

Ballistic Range를 이용한 초음속 Projectile 유동의 가시화

강현구* · 신춘식** · 최종윤** · 이종성** · 김희동***

Visualization of Supersonic Projectile Flow in a Ballistic Range

Hyungoo Kang* · Choonsik Shin** · Jongyoun Choi** · Jongsung Lee** · Heuydong Kim***

ABSTRACT

The ballistic range has long been employed in a variety of engineering fields such as high-velocity impact engineering, projectile aerodynamics, creation of new materials since it can create an extremely high-pressure state in very short time. Two-stage light gas gun is being employed most extensively. The present experimental study has been conducted to develop a new type of ballistic range which can easily perform a projectile simulation. The experiment is conducted to find out the dependence of various parameters on the projectile velocity. The pressure in high-pressure tube, pressure of diaphragm rupture and projectile mass and piston mass are varied to obtain various projectile velocities. The flow field is visualized to see flow around projectile.

초 록

Ballistic Range는 오래전부터 짧은 시간에 극도의 고압상태를 만들어낼 수 있기 때문에 고속 충격역학, 발사체 공기역학, 새로운 재료의 생성과 같은 다양한 공학 분야에서 사용되어왔다. 2단 경 가스총은 가장 넓게 사용되어지고 있다. 현재의 실험적 연구는 발사체 가상실험을 쉽게 수행할 수 있는 새로운 타입의 Ballistic Range를 개발하기위해 진행되어져왔다. 실험은 발사체 속도의 다양한 변수들의 의존성을 찾기 위해 수행되었다. 다양한 발사체 속도를 얻기 위해 고압실압력, 격막파열압력, 발사체와 피스톤 질량에 변화를 주었다. 또한 발사되는 발사체 주변의 유동을 알아보기 위해 유동장을 가시화하였다.

Key Words : Ballistic Range (발리스틱 레인지), Two-Stage Light Gas Gun (2단 경 가스총), Projectile Aerodynamics (발사체 공기역학), Shock Tube (충격파 관), 유동장 가시화 (Flow Field Visualization)

1. 서 론

일반적으로 발사체를 정지 기체속에서 초음속으로 발사하여, 발사체의 비행상태 및 모형에서 발생하는 공기역학적 특성을 조사하거나, 또는 정지한 표적에 충돌시켜 고속충돌 파괴현상 혹은 충돌에 의한 초고압력 하에서 재료의 물성 등에 관한 연구를 수행하기 위한 장치를 Ballistic Range(BR)라고 부른다^[1]. 이러한 BR은 자유비행체 발사장치, 경 가스총, 화약총, 연소총, 레일총(rail gun), 전기총(electric gun), 램가속기(ram accelerator) 및 초고속 액체제트 발생장치 뿐만 아니라, 우주선의 비행시험, 충격초고압발생, space debris의 충돌연구, 각종 가공기술, 중량물의 가속 등 BR의 응용분야는 매우 다양하다고 할 수 있겠다. 최근에는 수만에서 수십만 기압의 고압상태를 만드는 데 관심이 집중되고 있다.^[2-3]

