

25cm X 20cm 초음속 풍동 개발 및 시험 평가

김세환* · 박지현** · 이승복** · 정인석**† · 이형진***

Development and Operating Test of the Supersonic Wind Tunnel with 25cm X 20cm Test Section

Seihwan Kim* · Jihyun Park** · Seungbok Lee** · In-seuck Jeung**† · Hyungjin Lee***

ABSTRACT

The supersonic wind tunnel is a common facility to studies the aerodynamic phenomenon around the high speed vehicle or weapon system whose operating speed is greater than sonic speed. In this study, a design procedure and selecting the components of a new supersonic wind tunnel whose nozzle exit is 125mm X 100mm is considered. An operating test of this wind tunnel is being conducted to compare the result with the design values, mach number, etc.

초 록

초음속 풍동은 고속으로 운용되는 비행체나 유도무기의 개발에 있어 시험체 주위에서 나타나는 공기역학적 현상을 연구하고 특성을 대표하는 물리량을 측정하기 위해 주로 사용되는 지상시험 장비이다. 본 연구에서는 연구팀에서 보유하고 있는 소형 초음속 풍동이 갖는 시험 모델 크기의 제약을 완화하고자 250mm X 200mm 의 시험부를 갖는 초음속 풍동을 설계하고 제작된 풍동의 성능 평가를 수행하였다. 제작된 풍동의 시험 마하수는 2.5이며 시험부에서 균일한 유동을 얻을 수 있도록 경계층 보정을 수행하여 노즐의 형상을 결정하였다.

Key Words: Supersonic(초음속), Wind Tunnel(풍동), Nozzle(노즐), Boundary(경계층), Testing(시험)

1. 서 론

풍동이란 비행체가 대기중에서 동작할 때 직면하는 조건과 유사한 상태의 유동을 지상에서 시험하기 위한 장비로, 모델을 시험부에 장착하

고 일정한 속도로 바람을 불어줌으로써 상대적으로 모델이 비행하는 것과 동일한 효과를 얻는다. 이를 통해 모델에 작용하는 양력, 항력, 모멘트 등을 측정함으로써 개발/연구 중인 비행체의 성능을 예측하고 비행체 주위에서 나타나는 각종 공기역학적인 현상을 관찰할 수 있다. 특히 초음속 풍동의 경우 초음속 비행체에 작용하는 각종 공력 특성 및 성능 평가를 위한 기초 자료를 획득하고 이론 및 수치해석 결과를 검증하는

* 서울대학교 계산과학협동과정

** 서울대학교 기계항공공학부

*** LIG 넥스원

† 교신저자, E-mail: enjis@snu.ac.kr

데 필요한 공력 실험 자료를 얻을 수 있는 유일한 지상 시험 설비이다.

초음속 풍동은 형태에 따라 개회로식과 폐회로식으로 나눌 수 있으며, 폐회로식 설비는 양질의 유동을 얻을 수 있는 장점이 있는 반면 시설 구축비가 높고 원하는 유동을 얻기 위해 풍동을 장시간 운용해야하는 단점[1]으로 인해 대학 등에서는 비교적 제작이 용이한 개회로식 풍동이 주로 사용되고 있다.

풍동은 시험부, 송풍기 또는 압축기, 정체실, 노즐 및 제어부로 구성되며 이들은 각각 모델의 장착 및 압력/온도 등 물리량의 측정, 고압 공기의 생성 또는 고속 유동의 공급, 시험부에서 균일한 유동을 얻기 위한 버퍼, 시험부에서 유동 속도를 결정, 풍동의 동작 상태 확인 및 조작을 담당하게 된다.

이러한 초음속 풍동의 설계에 있어서 기본적으로 고려되어야 할 사항은 적절한 유로 및 유량을 예측하여 시험부에서 요구되는 유동을 얻을 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해 초음속 풍동의 구성품은 1)원하는 유동 속도를 얻기 위한 충분한 압력비, 2)풍동의 크기 및 요구 유동 속도를 만족하도록 충분한 질유량의 공급, 3)시험부 유동의 응축 혹은 액화 방지를 위한 충분한 제습[2] 등의 조건을 만족할 수 있도록 설계되어야 한다.

본 연구에서는 서울대학교 항공우주추진연소연구실에서 보유하고 있는 초음속 풍동이 가진 시험 모델 크기의 제약을 완화하기 위해 125 X 100 mm²의 노즐 출구 단면적을 가진 새로운 초음속 풍동의 구성품 설계를 수행하였으며 이를 바탕으로 제작된 풍동의 성능 평가를 수행하였다.

