

고고도/실기체 환경 모사를 위한 건국대 초음속 풍동 가열 시스템 성능 개선

양성모* · 김영주* · 최원규* · 박수형* · 변영환*†

The Development of Model Aerodynamic Facility of Konkuk university for Real Flight Condition and High Altitude Simulation.

Sungmo Yang* · Young Ju Kim* · Won Kyu Choi · Soo Hyung Park* · Yung Hwan Byun*†

ABSTRACT

As the necessity of development of supersonic vehicle increases, securing an aerodynamic data from low to high altitude is requested for flying vehicles crusing in various high-tech environment. Therefore our research team built equipment by improving heating device of Model Aerodynamic Facility(MAF) of Konkuk University to simualte a real gas environment. Guided weapon system and temperature and velocity distribution according to the flow that is produced from the pier of supersonic vehicle is planned to be researched by using this equipment.

초 록

초음속 비행체 개발의 필요성이 증가됨에 따라 저고도에서부터 고고도까지 다양한 고공환경을 비행하는 비행체의 공력특성 데이터 확보가 요구되고 있다. 기존의 건국대학교 불어내기식 초음속 풍동(MAF)의 유동가열장치를 개선하여 고고도/실기체 환경 모사가 가능하도록 장비를 구축하였다. 본 장비를 활용하여 유도무기체계 및 초음속 비행체 선두부에 발생하는 유동과 그에 따른 온도 분포 및 속도 분포에 관하여 연구할 예정이다.

Key Words: Supersonic(초음속), High Enthalpy(고엔탈피), High Altitude Simulation(고고도 모사) Real Flight Condition(실기체 조건)

1. 서 론

본 연구는 건국대학교 초음속 풍동(MAF : Model Aerodynamic Facility)을 실기체/고고도 모사가 가능하도록 구축 및 검증에 관한 것이다.

* 건국대학교 항공우주정보시스템공학과
† 교신저자, E-mail: yhbyun@konkuk.ac.kr

초고속 비행체 개발을 위해서는 지상시험장비를 이용한 초음속 실험에서 얻어진 실기체 비행 환경에서의 비행체의 공기/열역학적 수치적 데이터의 획득이 우선시 된다. 초음속 영역에서 운용되는 비행체의 경우 마찰이나 충격파/경계층 상호 작용으로 인해 표면의 온도가 매우 크게 상승하여 충격파 재부착 등과 같은 복잡한 유동 현상이 나타나기 때문에 저엔탈피 유동을 사용한 유동장 모사 실험으로 얻어진 데이터는 표면 온도에 따른 저항 값 등 실제 비행 환경과 상호간에 차이가 있어 초음속 비행체 및 유도무기 체계의 개발에 활용 시 큰 제약이 된다. 이에 본 연구진은 기존의 MAF 가열장치를 개선하여 고고도/실기체 환경 모사가 가능하도록 장비를 구축하고 이를 검증하였다. MAF는 러시아의 ITAM (The Institute of Theoretical and Applied Mechanics)에서 2003년에 건국대학교로 도입되었으며 현재 이를 활용하여 PIV(Particle Image Velocimetry)기법과 IR(Infra Red)기법을 활용한 초음속 유동장에 관한 기초연구를 활발하게 수행하고 있다. 고고도/실기체 환경을 모사하기 위해서는 장비에서 만들어진 유동장이 목표하는 고도와 속도의 실기체 조건을 만족시켜야 한다. 다음의 Isentropic Flows 관계식을 이용하여

$$\frac{T_o}{T} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot M^2\right)$$

실기체 조건에서 고도에 따른 유동의 전온도를 구해보면 다음 Table 2.와 같다.

Table 1. Total Temperature(K) and Reynolds number at Altitude

Altitude	M2	M3	M4	M5
10km	401.87	625.13	937.69	1339.5
20km	399.99	606.65	909.97	1299.9
30km	416.23	647.47	971.21	1387.4
$Re_d(10^6)$	2.96	3.83	5.92	5.68

건국대학교 초음속 풍동을 사용하여 고고도/실기체 환경 모사가 가능하도록 하기 위하여 장비의 공기 가열장치를 개선하여 장비를 구축하였다. 본 장비를 활용한 고고도/실기체 환경이 모사된 지상 실험을 통해 획득된 공기/열역학적 데이터는 국외 선진국의 의존도를 줄여 초음속 비행체 개발 및 미래형 유도무기 체계 개발의 국산화에 초석이 될 것으로 기대된다.