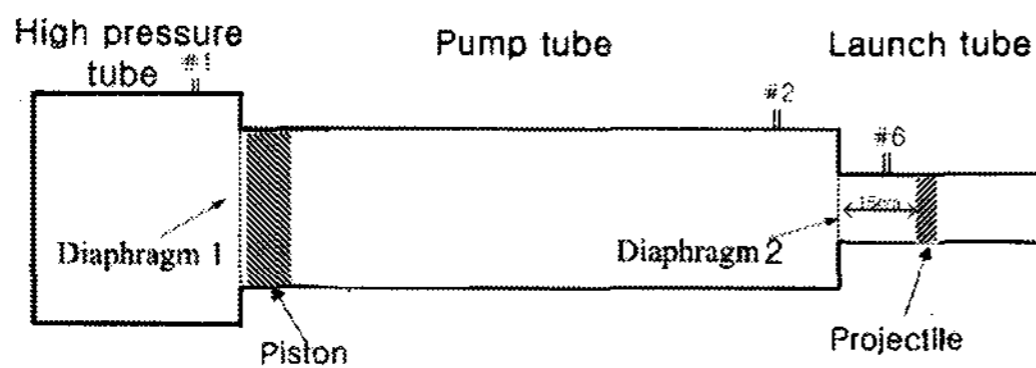


Fig. 1 Typical ballistic range simulator

그림 1은 Ballistic Range Simulator[4-5]의 개략도이다. 펌프실내에서 자유롭게 움직일 수 있는 무거운 피스톤은 제1 격막에 인접하게 설치하며, 발사체(Projectile)는 제2 격막에 인접한 발사관(Launch tube)내에 설치한다. 고압실에는 고압의 기체를 충전하며, 펌프실에는 모형을 가속하는데 효율이 좋은 가벼운 기체인 수소나 헬륨 등의 기체를 충전한다. 그림 1에 예시한 바와 같이, 제1 격막이 파열되면, 압력차에 의해 무거운 피스톤이 펌프실내를 오른쪽으로 이동하면서 펌

프실의 기체를 등엔트로피적으로 압축하게 된다. 이러한 압축에 의하여, 가벼운 기체가 충분히 고온 고압으로 도달하였을 때, 제2 격막이 파막되도록 설정하면, 발사체는 압력차에 의하여 가속되어 측정부내를 자유비행하게 된다. 이와 같이 Ballistic Range에서는 먼저 고압실의 고압기체의 에너지가 피스톤의 운동에너지로 변환되며, 피스톤에 의해 가열 압축된 고온 고압의 기체가 구동원으로 되어 발사체의 운동에너지로 다시 변환되기 때문에 two-stage light gas gun으로 일컬어진다.

2단식 경 가스총을 실험실에서 이용하는 경우, 수소 헬륨 등의 기체를 이용하여야 하며, 이들 가스를 가압하는데 어려움이 있다. 더욱이 각종 탄두의 공기역학 시험을 실험실에서 용이하게 실현하기 위해서는 구동가스를 압축공기로 하고, Projectile 비행마하수를 비교적 용이하게 변화시킬 수 있는 새로운 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 2단식 경 가스총을 이용하여 제2격막의 파막에 의해 발생하는 충격파를 이용한 ballistic range simulator의 성능을 평가하고, 관내의 압력변화와 발사체 속도의 상관관계를 규명하였다. 발사되는 발사체 주변의 유동을 알아보기 위해 쉘리렌 시스템을 이용하여 유동장을 가시화 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 BR의 구동으로 인한 압력과 발사체속도를 측정하고, 발사체의 유동장을 가시화하였다. 펌프실에 사용되는 피스톤은 스테인레스 스틸로 만들어졌으며, 질량은 0.8, 15, 2.0 kg으로 총 3가지 type이고, 길이와 외경은 각각 90 mm, 외경 60 mm이다. 그리고 발사체는 질량이 약 5.8g 이고 M.C Nylon 소재로 만들어졌으며, 기밀유지를 위하여 발사체 주위에 고무링을 부착하였다. 격막은 OHP필름을 이용하였고, 고압실에서의 초기 격막 파열 압력을 다양하게 하기 위해 OHP필름의 장수를 바꾸거나 쉽게 파막될 수 있도록 변형을 주었다. 그림 1에서 보이는 바

