

가스폭발에 의한 폭풍압의 특성에 관한 연구

박승일 · 오규형* · 이진영 · 라선종

호서대학교 대학원 · *호서대학교 소방학과

1. 서론

가스폭발 시 폭발 압력에 의해 건물의 일부 또는 전체적인 파괴와 함께 외부에 영향을 미치는 영향은 주로 폭풍파의 압력과 고온의 화염이다. 그 중에서도 폭풍압은 건물에서의 가스폭발 시 파열면을 통과한 급격한 압력 방출에 의해 생겨나는 물리적인 현상으로 그 충격은 때에 따라서 구조물을 붕괴시킬 만큼 크다. 폭발에 의해 발생하는 폭풍압에 의한 피해가 크기 때문에 과거부터 폭풍압에 대한 연구가 계속되어 왔다.

그 동안의 폭풍압에 대한 연구는 주로 군사적인 목적으로 화약이 폭발할 때 발생하는 폭풍파의 파괴력에 대하여 연구되어져 왔고, 지금 사용되어지고 있는 데이터들은 화약의 폭발실험을 통해 얻어진 데이터이고 가스폭발에 대한 폭풍압은 TNT당량법 등으로 환산하여 사용되며, 가스 폭발실험을 통해 얻어진 데이터는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 소형용기를 이용하여 가스폭발이 일어날 때 폭풍압력에 영향을 미치는 변수들을 연구하고자한다. 소형용기의 내부에 일정압력의 공기를 이용하여 파열면의 면적과 거리 및 내부 압력의 변화 등을 이용하여 폭풍압의 거동을 알아본 후, 얻어진 공기에 의한 폭풍압의 변수를 고려하여 연료로 사용되는 가연성 가스인 LP가스를 폭발시료로 사용하여 농도 변화나 파열면적, 파열판 강도 등에 따른 가스 폭발실험을 통해 가스 폭발 시 폭풍압의 영향을 주는 변수 들을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 이론

폭풍압은 에너지가 갑자기 주위의 공기에 방출될 때에 충격파가 발생하게 되는데 처음에는 충격파가 초음속으로 공기 속을 통과하나 충격파가 강도가 떨어짐에 따라 음속 이하의 속도로 감소하게 된다. 이러한 충격파는 강한 바람을 동반하고 파열 파동의 전면은 충격파 면으로 공기 중에서 충격파가 파열파동으로 나타나는데 이와 같은 충격파를 폭풍압 이라고 한다.

이러한 폭풍압은 보통 폭발과정에서 폭연이나 폭굉 가운데 생성되는데 최초 폭발이 일어나면 폭풍압은 혼합기의 압축파가 되어 주위에 전달되지만, 압축파 내부에는 대기가 단일 압축하여지므로 온도가 상승되고 음속이 증가되어 압축파 후반부에는 전단부

보다 전파속도가 크게 된다. 후방의 압축파가 전방으로 추격되어 파형은 그림 1과 같이 우뚝 솟아오르고 불연속 파두를 갖는 충격파로 생성되어 전파된다.

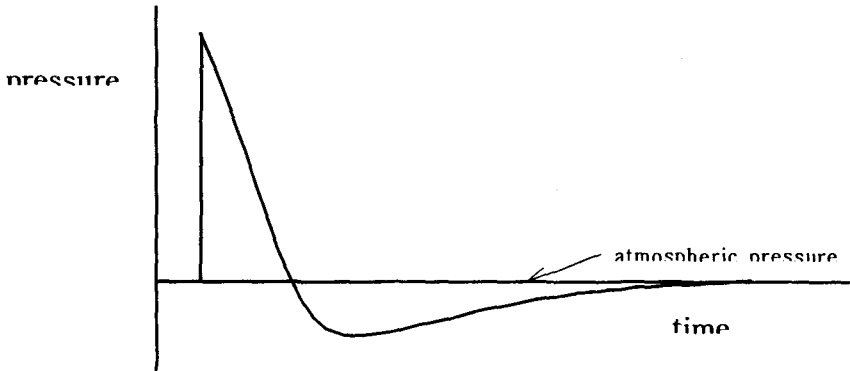


Fig.1 typical pressure-time curve for explosive blast wave

이러한 충격파가 고체 벽에 충돌할 때 압력이 낮은 경우는 고체 벽에 탄성파가 도달되어도 벽면이 변형되지 않지만, 압력이 높아져 충격이 고체의 항복점 이상의 충격을 가하면 고체벽면은 유동성을 갖는 것 같이 되고 고체 벽면내부에 충격파가 전달되어 파괴되어진다. 다음은 표1은 폭발 시 건물 등에 대한 폭풍파의 영향에 대해 나타낸 것이다.