2. 초음속 풍동의 설계

2.1 초음속 풍동의 설계

현재 서울대학교 항공우주추진연소연구실에서는 노즐 출구 단면이 50X50 mm²인 초음속 풍동을 운용중에 있으나 시험 가능한 모델의 크기

에 제약이 크므로 단면의 크기를 폭 방향으로 2배, 높이 방향으로 2.5배 증가시킨 새로운 초음속 풍동을 설계, 제작하였다. 풍동의 설계를 위하여 시험부의 크기를 결정하고 시험 마하수를 2.5로 하여 노즐을 설계하였다. 출구 면적과 마하수로부터 필요 유량을 결정하고 이로부터 정체실의 크기 및 배관의 크기를 도출하였다. 고압 공기를 저장하기 위한 저장 탱크는 운용 중인 압축기의 성능과 탱크의 배치 공간을 고려하여 3m³에 최대 40기압의 공기를 저장할 수 있도록 구성하였다.

2.2 풍동의 구성

Figure 1에 초음속 풍동의 구성 및 작동 흐름도를 나타내었다. 초음속 풍동의 공기 공급기는 고압의 공기를 저장할 고압 탱크, 탱크에 압축된 공기를 공급해 줄 압축기, 공기 압축에 따라 생성된 수분을 제거하기 위한 드라이어로 구성된다. 고압 탱크에 실험에 필요한 압력까지 압축 공기를 저장하면 게이트 밸브(삼성컨트롤밸브)를 열어주고 제어 밸브(Fisher)를 이용하여 정체실의 압력을 일정하게 유지하여 시험부에 유동을 공급하도록 한다.

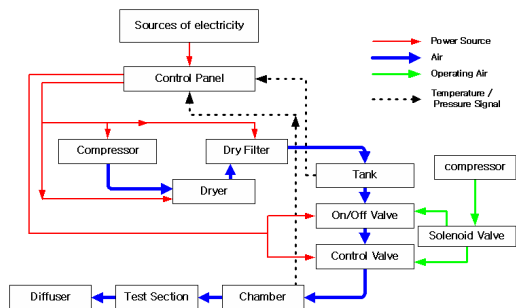


Fig. 1 Wind tunnel operating procedure

3. 구성품 설계 및 성능 예측

3.1 고압 탱크 및 압축기

풍동 고압부의 압력 또는 고압 탱크의 부피가 증가할수록 풍동의 운용 시간 역시 증가하게 되

나 고압 탱크의 관리 및 설치 공간에 제약이 있으므로 본 연구에서는 Fig. 2의 (a)와 같이 40 kg/cm²의 공기를 저장할 수 있는 3 m³의 공기 탱크를 제작·설치하였다. 탱크에 압축 공기를 공급하기 위한 압축기는 코더엔지니어링에서 제작한 3단 압축기인 LT-2116X 모델을 사용하였으며 저장 탱크에 40 kg/cm²의 공기를 충전하기 위해 약 4시간 정도 소요된다.



Fig. 2 a) High Pressure Reservoir Tank
b) Control Valve

3.2 게이트 밸브 및 제어 밸브

탱크에 저장된 고압 공기는 시험 시작 전까지 게이트 밸브에 의해 흐름이 차단된다. 이 때 게이트 밸브는 양단간 압력차이가 최대 40:1이므로 충분한 강도를 유지하도록 한다. 또 시험 시작시 유동 공급을 위하여 짧은 시간 안에 밸브를 여닫을 수 있도록 구성하여야 한다. 본 시험 설비에서는 삼성컨트롤밸브(주)에서 제작한 게이트 밸브에 부스터를 추가 설치하여 밸브 개폐가 1초 내외에서 완료될 수 있도록 하였다.

풍동의 시험부에 균일한 유동을 공급하기 위해서는 노즐 전방에 위치한 정체실의 압력이 일정하게 유지되어야 한다. 이를 위해 정체실과 게이트 밸브 사이에 Fig. 2의 (b)와 같은 제어 밸브를 설치하였으며 본 시험 설비에는 Fisher사의 V200 볼 밸브에 DVC6020 컨트롤러를 장치하여

외부의 제어 신호를 통해 밸브를 구동하도록 하였다. 풍동의 운용 시간이 충분할 경우 정체실의 압력을 입력받아 밸브를 직접 컨트롤 하는 PID 방식이 주로 사용되나 현재 구성된 시스템은 구동 시간이 제한되어 있으므로 미리 선정된 프로파일에 따라 밸브의 동작이 이루어지는 순차적인 방식을 선정하였다.