* 안동대학교 기계공학과 대학원

** 안동대학교 기계공학과

*** 안동대학교 기계공학부

연락처, E-mail: kimhd@andong.ac.kr

와 같이 BR는 고압실, 펌프실, 발사실에 각각 1개씩 총 3개의 센서 설치부 #1, 2, 6을 제작하여 센서를 삽입해 압력을 측정하였고, 발사체 속도는 나타낸 두 개의 laser sheet를 이용해 측정하였다. 유동장을 가시화 하기 위해서 쉘리렌 시스템을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 0.8 kg의 피스톤을 사용한 경우, 각 압력측정에서의 시간에 따른 압력의 변화를 나타낸다. 초기 격막 파열 압력은 5가지로 변화시켰다. 제 1격막이 파막되어 고압실로부터 배출된 고압의 공기가 피스톤을 좌에서 우로 가속시킨다. 가속되는 피스톤은 피스톤과 제 2 격막 사이의 정체된 공기를 등엔트로피적으로 압축하게 되어 압력이 서서히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이후 제 2 격막에 대한 한계압력값($p = 37.88 \text{ bar}$)이 되면, 격막 파열로 인한 충격파에 의해 2번 센서의 최대압력이 약 48.41 bar까지 상승하게 된다. Case 2 ~ 5의 시간에 따른 각 측정점에서의 압력 변동은 case 1과 유사한 형태로 나타난다. 그러나 초기 격막 파열 압력이 달라짐에 따라 다른 두 개의 측정점에서 얻어진 최대압력 값은 달라지게 된다. 고압실의 파막 압력이 증가할수록, 발사실의 최대압력 값은 증가하게 되지만, 펌프실의 파막 압력은 제 2격막의 재질이 동일하기 때문에 제 1격막의 파막 압력과는 무관하게 거의 동일한 것을 볼 수 있다.

그림 3 및 4는 각각 1.5, 2.0 kg의 피스톤을 사용시 시간에 따른 압력변화 선도이다. 피스톤 질량을 변화시킴에 따라 초기 격막 파열 압력을 제외한 나머지 #2, 3번의 최대압력 값은 차이가 나지만 압력변동은 유사한 형태로 나타난다.

그림 5는 피스톤의 중량이 발사체 모형의 발사속도에 미치는 영향을 나타낸다. 고압실 압력에 대해 피스톤 질량의 변화에 따라 발사체 속도가 달라짐을 볼 수 있다. 다소 속도의 편차는 미약하지만 초기 격막 파열 압력을 20 bar 이상으로 증대시키면 피스톤 질량이 증가함에 따라

발사체 속도가 크게 증가한다.

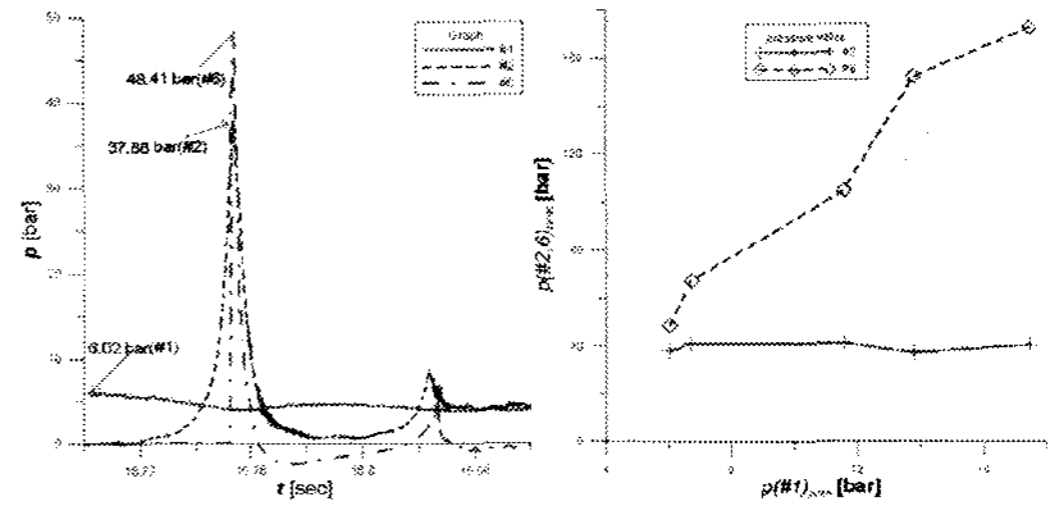


Fig. 2 P-t curve and variation of maximum pressure with initial pressure as piston 0.8 kg

