

Ballistic Range Simulator의 성능평가를 위한 실험적 연구

강현구* · G. Rajesh** · 이정민*** · 김희동****

An Experimental Study for the Performance Test of a Ballistic Range Simulator

Hyungoo Kang* · G. Rajesh** · Jungmin 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, etc, 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 ballistic range consists of a high-pressure tube, piston, pump tube, shock tube and launch tube. 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 are varied to obtain various projectile velocities. This study also addresses the effect of the presence of a shock tube located between the pump tube and launch tube on system study. The experimental results are compared with those obtained through an author's theoretical study.

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. Ballistic Range은 고압튜브, 피스톤, 펌프튜브, 충격튜브, 발사튜브로 구성된다. 펌프튜브와 발사튜브사이에 충격튜브의 삽입의 효과는 조사중이다. 실험은 발사체 속도의 다양한 변수들의 의존성을 찾기 위해 수행되었다. 고압튜브압력, 격막파열압력, 발사체질량은 다양한 발사체 속도를 얻기 위해 변화를 주었다. 저자의 이론적 연구를 통해 얻는 결과값과 실험적 결과값을 비교해보기로 한다.

Key Words: Ballistic Range(발리스틱 레인지), Two-Stage Light Gas Gun(2단 경 가스총), Projectile Aerodynamics(발사체 공기역학)

* ** 안동대학교 기계공학과 대학원

*** (주) 풍산 기술연구소

**** 안동대학교 기계공학과

연락처, E-mail: kimhd@andong.ac.kr

일반적으로 어떤 Projectile을 정지 기체속에서 초음속으로 발사하여, 발사체의 비행상태 및 모형에서 발생하는 공기역학적 특성을 조사하거나, 또는 정지한 표적에 충돌시켜, 고속충돌 파괴현상이나 충돌에 의한 초고압력 하에서 재료의 물성 등에 관한 연구를 위한 장치를 Ballistic Range(BR)라고 부른다⁽¹⁾. 이러한 BR은 어떤 모형을 측정부에 고정하여, 그 주변의 초음속 혹은 극초음속유동을 발생시켜서 실험을 수행하는 통상적인 초음속 풍동(supersonic wind tunnel), 충격파 풍동(shock tunnel) 또는 Gun Tunnel 등과 는 달리, 모형이 정지 기체속을 가속 운동하기 때문에 모형 주위에서 발생하는 공기역학적 특성을 조사하는 것은 풍동에 비하여 대단히 어렵다. 그러나 일반적으로 풍동실험에서 경험하게 되는 유동의 비균일성 및 난류문제 그리고 모형의 지지대가 유동장에 끼치게 되는 영향이 전혀 없기 때문에 실제에 가까운 유동을 실현하기 쉬운 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로, 최근 BR을 이용하는 많은 응용연구가 수행되고 있다. 예를 들어, 자유비행체 발사장치, 경 가스총, 화약총, 연소총, 레일총(rail gun), 전기총(electric gun), 램 가속기(ram accelerator), 초고속 액체제트 발생장치 뿐만 아니라, 우주선의 비행시험, 충격초고압발생, space debris의 충돌연구, 각종 가공기술, 중량물의 가속 등 BR의 응용은 매우 다양하다.

Fig.1에는 전형적인 Ballistic Range의 일례를 나타내었다. 제1 격막에 인접하고, 펌프실내에서 자유롭게 움직일 수 있는 무거운 피스톤을 설치하여, 발사체(Projectile) 즉 모형은 제2 격막에 인접한 발사관(Launch tube)내에 설치한다. 고압실에는 고압의 기체를 충전하며, 펌프실에는 모형을 가속하는데 효율이 좋은 가벼운 기체 즉 수소나 헬륨 등의 기체를 충전한다. 이러한 형태의 Ballistic Range는 위에서 기술한 Gun Tunnel의 노즐 부분을 발사관으로 대체한 것과 같으며, 발사관 내부에 모형을 장착하게 된다. 또 고압기체와 펌프실의 가벼운 기체를 이용하여 모형을 가속하게 되므로, BR을 일반적으로 2단식 경 가스총(Two-stage light gas gun)이라고도 한다.

