

Gas Dynamics 실험실

김희동

안동대학교 기계공학부 교수

1. 서 론

4년제 대학의 기계공학과에서 주요 교과목 중의 하나인 유체역학은 일반적으로 압축성유동과 비압축성 유동으로 나뉘어 지며, 미국, 일본, 독일 등의 기계공학 기술선진국에서는 유체공학자의 대략 4할 내지 5할 정도는 압축성유동과 관련된 연구나 기술개발에 종사하고 있다. 그러나 국내의 대학이나 국책연구소에서 압축성유동과 관련된 실험실은 그리 많지 않다. 국립 안동대학교 공과대학 기계공학부의 기체역학 실험실 (Gas Dynamics Lab)은 주로 압축성유동과 관련된 실험설비 및 장비를 갖추고 있으며, 아래에서 기술하는 바와 같은 천음속, 초음속 및 극초음속 유동과 관련된 연구를 수행하고 있다.

동 실험실에서는 천음속 및 초음속풍동, Ludwig Tube, Shock Tube, Ballistic Range, 초음속 제트기류 장비, 초음속 이젝터 시험설비 등을 이용한 실험적 연구를 수행하고 있으며, TVD MUSCL Scheme, AUSM & ENO Scheme 등으로 구성된 수종의 자체개발 수치해석 프로그램과 Fluent 6, Star CD, Fastran 등의 상용 프로그램을 이용한 수치계산적 연구를 수행하고 있다.

동 실험실은 1993년 개설 후, 일본의 Kyushu Univ 과 Saga Univ, 영국의 Queen's Univ, 중국의 CAS, 인도의 IIT 및 폴란드의 PAS 그리고 이스라엘의 Ben-Gurion Univ와 상호연구자교류 등, 국제공동연구를 현재까지 지속적으로 활발하게 수행해 오고 있다.

현재 동 실험실 멤버로는 박사후 외국인 연구원 2명, 박사과정생 3명 그리고 석사과정생 6명으로 구성되어 있으며, 동 실험실에서 출판하는 연구논문들은 주로, 미국항공우주학회, 영국기계학회, 일본기계학회, 국제소음진동학회 등에서, 그리고 국내에서는 대한기계학회, 한국추진공학회 및 한국가시화정보학회 등에서 발표하고 있다.

2. 주요 연구시설 및 연구내용

2.1. 충격파 동역학에 관한 연구

충격파는 압축성유동에서 나타나는 대표적인 현상으로, 매우 강한 비정상성과 비선형적인 특성을 가지고 있다. 일반적으로 충격파가 주위 매질로 전파하는 경우에 나타나는 반사, 굴절 및 회전 등의 현상이 발생하게 되며, 또 충격파가 다른 충격파와 간섭하는 경우에 매우 복잡한 파동현상이 발생한다. 이와 같은 충격파 현상 등에 관해서는 종래 많은 연구가 수행되어 왔으나, 판단으로부터 방출되는 충격파 거동에 관해서는 아직까지 미해결 과제들이 많이 남아 있다. 본 연구실에서는 충격파관을 이용하여, 충격파관의 한쪽 관출구로부터 방출되는 충격파 현상과 관련된 소음진동현상 그리고 이들에 대한 제어법을 실험과 수치해석적 방법

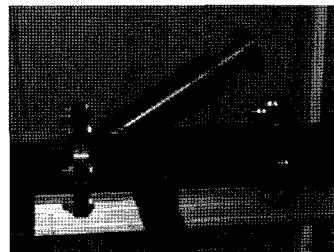
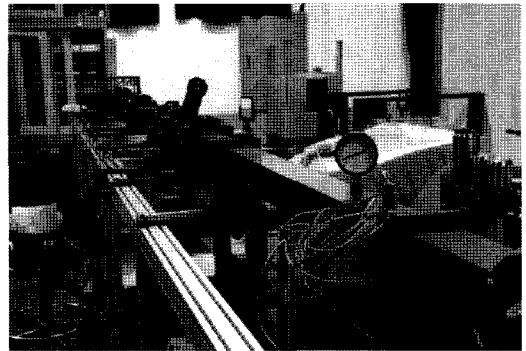


Fig. 1. 충격파관의 외관(상측)과 격막장치(하측)

으로 연구하고 있다. Fig. 1은 본 실험에서 사용되고 있는 단순한 형태의 충격파관의 외관을 나타내며, 하측의 그림은 격막장치를 나타낸다. 이 충격파관은 측정부가 80 mm×80 mm로 되어 있으며, 저압실의 길이는 조절이 가능하도록 설계되어 있으나, 대략 12 m 정도이다. 측정부에서 충격파의 전파마하수는 격막의 두께나 재질에 따라 다르게 되지만 마하수가 1.0에서 4.0 정도에서 실험이 가능하다.

