어 감에 따라 잠재적인 재해의 위험성과 가스폭발 사고가 증가하고 있고 이로 인한 손상 또한 지대하다²⁾.

이러한 가스 폭발 영향을 감소시키기 위하여 안전벤트, 장벽 등과 같은 방호 설비가 많이 사용되고 있다. 여기서 가장 많이 사용되는 것은 폭발압력 배출구이고 폭발압력을 낮추는데 있어서 큰 효과가 있다⁴⁾. 이러한 피해를 최소화하기 위한 대책을 강구하기 위해서는 먼저 가스설비 폭발압력 배출구로부터의 압력이 외부에 미치는 영향이 평가되어야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 실용 가스설비의 규모를 축소한 실험 모델에서 가스 폭발 실험을 실시하여 가스 폭발 특성을 연구하였다. 실험을 통하여 실험장치에서 가스가 폭발할 때 개구부로부터의 거리, 위치에 따른 가스 폭발 압력 거동을 조사하였다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 방법

부분개방 공간에서의 가스 폭발이 개구부 외부에 미치는 영향에 관한 실험을 하기 위해서 가스 공급 관리소의 정압실을 20:1로 축소하여 Fig. 2-1과 같은 실험 모델을 제작하였다. 축소 모델은 높이 235mm, 면적 1000 × 950mm², 부피 223.25L의 직사각 아크릴 용기로 만들었다. 아크릴의 두께는 20mm이고, 상부에는 실제 설비와 같은 비율(320mm × 1000mm)의 개방구를 설치하였다.

또한, 개구부 외부로부터 거리, 위치에 따른 압력을 측정하기 위해 센서를 설치할 기동을 제작하였다. 기동은 건설용 비계와 클램프를 사용하여 제작하였으며, 센서를 고정하는 부분은 거리, 위치에 따른 영향을 측정하기 위해 상하좌우로 이동할 수 있도록 설치하였다. 점화원은 표준 점화플러그를 사용하였고 용기 바닥 중앙에 설치하였다. 점화플러그는 15.51kV의 출력 전압을 갖는다. 폭발시 위험 영향을 고려하여 용기로부터 일정거리 이상에 점화 스위치를 설치하여 점화시킬 수 있도록 하였다.

가연성 혼합물은 99.95%의 메탄을 축소모델에 일정시간 주입하여 메탄의 농도를

10%로 맞추어 연료로 사용하였다. 용기내의 정확한 농도(vol %)를 측정하기 위하여 적외선 가스 분석기(IR LMSx)를 사용하였다. 그리고 용기 내에서의 메탄과 공기의 고른 분포를 위하여 순환펌프로 일정 시간 순환하여 균일한 농도를 유지하도록 하였다. 그리고 가연성 혼합 가스의 외부로의 누출을 방지하기 위하여 비닐 랩으로 개구부를 밀봉시켰다. 개구부 외부에 미치는 폭발 압력을 측정하기 위하여 Fig. 2-4와 같은 0~250bar의 측정 범위를 갖는 압력센서(KISTLER 701A)를 사용하였다. 이 센서는 0.5ms 간격으로 4초 동안 8000번의 폭발 압력 수치를 측정할 수 있다. 센서로부터 출력되는 전하량은 Fig. 2-3과 같은 앰프를 통하여 증폭되어지고, 이는 A/D Board를 통하여 컴퓨터 내 프로그램으로 읽히게 세팅하였다. 그리고 폭발시 화염 거동을 보기 위하여 Fig. 2-2와 같은 초당 500프레임으로 촬영하는 고속카메라(SR-ULTRA-C)로 촬영하였다.

개구부 외부로부터 수평·수직으로 각각 10cm씩 바깥방향으로 센서를 이동시켜 거리와 위치에 따른 폭발압력의 변화를 살펴보고, 피크압의 크기와 피크압 측정시간을 비교 분석하였다. 개구부로부터의 거리에 따라 각각 5회 반복실험을 하였고, 그 중 신뢰성이 있는 3개의 값을 가지고 분석하였다.