3.3 정체실

초음속 풍동 시험부 유동의 전압력과 전온도는 정체실의 유동 특성에 의해 결정된다. 따라서 시험이 이루어지는 동안 정체실의 유동을 일정하게 유지하는 것이 중요하며, 이는 앞서 설명한 제어 밸브만으로는 한계가 있으므로 큰 정체실을 활용하는 것이 일반적이다. 그러나 정체실의 크기가 증가할수록 유동 안정화를 위해 초기에 소모되는 유량 역시 증가하므로 시스템의 효율을 감소시킬 수 있으므로 최적화 과정을 거쳐야 한다. 또한 밸브를 통과한 유동에 포함된 와류 등을 제거하여 노즐에 공급하는 유동을 균일하게 하기 위하여 내부에 타공판, 스프레더, 스크린 등의 난류 조절 장치를 설치하게 된다. 본 시험 장비에 설치된 정체실은 길이 1.3m 내경 340mm 로 내부에 3개의 타공판을 설치하고 기본 배관(100 mm)로부터의 확대부에 1개의 스프레더를 설치하였다.

3.4 초음속 노즐

초음속 풍동에서 시험부의 마하수는 축소-확대 노즐에서 목과 출구의 면적비에 의해 결정된다. 그러나 시험부에서 균일한 유동을 얻기 위해서는 노즐의 확대부를 통하여 발생한 파가 상쇄되어 노즐의 출구에서는 Y·Z 방향의 유동 성분이 존재하지 않는 것이 중요하다. 이렇게 노즐에서 발생한 파를 상쇄시키기 위한 방법으로 MOC (Method of Characteristics)가 주로 사용되나 이 방법은 노즐 벽면에 존재하는 경계층을 고려하지 않으므로 경계층 보정이 필수적이다.

이에 본 연구에서는 Sivells[6]등에 의해 연구된 MOC에 의한 형상 결정 및 경계층 보정을 통한 최종 형상 결정 기법을 이용하여 노즐을

설계하였다. 이 방법은 2차원 노즐, 3차원 노즐의 설계에 모두 활용될 수 있으나 본 연구에서는 노즐 유동 및 시험부의 가시화를 위하여 2차원 노즐로 설계하고 그 결과를 표 1에 나타내었다.

Table 1. Nozzle Properties

축소부 크기	340 mm X 100 mm
축소부 길이	200 mm
노즐 목 높이	45.6 mm
노즐 출구 높이	125 mm
확대부 길이	430.7 mm
노즐 폭	100 mm

3.5 시험부

구축된 초음속 풍동은 노즐 출구의 크기를 각 방향으로 2배씩 증가시킨 자유제트 형식의 시험부를 갖도록 설계되었다. 이와 함께 필요에 따라 노즐 출구 근방의 균일한 유동을 활용하기 위하여 노즐의 끝단을 일부 확장하여 시험부의 단면이 125X100 인 경우와 250X200 인 경우 모두 사용이 가능하도록 하였다. 특히 노즐의 확장 길이를 결정하기 위하여 노즐 출구 높이의 2배, 4배, 6배, 8배로 길이를 증가시키며 수치 해석을 수행하고 fig. 3 에 2배 확장한 경우의 해석 결과를 나타내었다.

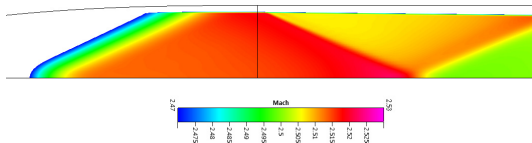


Fig. 3 Mach number distribution (Extended length : 2H)

Figure 3 에 나타난 바와 같이 높이가 일정한 상태에서 길이만 증가시키는 경우 경계층 성장으로 인하여 경사 충격파가 발생하고 출구 마하수가 감소하게 된다. 이에 본 연구에서는 주 시험부 유동의 교란을 최소화하기 위하여 시험부의 길이를 높이의 1.2배만큼 증가시킨 형태로 노즐을 제작하였다.



Fig. 4 Nozzle & Test Section

4. 결 론

본 연구에서는 현재 서울대학교 항공우주추진연소연구실에서 설계·제작한 마하 2.5 초음속 풍동의 구성품 선정 및 형태에 대해 살펴보고 수치 해석을 통해 노즐의 유동 특성을 평가하였다. 설계된 초음속 풍동의 면적은 기존 풍동의 4 배 이상이며, 현재 구동 테스트를 진행 중에 있다. 향후 실 구동 테스트를 거쳐 발견되는 문제를 수정하고 연구에 활용될 예정이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 중견연구자지원사업 및 한국항공우주연구원의 기본사업의 일부로 서울대학교 항공우주신기술연구소의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. A. Pope, K. Goin, High Speed Wind Tunnel Testing, John Wiley & Sons, 1965
2. R.J. Volluz, "Handbook of Supersonic Aerodynamics, Section 20, Wind Tunnel Instrumentation and Operation," Navweps Report 1488, 1961.
3. J.C. Sivells, "Aerodynamic Design of Axisymmetric Hypersonic Wind Tunnel Nozzle," Journal of Spacecraft, Vol. 7, No. 11, 1970