2.2. 초음속 풍동실험

고속유동에서 발생하는 충격파는 벽면의 경계층과 간섭하여, 경계층이 박리하거나 충격파가 진동하는 등 매우 복잡한 유동장이 형성된다. 이러한 유동장을 실험하기 위해서는 통상적으로 초음속 풍속이 사용된다. 본 연구실에서는 천음속 풍동이나 초음속 풍동을 이용하여 충격파와 경계층의 상호간섭현상을 실험적으로 연구하여 왔으며, 최근에는 초음속 공동유동 현상을 실험하고 있다. 실험에서는 나노필스광원을 이용한 쉐리렌 가시화장치나 새도유그래프법을 이용한 가시화 그리고 고감도 압력센서들을 이용한 벽면압력, 전압측정, 그리고 유막법을 적용한 표면유동가시화 등을 수행하고 있다. Fig. 2에는 본 실험실에 설치되어 있는 Blow-down형 초음속 풍동의 측정부를 나타내며, 우측에는 대기의 공기를 압축하여 저장하는 25 m³ 체적의 대용량 압축탱크를 보여준다. 이 초음속 풍동은 측정부에서 마하수는 1.5에서 2.5사이에서 조절이 가능하도록 설계되어 있으며, 최근에는 천음속 및 초음속 유동 제어연구, 충격파와 경계층의 상호작용, 초음속 공동유동 및 램젯 및 스크램젯의 연구에 이용되고 있다.

2.3. 음속 및 초음속제트 유동

음속 및 초음속 제트유동은 고속유동 중에서 가장 많은 공업적 응용을 가지는 있어, 과거부터 상당히 많은 연구가 수행되어 왔다. 일반적으로 이음속 제트유동과는 달리 초음속 유동에서는 충격파가 발생하여 제트의 구조나 특성에 큰 영향을 미치게 된다. 또 제트의 구동 압력비에 따라 과팽창제트, 적정팽창제트 그리고 부족팽창제트의 특이구조가 얻어지게 되며, 비압축성 유동과는 매우 다른 특성을 가지게 된다. 본 연구실에서는 다양한 형상의 노즐로부터 방출되는 음속 및 초음속 제트유동을 실험적으로 연구하고 있으며, 최근 초음속 제트유동에서 발생하는 공력소음의 저감법, 제트유동의 제어법 등을 수치계산법과 병행하여 연구하고 있다. Fig. 3은 나노필스 5 μ s 광원으로 측정한 전형적인 과팽창 초음속제트(좌측)와 부족팽창 제트(우측)의 쉐리렌 가시화 사진을 보여준다.

2.4. 고속열차의 터널에서 발생하는 공기역학적 현상

고속열차가 터널에 진입하는 경우, 터널 내에는 매우 복잡한 파동현상이 발생하게 된다. 이러한 파동현상은 주행하는 열차의 공기역학에 큰 영향을 미치게 될 뿐만 아니라, 열차가 진입하는 터널 반대쪽 출구에는 충격성 소음이 발생한다.(Fig. 4 참조) 터널 내부에서 발생하는 파동현상은 열차의 주행저항, 주행안정성 그리고 열차 내 승객의 승차감에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 승객의 이명현상을 일으키기도 한다. 또 터널 출구에서 발생하는 충격파 현상은 터널 주변의 민가나 다른 구조물 또는 자연 생태계에 영향을 미쳐, 이에 대

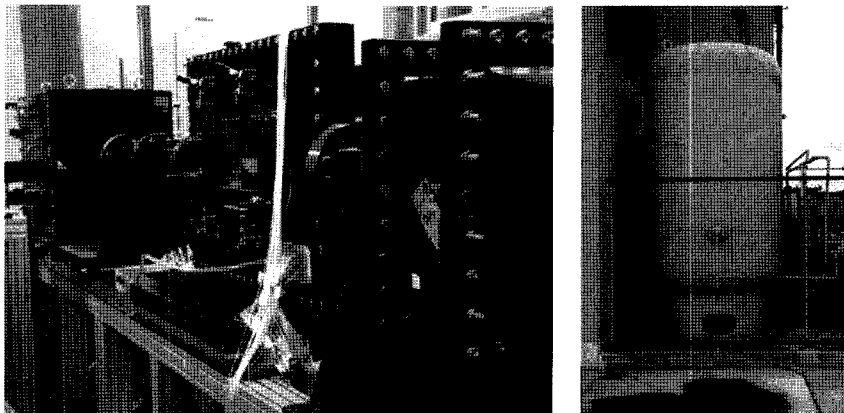


Fig. 2. Blow-Down형 초음속 풍동(좌측)과 고압 탱크(우측)