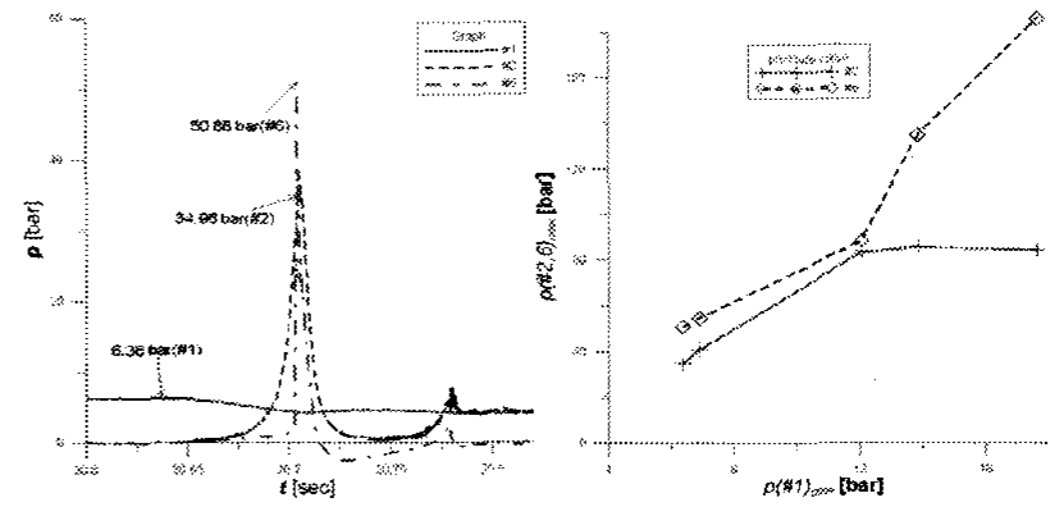


Fig. 3 P-t curve and variation of maximum pressure with initial pressure as piston 1.5 kg

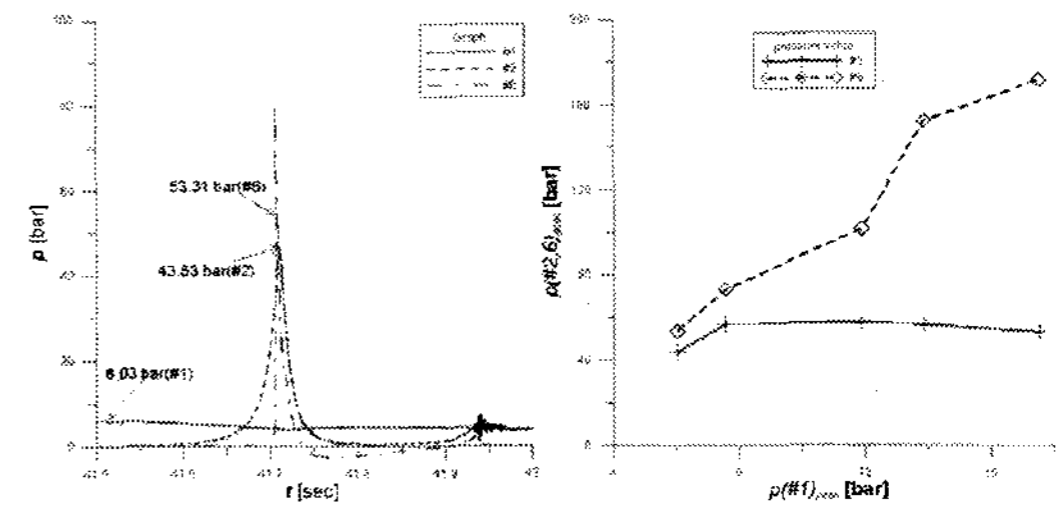


Fig. 4 P-t curve and variation of maximum pressure with initial pressure as piston 2.0 kg