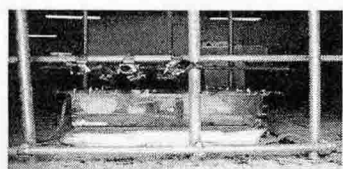


Fig. 2-1. 실제 모형

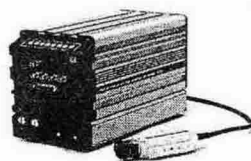


Fig. 2-2. 고속카메라

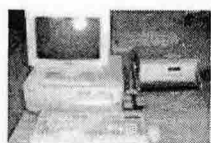


Fig. 2-3. AMP, A/D board



Fig. 2-4. 압력 센서

2.2 실험 결과 및 고찰

실험용기 개구부로부터의 외부압력을 측정하기 위하여 외부에 비계기등을 이용하였고 센서 거치대를 만들어 센서의 위치가 상하좌우로 이동할 수 있게 제작하였다. 실험용기 개구부로부터 폭발압력의 형상이 어떻게 진행되는가를 센서의 위치를 이동시켜 관찰하였다. 혼합 농도 실험은 메탄으로 실시하였다.

Table. 2-1. 20cm높이의 외부압력 실험 시 최대 폭발 측정 압력 (mbar)

	Center	Opening Point	10cm From the point	20cm	30cm	40cm
P (mbar)	27.85	17.01	23.35	14.97	11.39	8.42
T (ms)	280	200	248	223	200	158

먼저 실험용기 개구부의 수직방향 20cm 높이에서의 압력을 측정하였다. 그리고 개구부 중앙으로부터 수평방향으로 10cm씩 이동시켜 압력이 수평방향으로 멀어질 때 어느 정도의 압력의 변화가 있는가를 관측하였다. 그 측정결과는 Table. 2-1과 Fig. 2-5~8과 같다. Table. 2-1 및 Fig. 2-5~8에 의하면 개구부 수직방향으로 20cm 높이에서의 개구부 중심에서는 27.85mbar의 피크압이 점화개시 280ms에서 측정되었고, 개구부 끝 지점 상부(opening point)에서는 17.01 mbar의 피크압이 점화 후 280ms에서 측정되었다. 개구부 중앙으로부터 가장 멀리 떨어진 40cm에서는 8.42mbar의 피크압이 158ms에서 관측되었다. 개구부 수직방향으로 20cm 높이에서는 개구부 중심에서 압력이 27.85 mbar로 가장 높게 나타났고, 개구부 중심에서 수평으로 가장 멀리 떨어진 40cm에서 압력이 8.42mbar로 압력이 가장 낮게 나왔다. 따라서 개구부 수직방향으로 20cm 높이에서는 대체적으로 개구부 중심에서 수평방향으로 멀어질수록 압력이 낮아지는 것을 관측할 수 있었다.

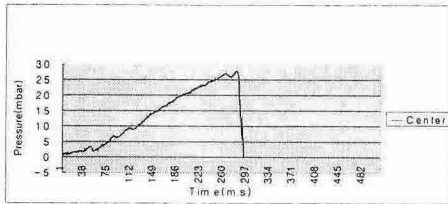


Fig. 2-5. 압력 변화 그래프(H:20, W:Center)

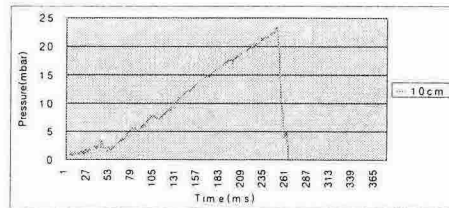


Fig. 2-6. 압력 변화 그래프(H:20, W:10 cm)

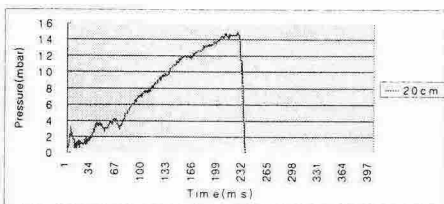


Fig. 2-7. 압력 변화 그래프(H:20, W:20 cm)