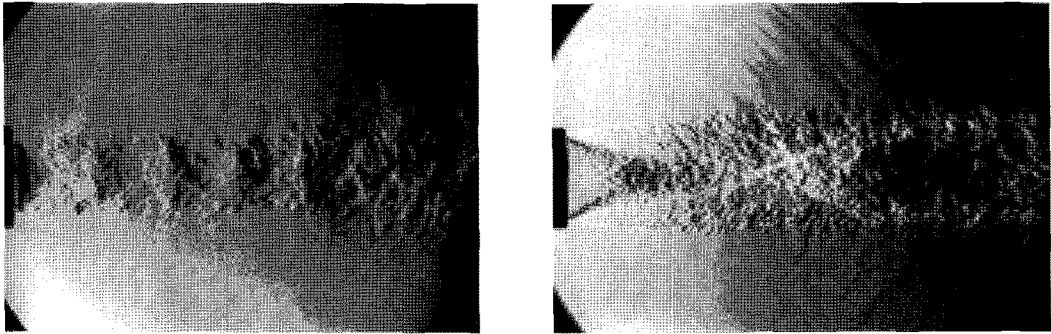


Fig. 3. 초음속 과팽창 제트(좌측)와 부족팽창 제트(우측)의 쉘리덴 사진

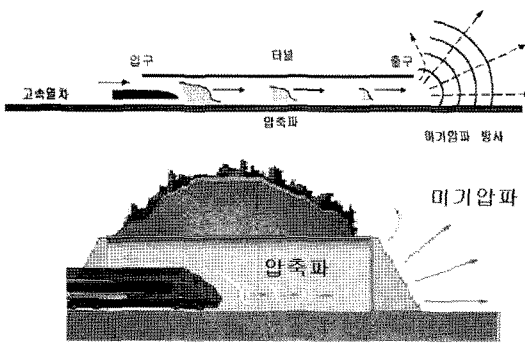


Fig. 4. 고속철도 터널에서 발생하는 파동현상

한 체계적인 연구가 필요하다. 이와 같은 고속열차 터널의 공기역학적 문제들은 항공기의 공기역학이나, 또 개활지의 열차 공기역학과는 전혀 다른 특성을 가지고 있으며, 본 연구실에서도 15여년 전부터 터널내 파동현상과 충격성 소음현상을 연구해 오고 있다.

2.5. Ludwig Tube

일명 관 풍동이라 불리우는 Ludwig Tube는 발명자 Ludwig의 이름을 딴 것으로, 고속 공기역학 분야에서 매우 중요한 실험 설비중의 하나이다. 일반적으로 고속 공기역학적 현상을 풍동 등으로 모형 실험하고자 하는 경우, 레이놀즈수의 상사가 필요하게 되지만, 대개의 초음속 풍동은 원형에서 발생하는 유동의 레이놀즈수 상사조건을 만족하기가 어렵다. 따라서 이 경우 Ludwig Tube를 사용하면, 천음속 및 초음속 유동의 모사실험이 가능하며, 다른 풍동장치에 비하여 많은 장점들을 가지고 있다. 본 실험실에서는 이러한 장치를 이용하여, 초음속 유동에서 발생하는 경계층 유동의 특성을 조사하거나, 경계층 유동제어를 실험적으로 연구하고 있다. Fig. 5은 본 연구실에 설치되어 있는 Ludwig Tube의 외관과 측정부를 나타내며, 측정부에서 발생하는 마하수는 5.0이하의 범위이며, 지속시간은 500 ms 그리고 전장은 25 m이다.