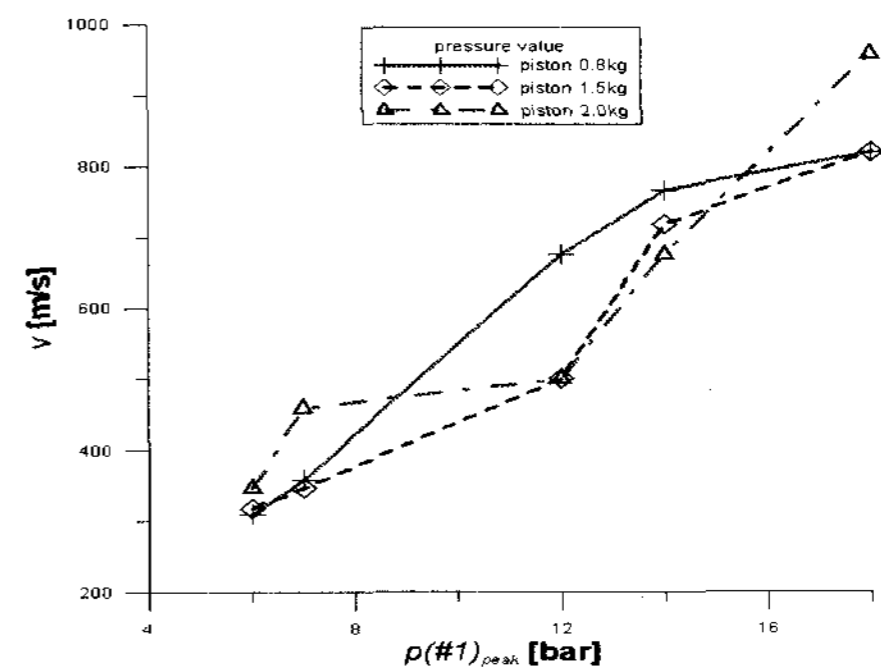
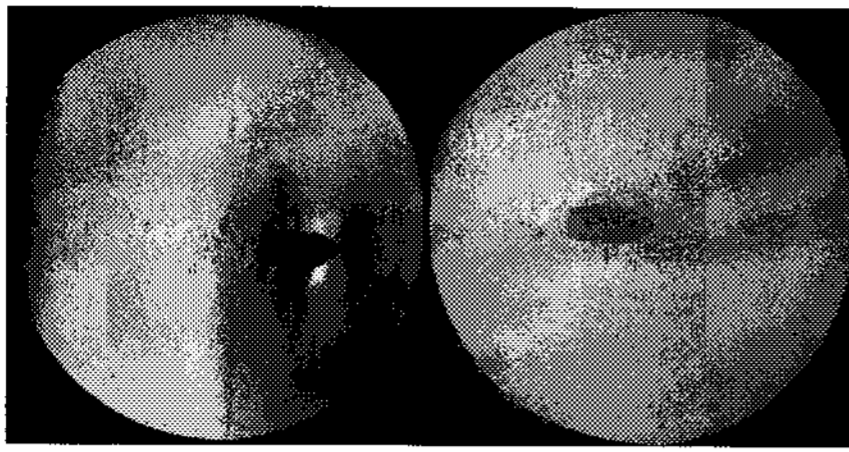
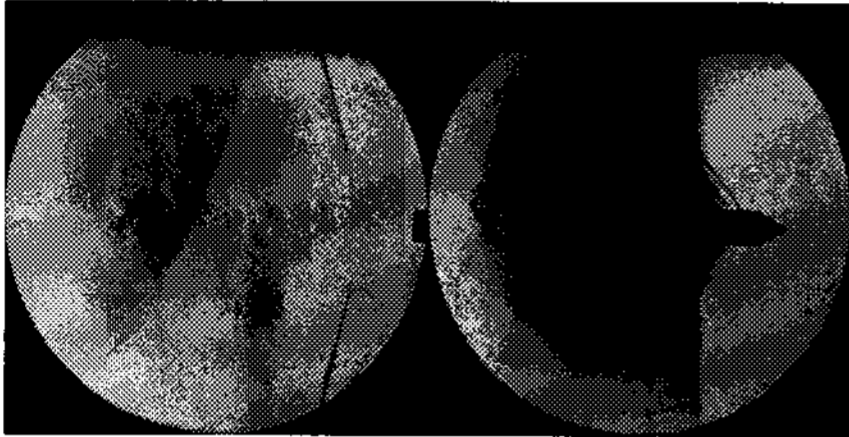


