

## 2단 경가스총에 대한 실험적 연구

이중근\* · 이종성\* · 김희동\*\* · 구자예\*\*\*

### Experimental Study on the Two-Stage Light-Gas Gun

Jungkuen Lee\* · Jongsung Lee\* · Heuydong Kim\*\* · Jaye Koo\*\*\*

#### ABSTRACT

Light gas guns have a large number of applications in various fields of engineering. A two-stage light gas gun can develop an extremely high pressure in a very short interval of time. This can be employed efficiently in the application of ultra-high pressure liquid jets. In general, the two-stage light gas gun is made up of a high pressure tube, a compression tube and a launch tube, each stage being separated by diaphragms. The first diaphragm is installed downstream of the high pressure tube and the second, downstream of the compression tube. In the present study, experiments are carried out to investigate the projectile velocity and pressure behavior in the tubes according to the pressure changes at diaphragm opening. It is found that the rupture pressure of the first diaphragm has a dominant influence on projectile velocity. It is also observed that at pressures greater than 14 bar, the pressure in the launch tube exceeds that in the compression tube.

#### 초 록

Two-stage light-gas gun은 고압실, 압축실 그리고 발사관으로 비교적 간단한 구조로 구성되며, 짧은 시간동안 초고압을 발생시키기 용이함으로 현재까지 고속충격역학, 발사체 공기역학, 재료역학 등 다양한 공학 분야에서 적용되어왔다. 본 연구는 초고압 액체 제트 분사에 적용하기 위한 기초적 연구로서, 고압실 하류에 설치된 제1격막의 파막 압력의 변화에 따른 발사체의 속도 변화 및 관내 압력 거동을 조사하기위하여, 다양한 격막을 적용하여 실험을 수행하였다. 제1격막의 파막 압력은 발사체의 속도에 지배적인 영향을 미치게 되며, 약 14 Bar이상일 경우 발사관의 압력이 압축튜브의 압력보다 크게 증가하였다.

Key Words: Two-Stage Light-Gas Gun(2단식 경가스총), 발사체(Projectile), 발사관(Launch Tube), Projectile Aerodynamics(발사체 공기역학)

\* 안동대학교 대학원 기계공학과

\*\* 안동대학교 기계공학과

E-mail: kimhd@andong.ac.kr

\*\*\* 한국항공대학교 우주 및 기계공학부

#### 1. 서 론

최근 초고압을 발생시키기 위한 방법으로 각종 폭약의 폭발현상을 이용한 방법이 많이 사용

되고 있다. 하지만 폭약의 폭발현상을 이용하여 초고압을 생성할 경우 실험의 안정성 및 실험공간의 제약, 그리고 폭발로 인해 고열이 발생하여 여러 계측장비의 오작동 및 잦은 고장을 유발하게 된다. 따라서 보다 안전하고 간단한 구조를 가진 2단식 경가스총의 필요성이 대두되어 왔다. 이러한 2단식 경가스총은 종래의 가스 혹은 화약총으로는 불가능한 속도 영역까지 물체를 가속시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 더욱이 종래의 화약총들은 구동가스의 압력이 크게 높지 않으며, 화약의 비중량이 상대적으로 크기 때문에 기체의 점성이 큰 특성을 가진다. 따라서 음속이 낮아져 물체를 가속시키는 데는 한계가 있었다. 그러나 2단식 경가스총은 밀도가 작은 수소, 헬륨 등의 가벼운 가스를 작동기체로 사용하게 되므로, 경 가스의 구동압력이 상당히 높아져 종래의 총들에 비하여 비행체의 속도를 수십배 정도 증가시킬 수 있다[1, 2]. 더욱이, 초고압 액체연료분사와 같이 가연성 실험재료를 사용하는 실험에서는 고열을 동반하는 화약총보다, 2단식 경가스총을 실험에 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## 2. 실험방법

2단식 경가스총의 구조는 Fig. 1과 같다. 크게 고압실, 압축실, 발사관으로 구성되며 고압실과 압축실 사이에 제1격막이, 압축실과 발사관 사이에 제2격막이 각각 위치한다.

본 연구에서는 제1격막의 조건을 강도가 다른 3가지 종류의 격막을 복합적으로 사용하여 제1격막의 과막압력을 조절하였다. 제2격막의 조건은 동일하게 적용하여 제1격막의 과막압력( $P_0$ )의 변화에 따른 압축실과 발사관의 압력거동 및 발사체(Projectile)의 비행속도를 측정하였다.