Table1. Damage level of blast wave

구분	·폭풍압(kg/cm ²)	영향의 내용
목조건물	0.08~0.1	창유리가 파손된다
	0.2~0.4	창틀이 파손된다
	0.6~0.7	가옥 뼈대가 틀어지고 기둥이 부러짐
인 체	0.5~1	상해 가능성이 있음
	3~5	사망 가능성이 있음

2.2 실험장치

가스를 이용한 폭발실험에 앞서 공기를 이용하여 폭풍앞에 미치는 변수를 알아보기 위해 그림. 2와 같이 실험 장치를 구성하였다.

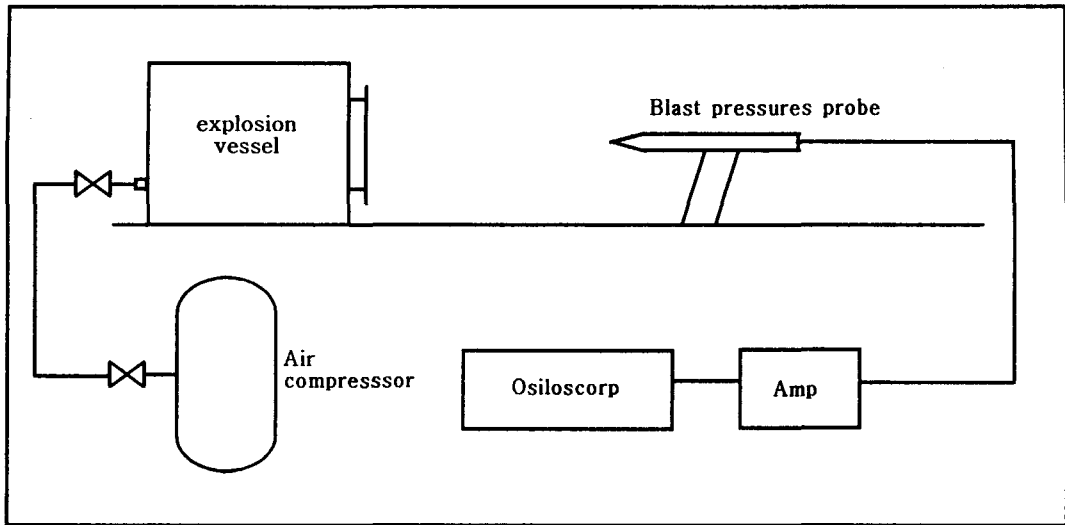


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

본 연구는 폭발압의 특성과 변수들을 고찰하고자 파열면의 크기, 거리, 용기 내부의 압력등을 변수로 하여 실험하였다.

폭발용기의 내용적은 20L이고, 파열판의 크기는 직경이 각각 11.4cm, 9.2cm, 8cm, 7.2cm로 하였으며, 폭발압을 측정할 수 있는 pencil type 압력센서를 파열면으로부터 25cm, 50cm, 75cm, 100cm거리 까지 각각 25cm의 간격을 두어 실험하였으며, 용기의 내부압력은 1기압(kg/cm^2)에서 5기압(kg/cm^2)까지 변화를 주어 실험하였다.

2.2 실험방법

20L의 폭발용기에 Air compressor를 이용하여 설정된 압력까지 압력을 1기압(kg/cm^2)에서 5기압(kg/cm^2)까지 각각 변화를 주어 용기 안에 가압하고 free field blast pressure probe를 파열 면으로부터 각각 25cm 씩 간격을 두어 설치하였다 파열면은 각각의 4종류의 파열판에 폴리에스테르 필름을 사용하여 각각의 설정내부압력에서 파열되도록 하였으며 자연적으로 파열되지 않을 경우에는 설정압력 도달 후 강제 파열시켜 폭발압을 형성하도록 하였다. 가스 시료를 넣는 경우는 먼저 용기 내부를 진공으로한 후 각 농도에 맞는 가스를 주입하고 나머지를 공기로 채워 혼합하는 방법으로 혼합가스의 농도를 맞추고, 혼합 가스가 형성된 후 압력 센사와 증폭기 및 오실로스코프를 reset 시키고 전기 스파크를 이용하여 폭발시켜 폭발압을 얻도록 하였다. 이때 내부 압력은 임의로 조절하기가 매우 어려웠으며 예비 실험을 통해 파열면의 Diaphragm 두께를 조절하여 내부 압력을 변화시키는 방법으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 파열면적에 따른 폭풍압

다음 Fig.3는 초기압력이 5Kg/cm² 이고 파열면에서 25cm 떨어진 위치에서 파열면 직경에 따른 폭풍압을 측정된 것으로 파열면적이 증가할수록 폭풍압이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 파열면적이 증가할 경우 용기내의 압력이 보다 짧은 시간에 방출되기 때문인 것으로 보이며 또한 내부 방출에너지가 크기 때문에 저항을 적게 받은 결과로 해석된다.