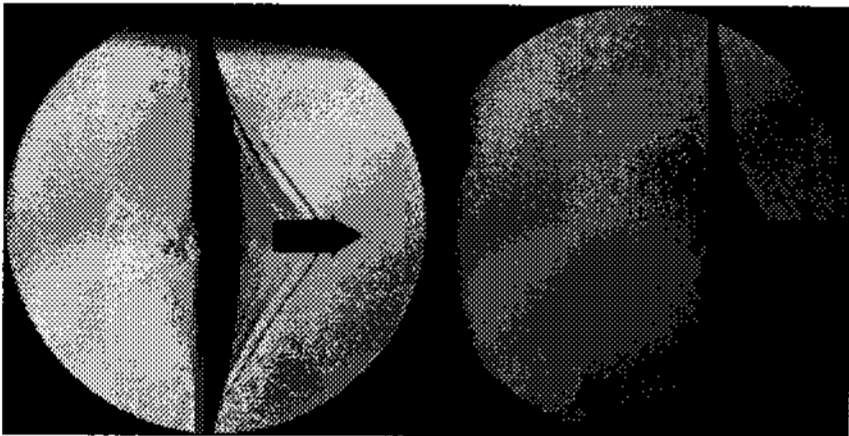
Fig. 5 Variation of projectile velocity with initial pressure and piston mass



(a) $V_{pr} = 310 \text{ m/s}$



(b) $V_{pr} = 333 \text{ m/s}$



(c) $V_{pr} = 680 \text{ m/s}$

Fig. 6 Visualization pictures through projectile velocity

그림 6에는 발사체 주변의 유동장을 가시화한 결과를 나타내었다. 발사체 속도가 310 m/s인 그림 6(a)의 경우, 발사체의 비행속도가 음속에 도달하지 못하여, 전방에 충격파가 발생하지 않는다. 그러나, 발사체의 선두부를 지나면서 팽창 파에 의해 유동이 가속하게 되며, 이로 인한 고무링 근처영역에서 유동이 압축하는 경향이 보이고 있다. 그림의 오른쪽은 칼라 쉘리렌 사진이다. 그림 6(b)의 경우에도 그림(a)와 마찬가지로 비행속도가 음속에 도달하지 못해 전방에 충격파가 발생하지 않는다. 발사체 중앙부의 고무링

영역에서 유동이 압축하며 충격파가 선명하게 나타나는 것이 관찰된다. 이와는 달리 그림 6(c)에서는 발사체 속도가 마하수 2가 되며 전방에 강한 충격파 형태가 보인다. 또한 발사체 후면부에서의 난류성 후류가 명확히 관찰된다.

3. 결 론

본 연구에서 결과는 다음과 같다.

1. 발사체의 속도는 발사체의 격막 압력비와 피스톤의 질량에 민감하게 의존한다.
2. 피스톤 질량이 증가함에 따라 각 압력측정 위치에서 격막 파열에 따른 최대압력 값이 상승하고, 초기 격막 파열 압력을 증대 시키면 발사체 모형 직전의 압력이 극대화 된다.
3. 발사체 속도를 변화시켜 유동장을 가시화하였다.

참 고 문 헌

1. Kim, H. D, 1995, "Shock Wave Phenomena in Fluid Engineering(II)", KSME,, Vol. 35, No. 1, pp. 71~83.
2. Chhabildas, L. C., Kmetyk, L. N., Reinhart, W. D. and Hall, C. A., 1995, " Enhanced Hypervelocity Launcher - Capabilities to 16 Km/s," Intl. J. Impact Engineering, Vol, 17, pp. 183-194.
3. Timothy, G. T. and Lalit, C. C., 1995, "Computational Design of Hypervelocity Launchers," Intl. J. Impact Engineering, Vol, 17, pp. 849-860.
4. Charters, A. C., 1987, "Development of High-Velocity Gas-Dynamics Gun," Intl. J. Impact Engineering, Vol, 5, pp. 183-207.
5. Charters, A. C., 1995, "The Early Years of Aerodynamic Ranges, Light-Gas Guns, and High Velocity Impact," Intl. J. Impact Engineering, Vol, 17, pp. 151-182.