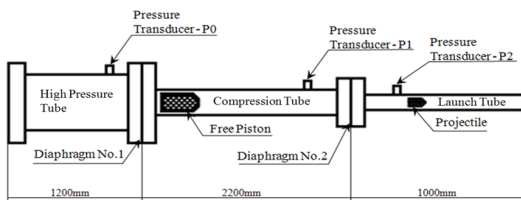


Fig. 1 Schematic of Two-Stage Light-Gas Gun

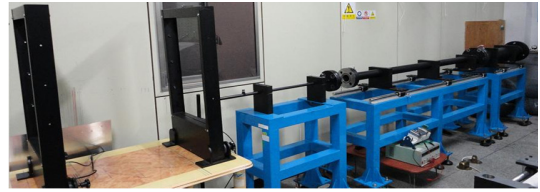
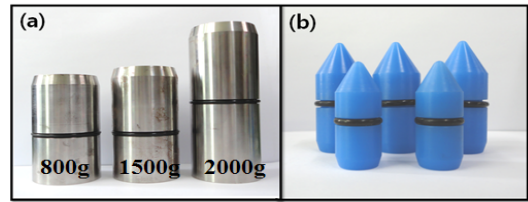


Fig. 2 Two-Stage Light-Gas gun in ANU



(a) Piston (b) Projectile

Fig. 3 Free piston and projectile

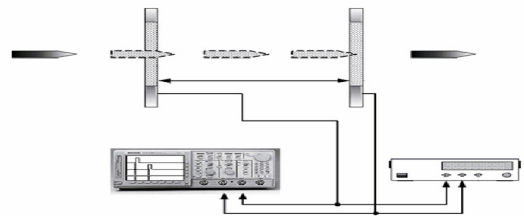


Fig. 4 Schematic of projectile velocity measurement system

압축실에는 좌우로 자유롭게 움직이며 압축실 내의 정체된 공기를 압축시킬 수 있는 피스톤이 있다. 피스톤은 스테인레스 스틸로 제작되었으며, 질량, 길이 그리고 외경은 각각 820g, 100mm, 60mm이다. 그리고 발사관 내에 위치한 발사체(Projectile)는 M.C Nylon 소재로 제작되었으며, 질량, 길이 그리고 외경은 각각 6g, 37mm, 15mm이다. 또한 기밀유지를 위하여 발사체 주위는 고무링을 부착하였다. 압력 측정을 위해 고압실( $P_0$ ), 압축실( $P_1$ ), 발사관( $P_2$ )에 압력센서(XT-190-1000A)를 설치하였으며, 제1격막이 과막되는 압력을 측정하기 위해 고압실에 위치한 센서는 제1격막에 인접한 위치( $P_0$ )에 두었고, 제2격막의 과막 직후의 압력을 측정하기 위해  $P_1$ 과  $P_2$ 는 제2격막에 인접하게 두었다. 발사체의 속도 측정 방법은 Fig. 4와 같이 2개의 레이저 센서와 오실로스코프를 사용하였다. 장치의 구성은 발사체의 속도를 측정하는데 공기저항이 발사체에

미치는 영향을 최소화 하기위해, 첫 번째 레이저 센서는 발사관(Launch tube)의 출구에서 0.2m 떨어진 위치에 설치하고, 두 번째 레이저 센서는 첫 번째 레이저 센서와 0.8m 간격으로 설치하였다. 속도측정은 발사체가 일정한 간격을 두고 설치된 2개의 레이저 센서를 통과하는데 걸리는 시간을 오실로스코프로 측정하여 간단히 계산하였다.

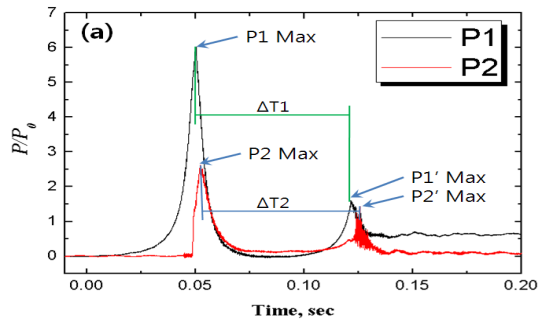
### 3. 실험결과 및 고찰

Figure 5에는 각각의  $P_0$ 값에서  $P_1$ ,  $P_2$ 의 압력 변화를 나타낸다.  $P_0$ 의 값은 제1격막이,  $P_1$  max의 값은 제2격막이 각각 파막 되는 압력값이며,  $P_2$  max의 값은 제2격막이 파막된 후 발사체에 작용하는 압력값이다.