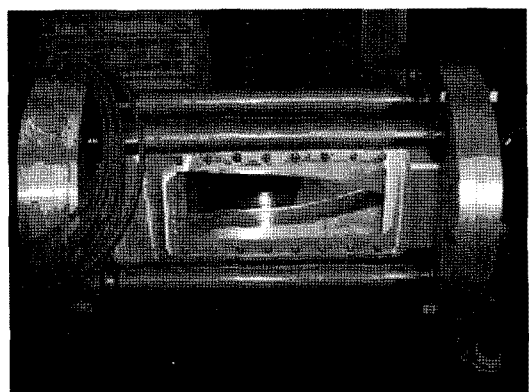


Fig. 5. Ludwig Tube의 외관(좌측)과 측정부(우측)

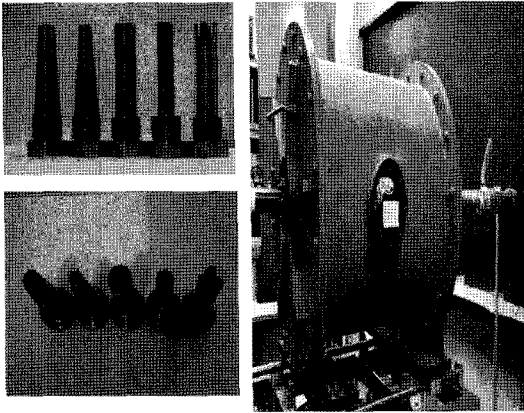


Fig. 6. 음속 및 초음속 이젝터 실험장치

2.6. 초음속 이젝터 시스템

이젝터는 고압의 유체를 노즐 등을 통하여 방출시켜 발생하는 제트류의 전단작용을 이용하여 주변의 다른 저압의 유체를 흡인하여 수송하거나 압축하는 장치로, 최근에는 여러 산업시설에 매우 많이 응용되고 있을 뿐만 아니라 고고도 모사장치 등 항공우주 분야에서도 매우 광범위하게 활용되고 있다. 이러한 이젝터는 다른 일반적인 유체기계들이 주로 normal stress에 의하여 동력을 얻는 방법과는 달리, 순수한 유체의 전단작용으로 구동되므로, 효율이 낮은 단점이 있어, 이를 개선하고, 공학적 최적설계를 하기 위한 연구들이 과거부터 많이 진행되어 오고 있다. 본 연구실에서는 과거 10여 년 전부터 음속 및 초음속 이젝터 유동을 연구해 오고 있으며, 수치해석적 방법을 이용한 최적설계 등과 관련된 연구개발을 수행 중에 있다. Fig. 6과 Fig. 7은 본 연구실에서 사용하고 있는 이젝터 실험장치와 여러 형태의 이젝터 본체 및 이젝터 내부의 상세 형상을 보여 준다.

2.7. Ballistic Range

고속으로 비행하는 물체들에 대한 공기역학은 주로 초음속 풍동 등을 이용하여 모형을 측정부내에 고정시켜 실험을 하게 된다. 그러나 각종 포탄, 탄환 등은 비행경로에 따라 마하수 및 레이놀즈수가 변화하여, 시간 의존적인 공기역학적 특성을 나타내게 된다. 따라서 과거부터 Ballistic Range를 이용하여, 물체를 고속으로 발사시켜 실험을 용이하게 할 수 있는 장치가 활용되어 오고 있다. 일반적으로 Ballistic Range는 단단식 경가스총과 2단식 경가스총으로 구분되며, 본 연구실에서는 2단식 경가스총을 설계하여, 물체의 비행 마하수를 5.0 정도까지 얻을 수 있는 모사실험장치를 개발하여 실험에 이용하고 있다. 향후 본 연구실에서는 물체의 속도를 10 km/s 이상으로 가속시킬 수 있는 기구를 개발하여, 각종 응용연구를 수행할 계획이다. Fig. 8은 본 연구실에 설치되어 있는 Ballistic Range의 외관과 비행하는 탄두(그림의 중앙)를 가시화한 일례를 나타내었다.

2.8. Hydrogen Gas Vessel

최근 석유자원의 고갈로, 대체에너지 개발에 대한 국가적인 관심이 고조되고 있다. 장래 유력한 대체 에너지 중의 하나인 수소기체는 그의 제조과정이나 보관 및 운용과정에 대한 많은 체계적인 연구가 필요하다. 본 연구실에서는 소형 수소기체의 저장용기에서 발생하는 압축성 유동 특유의 기체역학적 현상에 관심을 가지고, 공학적인 설계를 위한 연구를 수행하고 있다. 수소용기를 효과적으로 설계하기 위해서는 수소를 충전하거나 방출하는 과정에서 용기내부에서 발생하는 열/유체역학적 특성을 상세하게 알아야 한다. 본 연구실에서는 수치해석법과 이론해석 및 실험적 방법을 이용하여, 유한한 체적의 용기에 수소기체를 충전하거나 방