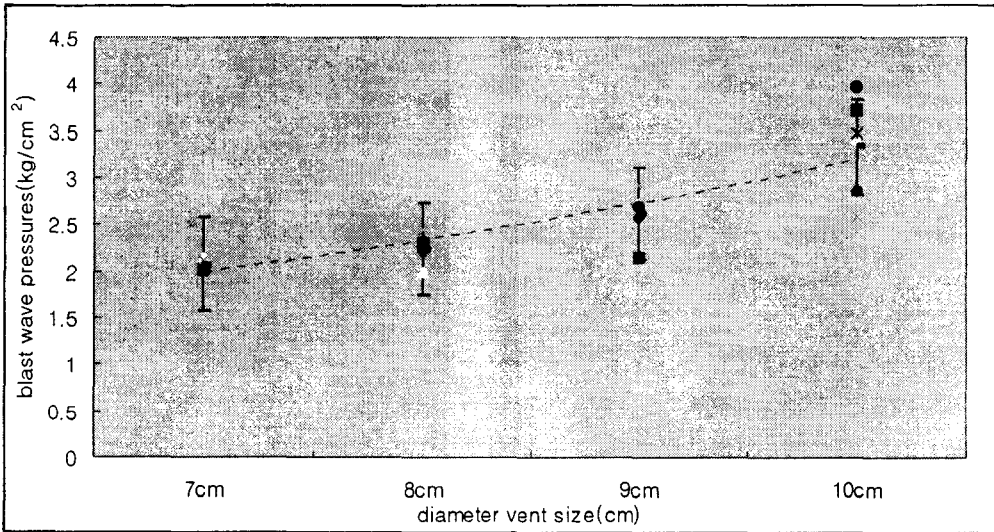


Fig.3 Blast wave pressure according to the distance from diaphragm

3.2 파열 압력에 따른 폭풍압

다음 Fig. 4는 파열 면적이 7cm 일 때 파열면으로부터 50cm 떨어진 곳에서 파열압력 (용기내의 압력)에 따른 폭풍압의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 용기내의 압력이 높을수록 폭풍압력이 증가하고 있으며 따라서 폭발에 의한 파열 압력이 높을 경우 외부에 미치는 파괴 효과도 크게 증가하여 파괴력이 커지게 됨을 알 수 있다. 파열 압력의 증가에 따른 폭풍압력의 증가는 측정 위치가 파열면에 가까울수록 영향이 크고 파열면으로부터 거리가 멀어질수록 영향이 작았다. 이는 거리가 멀어질수록 저항의 증가로 폭풍압이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