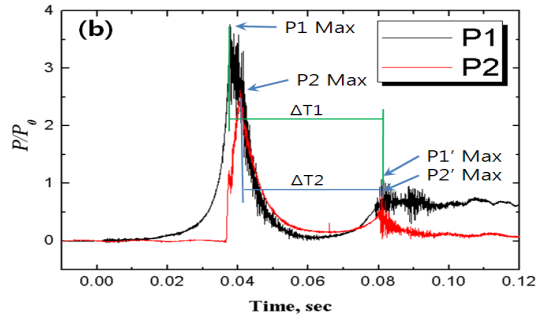
제1격막이 파막 되어 고압실로부터 배출된 고압의 공기가 압축실에 위치한 피스톤을 가속시키게 되며, 피스톤은 압축실에 있는 정체된 공기를 압축하게 되어 압력이 급격히 증가하는 것을 Fig. 5의  $P_1$ 의 값의 변화를 통해 알 수 있다. 제2격막의 파막 이후, 발생하는 충격파가 관을 따라 하류로 전파되며, 충격파가 지난 후 압력이 급격히 증가하는 것을 Fig. 5의  $P_2$ 의 값의 변화를 통해 알 수 있다. 또한, 제2격막의 파막 이후 발사체가 발사하게 되며, 이때  $P_1$ 과  $P_2$ 에서 발생하는 격렬한 압력 진동은 관내에서 반복적으로 반사되는 충격파와 팽창파의 영향으로 발생한 것으로 판단된다.

Figure 6은  $P_0$ 의 값을 변화시켜 측정한  $P_1$  max와  $P_2$  max 값을 각각의  $P_0$ 로 무차원화 시켜 작성한 그래프이다.  $P_1$  max 값은  $P_0$  값의 증가와 무관하게 일정한 값을 유지 하는 반면,  $P_2$  max 값은  $P_0$  값이 증가함에 따라 상승하고 있음을 알 수 있다. 또한 14bar 이하의  $P_0$  값에서는  $P_2$  max 값이  $P_1$  max 값보다 낮지만,  $P_0$  값이 14bar 이상일 경우  $P_2$  max 값이  $P_1$  max 값보다 급격하게 증가하였다[3].

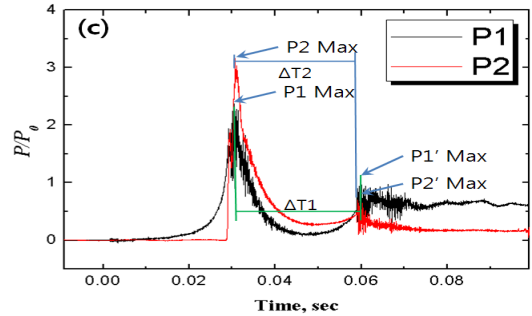
Figure 7은  $P_0$  값에 따른 발사체(Projectile)의 비행속도를 나타낸 그래프이다. 발사체의 속도는  $P_2$  max 값의 영향을 받아  $P_0$  값에 따라 증가하는 것을 볼 수 있다.



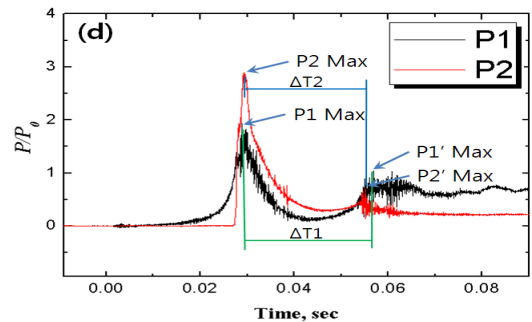
(a)  $m_{\text{piston}}=820\text{g}$ ,  $m_{\text{projectile}}=6\text{g}$ ,  $P_0=6.2\text{bar}$



(b)  $m_{\text{piston}}=820\text{g}$ ,  $m_{\text{projectile}}=6\text{g}$ ,  $P_0=10.53\text{bar}$



(c)  $m_{\text{piston}}=820\text{g}$ ,  $m_{\text{projectile}}=6\text{g}$ ,  $P_0=15.66\text{bar}$



(d)  $m_{\text{piston}}=820\text{g}$ ,  $m_{\text{projectile}}=6\text{g}$ ,  $P_0=18.7\text{bar}$