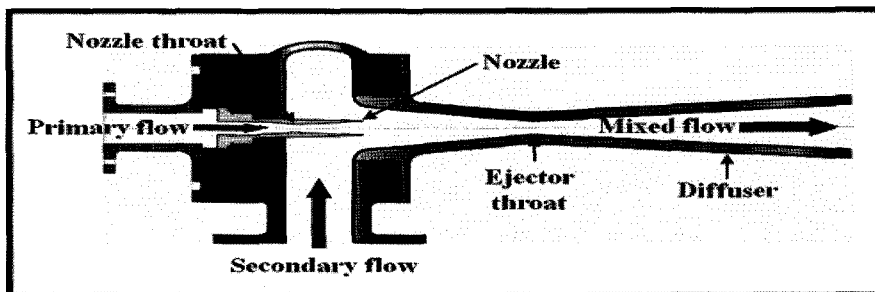


Fig. 7. 초음속 이젝터 내부의 상세 형상

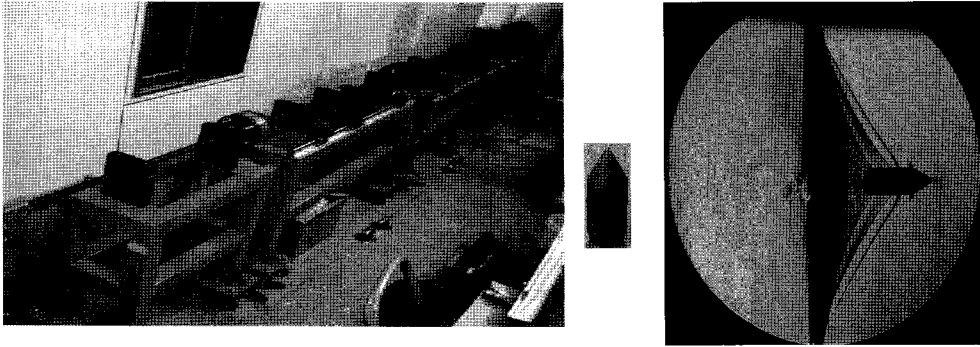


Fig. 8. Ballistic Range 실험장치의 외관(좌측), 모형 탄환(중앙) 그리고 모형 탄환의 발사 가시화 결과(우측)

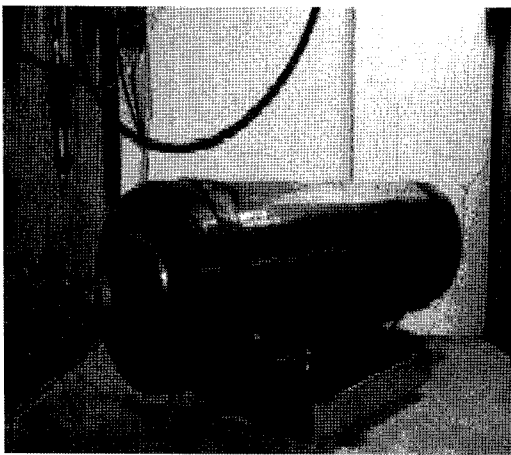


Fig. 9. 실험에 사용되는 수소 저장 탱크

출하는 과정에 대한 열/유체역학적인 특성을 연구하고 있다. Fig. 9은 실험에서 사용되는 수소저장 용기의 외관을 보여준다.

3. 맺음말

압축성 유동은 비압축성 유동과는 달리 초킹현상, 충격파 현상 등 매우 흥미롭고 특이한 유동현상을 포함하고 있지만, 국내 대학의 유체역학 강의에서는 그다지 중요하게 다루어 지지 않고 있다. 더욱이 국내에서 압축성 유동현상을 체계적으로 연구하려는 대학이나 국책연구기관의 연구실은 많지 않다. 안동대학교 공과대학 기계공학부의 기체역학 실험실에서는 압축성 유동을 체계적으로 연구하기 위한 다양한 실험/시험설비와 수치계산 코드 등을 보유하고 있어, 이 분야를 공부하고 연구하려는 분들이 유용하게 활용할 수 있기를 바라며, 여기에서는 본 연구실에서 최근 수행하고 있는 연구내용의 일부를 지면관계상 간략하게 소개하였으며, 이 분야를 연구하거나 공부하는 학생들에게 본 기사가 다소나마 도움이 되었으면 하는 바램이다.