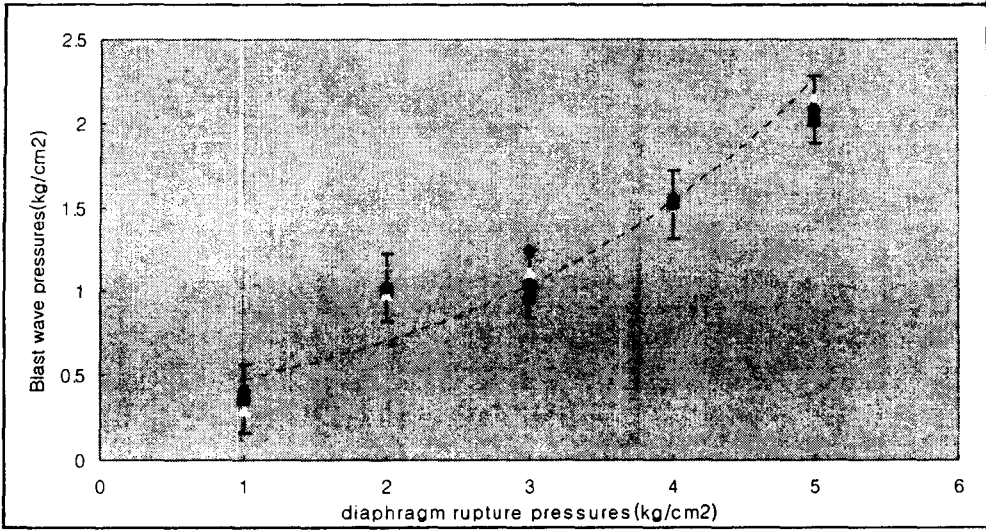


Fig.4 Blast wave pressure according to the rupture pressure

3.3 파열면으로부터 거리에 따른 폭풍압

다음 Fig. 5는 파열면 직경이 7cm 이고 용기내 파열 압력이 3kg/cm²일 때 거리에 따른 폭풍압을 측정한 결과로서 파열면으로부터 거리가 멀어질수록 급격하게 폭풍압이 감소하는 현상을 나타내고 있다. 이는 위에서 언급한 바와 같이 폭풍압이 진행하면서 저항의 증가와 에너지의 감소로 폭풍압이 현저히 감소하는 현상을 나타내는 것으로 보인다. 이러한 현상은 파열면적이 다르거나 파열 압력이 다른 경우에도 동일한 현상을 보여주고 있다. 그러나 표 1에서 보여준 것처럼 0.1 ~ 0.2 기압에도 건물의 일부 파손과 파손에 따른 인명 피해가 가능하므로 폭풍압의 위험을 간과해서는 안된다.

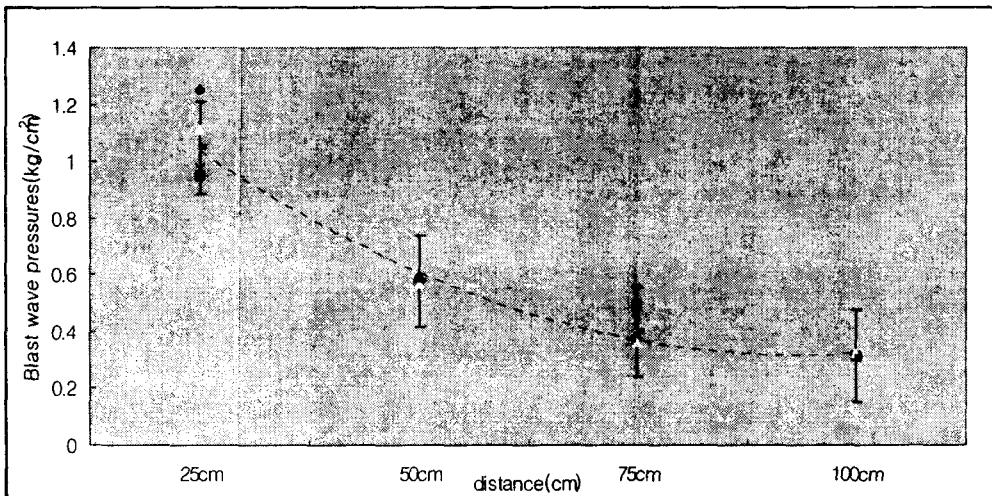


Fig. 5 Blast wave pressure according to the distance from diaphragm

4. 결 론

1차적으로 폭풍압에 대한 실험을 압축공기를 이용하여 실험하였으며 추후 가스폭발을 이용한 폭풍압의 거동을 연구할 것이며 지금까지의 실험 결과 폭풍압은 파열 면적에 따른 영향 보다는 초기압력 즉 파열 압력의 영향이 크게 나타남을 알 수 있으며 또한 파열면으로부터 거리가 증가할수록 폭풍압은 거의 지수함수적으로 감소함을 알 수 있었다. 가스 폭발에 의한 위험이 있는 경우 파열면의 면적을 증가 시키는 것은 파열 압력을 낮추게 되고 파열 압력이 감소하면 폭풍파의 위력도 감소시킬 수 있음을 알 수 있으며 폭발에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 적당한 크기의 압력방출 면적 계산이 요구된다. 또한 실제 가스를 취급하는 공정에서의 폭풍압에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 폭발을 봉쇄할 수 없는 경우는 폭발 위험성이 있는 지역의 구조물의 강도를 낮추어 폭풍압을 낮출 필요가 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. D. Bjerketvedt, J. R. Bakke and K. van Wingerden, Gas Explosion Hand book, Elsevier Science(1997)
2. Gilbert F. Kinney and Kenneth J. Graham, Explosive Shocks in Air second edition (1985)
3. Jones. D. L.(1970), Blast waves and scaling laws. H. Phys. Fluid, B(5), 1398
4. 이내우, 이진우 "최신 방폭공학" 신광출판사,2000년