Fig. 5 Pressure-time curve

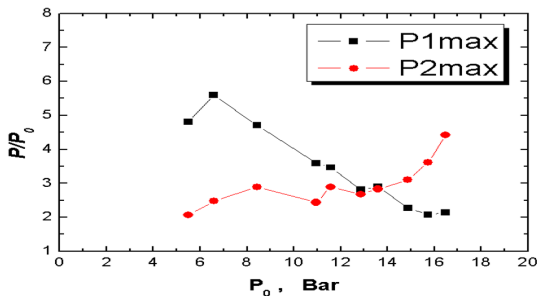


Fig. 6  $P_1$  max and  $P_2$  max versus  $P_0$

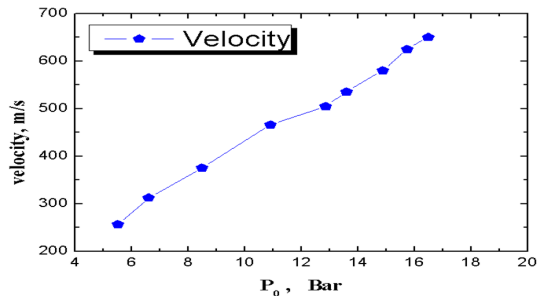


Fig. 7 Projectile velocity versus  $P_0$

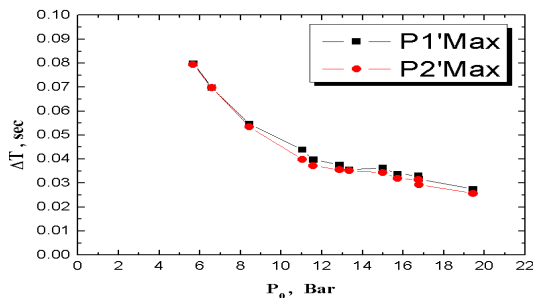


Fig. 8 Shock wave reflection time

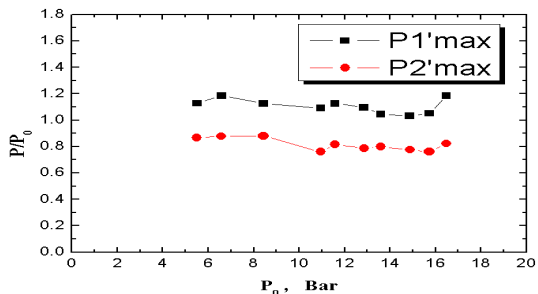


Fig. 9 Shock wave reflection versus  $P_0$

Figure 8에는 Fig. 5의 그래프에서 제2격막의 파막시 발생하는 충격파의 영향으로 나타나는  $P_1'$  max와  $P_2'$  max의 발생시간의 시점을  $P_1$  max와  $P_2$  max의 발생시점으로부터 계산하여 작성한 그래프이다.  $P_0$ 의 압력이 높을수록 충격파

가 반사되어 되돌아오는 시간이 감소하였다[1]. 또한, Fig. 9의 그래프는 제2격막의 파막시 발생하는 충격파의 영향으로 나타나는  $P_1'$  max와  $P_2'$  max의 크기를  $P_0$ 로 무차원화 시켜 작성한 그래프이다. Fig. 9를 보면  $P_0$ 값이 증가함에 따라 일정한 비율로 반사충격파의 크기가 커지는 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 Two-stage light-gas gun(2단식 경가스총)을 초고압 액체연료분사에 적용하기 위한 기초적연구로 제1격막 압력에 따른 2단식 경가스총의 발사체의 속도 및 압력거동을 조사하기 위해 수행하였다. 실험을 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

제1격막의 파막압력( $P_0$ )은 2단식 경가스총의 구동에 지배적인 영향을 미치게 되며, 이는 발사관의 압력상승 및 발사체의 속도에 큰 영향을 미친다는 것을 확인 하였다.

또한,  $P_0$ 의 압력이 8.5Bar 일 때, 발사체는 음속으로 비행하였으며,  $P_0$ 가 16.48Bar 일 때, 발사체는 음속의 두배에 가까운 속도로 비행하였다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단의 사업인 일반연구자 지원사업(과제번호:2009-0087898)의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 김희동, "유체공학에서 충격파현상(II)," 대한기계학회지, 제35권, 제1호, 1995, pp.71-83.
2. Lukasiewicz, J., "Constant Acceleration Flows and Applications to High-Speed Guns," AIAA Journal, Vol. 5, No. 11, Nov., 1967.
3. 강현구, Rajesh G., 이정민, 김희동 "Ballistic Range Simulator의 성능평가를 위한 실험적 연구" 한국추진공학회 제27회 추계학술대회 논문집 pp.367~370