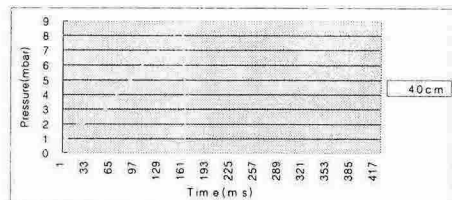


Fig. 2-8. 압력 변화 그래프(H:20, W:40 cm)

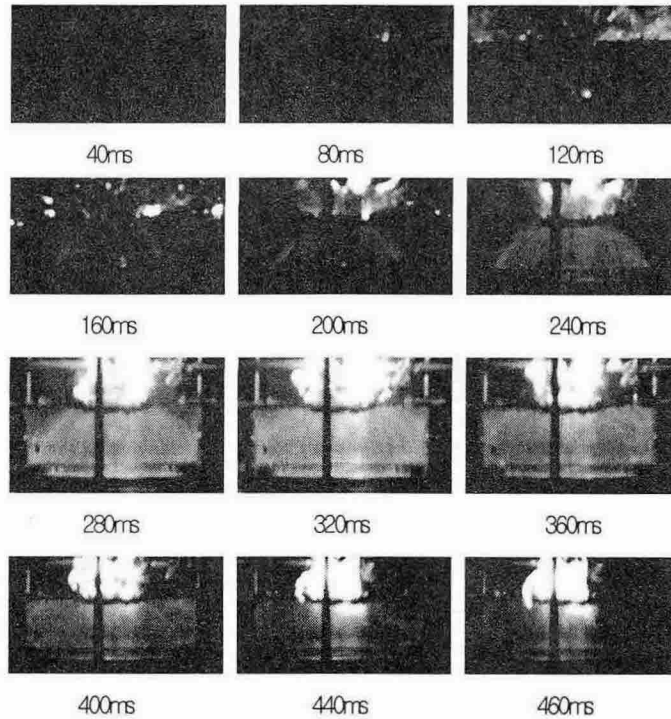


Fig. 2-9. 폭발화염 거동 사진

이러한 실험 방법으로 개구부 중앙으로부터 수직방향으로 10cm 간격으로 1m 높이 까지와 각각의 높이에 대한 수평방향으로 10cm 간격으로 40cm 까지의 외부에 미치는 폭발영향범위를 측정하였다. 측정결과를 정리하면 Table. 2-2와 Fig. 2-10과 같다.

Table. 2-2. 개구부로부터의 거리에 따른 외부 최대 폭발 측정 압력

높이/넓이		center	opening point	10cm	20cm	30cm	40cm
30cm	mbar(ms)	21.42(334)	16.85(210)	17.29(330)	9.26(223)	7.85(282)	7.06(218)
40cm	mbar(ms)	21.60(432)	17.00(408)	13.63(404)	16.05(440)	10.95(441)	10.21(491)
50cm	mbar(ms)	17.79(308)	16.43(320)	15.67(453)	12.08(360)	12.99(499)	14.49(539)
1m	mbar(ms)	17.34(446)	15.48(444)	15.72(574)	13.73(460)	11.53(588)	6.10(568)

개구부로부터의 각각의 거리, 위치에 따른 가스 폭발 압력 거동을 보면 Fig. 2-10과 같다.

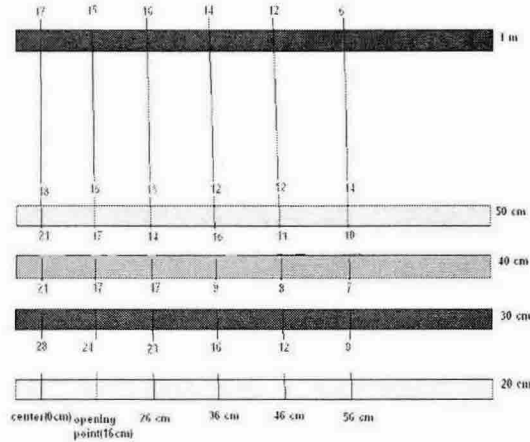


Fig. 2-10. 외부압력 폭발압력 변화(mbar)

Fig. 2-10에서와 같이 벤트 중심에서 수직 방향 20, 30, 40, 50, 100cm 위치에서의 압력은 감소하는 경향으로 측정되었다. 그러나 벤트 중심에서 수직 방향 30, 40, 50cm 위치로부터 수평방향 46, 56cm에서 측정된 압력은 증가하는 경향으로 나타났다.