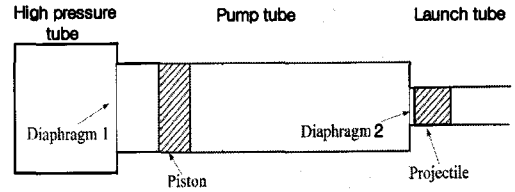


Fig. 1 Typical Ballistic Range

그림에 예시한 바와 같이, 제1 격막이 파열되면, 압력차에 의해 무거운 피스톤이 펌프실내를 오른쪽으로 이동하여, 펌프실의 기체를 등엔트로피적으로 압축하게 된다. 이러한 압축에 의하여, 가벼운 기체가 충분히 고온 고압으로 도달하였을 때, 제2 격막이 파막되도록 설정하면, 모형은 압력차에 의하여 가속되어 발사관 내를 고속으로 운동하여 측정부내를 자유비행하게 된다. 이와 같이 Ballistic Range에서는 먼저 고압실의 고압기체의 에너지가 피스톤의 운동에너지로 변환되며, 피스톤에 의해 가열 압축된 고온 고압의 기체가 구동원으로 되어 모형의 운동에너지로 다시 변환되기 때문에 two-stage라 하는데 주의를 필요로 한다. 대개의 경우, 발사관 출구에서 모형의 속도를 크게 하기 위해서는 발사관내에서 모형의 가속도를 가능한 한 크게 해 줄 필요가 있다. 그러나 모형재질의 강도면으로 부터 견디어 낼 수 있는 가속도에는 한계가 있을 수 있으며, 이 한계 내에서 최대 속도를 얻기 위해서는 모형을 일정 가속도로 가속하는 것이 바람직하다⁽²⁾.

최근 2단식 경 가스총으로 가속한 초고속 비행체의 충돌을 이용한 수백만 기압 이상의 초고압을 발생시켜, 각종 물질의 물성을 조사하거나, 신물질의 창조 및 합성, 다이아몬드 결성, 지구 심층부의 물질조사, 또는 초고압, 초고온 상태에서 금속수소의 합성 또는 레이저 핵융합용 연료의 상태변화 등의 연구가 활발하게 수행되고 있다. 이러한 응용에 BR을 이용하는 경우, 충돌에 의하여 발생한 초고압력 상태는 부하시간이 매우 짧으며, 부하시에 필연적으로 나타나는 온도 상승을 수반하는 단점이 있으나, 정적으로 발생

시킬 수 있는 압력의 상한이 부하영역이 넓은 경우에는 수십만 기압정도에 불과하므로, Ballistic Range는 초고압력을 발생시키는데 필수 불가결한 장치로 알려져 있다.

종래 초고압력을 발생시키기 위하여 각종 폭약의 폭발현상을 이용한 방법이 사용되었으나, 이러한 방법은 안전성, 실험 공간, 각종 계측 등의 문제로 인하여, 2단식 경 가스총을 사용하는 방법이 바람직한 것으로 알려져 있다. 이러한 2단식 경 가스총은 종래 가스 혹은 화약총으로는 불가능하였던 속도영역까지 물체를 가속시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 더욱이 종래의 화약총들은 구동가스의 압력이 크게 높지 않거나, 화약의 비중량이 커서, 기체의 점성이 클 뿐만 아니라, 음속이 낮아져 물체를 가속시키는데는 한계가 있었다. 그러나 2단식 경 가스총에서는 화약 가스가 가지는 결점이 비교적 작은 수소, 헬륨 등의 가벼운 가스를 물체의 구동용으로 사용하게 되므로, 경 가스의 구동압력이 상당히 높아져 종래의 총들에 비하여 비행체의 속도를 수십배 정도 증가시킬 수 있다.

위와 같은 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 종래의 2단식 경 가스총의 발사관과 제 2 격막 사이에 충격파관을 설치하여, 제 2 격막의 파막에 의하여 발생하는 충격파에 의하여 Projectile을 구동하는 새로운 형태의 BR을 개발하기 위해 실험을 수행하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 기존의 BR에 충격파관을 설치해서 그 충격파에 의한 압력과 발사체 속도를 측정하였다. 펌프실에 사용되는 피스톤은 스테인레스 스틸로 만들어졌으며 질량 약 900 g, 길이 90

mm, 외경 60 mm이다. 그리고 발사체는 M.C Nylon 소재로 만들어졌으며 기밀유지를 위하여 발사체 주위에 고무링을 부착하였다(Fig. 3).

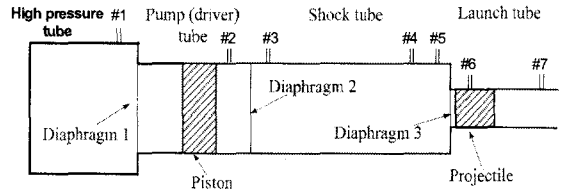


Fig. 2 Present ballistic range simulator

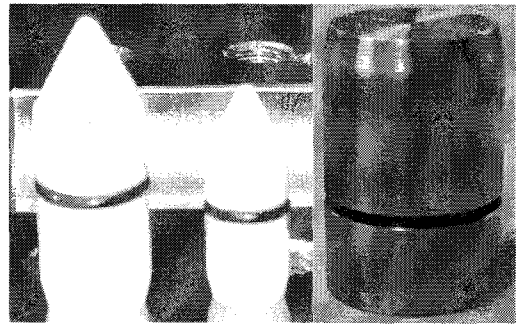


Fig. 3 Projectile and piston

또한 격막은 OHP필름을 이용하였다. 압력측정을 위하여 고압실에 1개, 펌프실 끝부분에 1개, 충격파관에 3개, 발사관에 2개 등 총 7개의 센서 설치부를 제작하였다. 하지만 여러 여건 등에 따라 #2, #4, #6에만 센서를 장착하여 압력을 측정하였다(Fig. 2).