또한, 벤트 중심에서 수평 방향 16, 26, 36, 46, 56cm 위치에서의 압력은 감소하는 경향으로 측정되었다. 그러나, 벤트 중심에서 수평 방향 46, 56cm 위치로부터 수직방향 50cm에서 측정된 압력과 수평 방향 26, 36cm 위치로부터 수직방향 40cm에서 측정된 압력은 증가 추세로 나타났다.

벤트 중심으로부터 수직 방향 20cm 위치에서 수평방향 벤트 중심 지점에서 측정된 압력이 최대로 나타났다. 위의 결과는 Chiu et al., (1977)에 의해 제시된 타원체 압력 전개 이론과 거의 일치됨을 보였다.

3. 결론

부분 개방 공간에서 가스가 폭발 할 때 폭발구를 통하여 배출되는 압력이 주위환경에 미치는 영향을 고려할 필요가 있다. 개구부 중앙으로부터 거리와 위치에 따른 폭발 압력의 형상과 크기를 평가하기 위하여 부분개방공간에서 가스폭발이 외부에 미치는 영향 실험을 하였다.

축소모델 실험 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 벤트 중심에서 수직 방향 20, 30, 40, 50, 100cm 위치에서의 압력은 감소하는 경향으로 측정되었다.

2. 벤트 중심에서 수직 방향 30, 40, 50cm 위치로부터 수평방향 46, 56cm에서 측정된 압력은 증가하는 경향으로 나타났다.
3. 벤트 중심에서 수평 방향 16, 26, 36, 46, 56cm 위치에서의 압력은 감소하는 경향으로 측정되었다.
4. 벤트 중심에서 수평 방향 46, 56cm 위치로부터 수직방향 50cm에서 측정된 압력과 수평 방향 26, 36cm 위치로부터 수직방향 40cm에서 측정된 압력은 증가 추세로 나타났다.
5. 벤트 중심으로부터 수직 방향 20cm 위치에서 수평방향 벤트 중심 지점에서 측정된 압력이 최대로 나타났다.

위의 결과는 Chiu et al., (1977)에 의해 제시된 타원체 압력 전개 이론과 거의 일치됨을 보였다. 압력 값에 따른 폭발 거동을 보면 수직으로 긴 타원형 모양으로 실험결과 관찰되었다. 따라서 위험설비로부터 인명, 설비에 대한 위험을 감소시키기 위해서는 일정거리 이상의 안전거리를 두는 것이 좋고, 폭발사고 시 수직 방향으로의 폭발압력이 크므로 전신주 등의 가공설비 등을 안전거리 이상으로 설치하는 것이 바람직하다.

폭발 방출구를 통해 배출된 외부 압력으로 인한 인근 및 주변시설 안전 거리의 설계 시 타원체 압력 전개 이론을 적용하여 위험성 평가를 수행함이 요구된다.

참고문헌

1. Bultin, R. N., & Tonkin, P. S. (1974). Pressures produced by gas explosions in a vented compartment. Fire Research Note No. 1019.
2. Crowhurst., Colwell, S. A., & Hoare, D. P. (1995a). The external explosion characteristics of vented dust explosions. In ICHEME Symposium Series No. 139.
3. Det Norske Veritas (1979). Gas explosions on offshore platforms; experimental investigations on partly confined gas explosions. Data report from 1978 test.
4. NFPA 68. "Guide for Venting of Deflagrations", Quincy, National Fire Protection Association, 1994.
5. Tom Forcies, & Robert Zalosh (2000). External pressures generated by vented gas and dust explosions. Journal of Loss Prevention in the Process Industries Vol. 13 pp. 411-417.