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4는 측정된 각 센서에서의 시간에 따른 압력을 나타내고 있다. 모든 실험은 동일한 조건에서 이루어졌다. (a), (b)는 센서 #2, #4에서 압력을 측정한 p-t선도이고 (c), (d)는 센서 #2, #6에서 압력을 측정한 p-t선도를 나타내고 있다.

제 1격막이 파막되어 고압부로부터 배출된 고압의 공기가 좌우로 자유롭게 움직일 수 있는 피스톤을 가속시킨다. 가속되는 피스톤은 피스톤과 제 2격막 사이에 있는 정체된 공기를 압축하게

되어 압력이 서서히 증가하는 것을 센서 #2에서 측정된 압력선도를 통해 볼 수 있다. 그 후 제 2 격막에 대한 한계 압력값($p = 280 \text{ bar}$)이 되면 제 2 격막이 파열되고 충격파가 발생하여 충격파관을 따라 하류방향으로 전달되며, 충격파가 지난 후 압력이 급격히 증가하는 것을 Fig. 4(a), (b)에서 볼 수 있다. 충격파로 인하여 급격히 증가한 압력은 압력 최대값($p = 237 \text{ bar}$)에 도달한 후 서서히 감소하게 된다. 이때의 발사체의 속도는 $v = 470 \text{ m/s}$ 이다. (b)는 (a)와 비슷한 형태이나 압력값, 발사체 속도의 수치가 조금 달랐다 (센서#2 : $p = 272 \text{ bar}$, 센서#4 : $p = 255 \text{ bar}$, $v = 442 \text{ m/s}$). 발사체 상류에 설치된 센서 #6에서 측정된 압력선도는 충격파로 인하여 압력이 급격하게 상승하여 압력최대값($p = 276 \text{ bar}$)에 도달한 후 서서히 감소하는 것을 나타내고 있다 (Fig. 4(c), (d)). Fig. 4(c)의 경우, 발사체 속도는 $v = 361 \text{ m/s}$ 이다. (d)는 (c)와 비슷한 형태이나 역시 압력값, 발사체 속도의 수치가 다소 다르게 나타났다.(센서 #2 : $p = 273 \text{ bar}$, 센서 #4 : $p = 220 \text{ bar}$, $v = 398 \text{ m/s}$).

4. 결 론

본 연구는 종래의 2단식 경 가스총의 발사관과 제 2 격막 사이에 충격파관을 설치하여, 제 2 격막의 파막에 의해 발생하는 충격파를 이용하여 발사체를 구동하는 새로운 형태의 BR을 개발하기 위하여 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 충격파 관을 이용하는 경우 기존의 Ballistic Range보다 발사관 내부 압력을 급격히 상승시킬 수 있어 비행체의 비행마하수를 쉽게 바꿀 수 있다.
2. 고압부의 압력이 충격파 관과 발사관에서 측정된 압력에 비해 매우 작아 기존의 계측장비

를 이용해 동시에 측정하는 것이 용이하지 않았다. 추후 고압부의 압력측정이 보완된 실험이 요구된다.

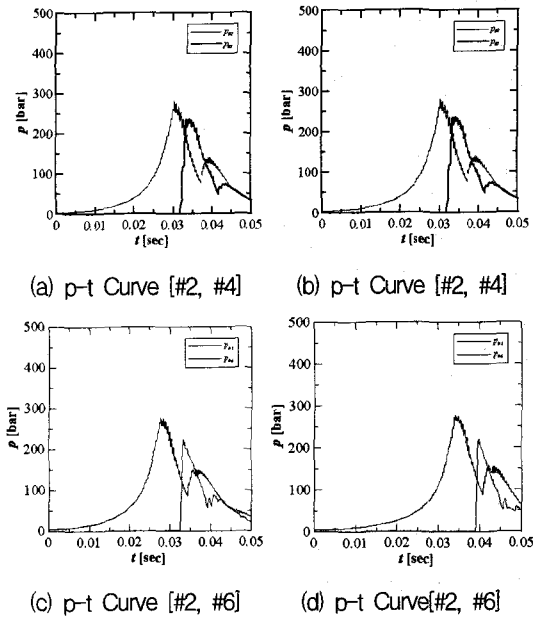


Fig. 4 p-t Curve

후 기

이 연구는 산업자원부에서 지원하는 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김희동, "유체공학에서 충격파현상(II)," 대한 기계학회지, 제35권, 제1호, 1995, pp.71-83.
2. Lukasiwicz, J., "Constant Acceleration Flows and Applications to High-Speed Guns," AIAA Journal, Vol. 5, No. 11, Nov., 1967.