2. 장비의 구성

2.1 MAF의 구성

MAF는 압축 탱크(Storage Tank), 메인 밸브(Main Valve), 유동가열장치(Electronic Heater), 정체실(Settling Chamber), 노즐(Nozzle), 시험부(Test Section), 확산부(Diffuser), 디플렉터(Deflector), 컨트롤러(Controller)로 구성되어 있다. 컨트롤러를 사용하여 장비를 구동시키게 되면 메인 밸브가 열리며 압축 탱크에 저장되어 있던 유동이 흐르게 되고 이는 유동 가열 장치를 지나며 목표 온도로 가열된다. 이후 유동은 정체실로 흐른다. 정체실은 초음속 유동이 지속될 수 있도록 일정압력을 유지 및 노즐의 유동을 안정화 시켜 시험부에서 균질한 유동이 형성되도록 한다. 정체실을 빠져나온 유동은 노즐을 통과하며 목표 마하수로 가속된다. 노즐은 마하수에 따라 총 6개의 노즐(M=2~7)이 있고 노즐 출구는 100mm이다. 시험부의 크기는 420mm(L) * 240mm(W) * 300mm(H)이며 시험부를 거친 유동은 확산부와 디플렉터를 거치며 대기 중으로 빠져나오게 된다[1].

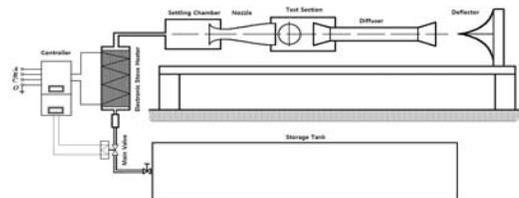


Fig. 1 Schematic of Konkuk University MAF

노즐의 선택에 따라 M2 ~ 4의 초음속 유동과 M5 ~ 7의 극초음속 유동을 발생 시킬 수 있고 작동시간은 1 ~ 3초이다. Mass flow rate는 2.7 kg/s이다. MAF에 사용되는 저장탱크의 최대 허용압력 $P_b = 15$ MPa, 최대 온도 $T_o = 1000$ K이며, 정체실에서의 최대 허용압력 P_b , 최소 정체 압력 P_o 와 온도 T_o 등 MAF의 상세 specification은 다음 Table. 1과 같다.

Table. 2 Specification of MAF

M	2	3	4	5	6	7
P_b (bar)	141	126	121	115	126	140
P_o (bar)	2.5	5	12	30	70	125
T_o (K)	290	290	290	376	504	645
Re_d (10^6)	2.96	3.83	5.92	5.68	5.96	5.6
q (MPa)	0.54	0.86	0.9	0.99	1.12	1.04

상기의 표는 MAF의 성능 지표로써 각각의 마하수에서 응결현상의 발생 없이 유동을 발생하기 위한 최소한의 값으로 정체실에서 측정된 각각의 값을 의미한다. 정체실에서의 온도를 Table. 2 이상으로 유지하고 Table 1.의 목표 온도로 맞춰주기 위하여 유동가열장치를 사용한다.

2.2 MAF 유동가열장치

MAF 유동가열장치는 Electric Stove Heater로 열선의 복사열로 유동을 가열하는 원리를 사용한다. 예열시간 없이 빠른 시간 안에 주변 공기를 데워주는 장점이 있다. 열선, 열선의 경로를 따라 단열제 역할과 접촉으로 인한 합선을 막아주도록 설계된 세라믹 튜브, 히터 내부 전체의 단열제 역할의 세라믹 원통, 출구와 열선의 접촉을 보호하는 다공판 형식의 단열제, 전류 공급 장치, 냉각 장치 등으로 이루어져 있다. 히터의 전기 용량은 15 ~ 30 kW로 35.3A의 전류가 흐를 경우 정격용량은 18.1 kW이다. 최대 작동압력은 30 MPa, 최대내부온도는 1000 K, 히터 내의 가스 부피는 10 L이다[2]. 열선은 지름 2.5mm, 길이 60m이고 재질은 Fe, Cr, Al 등 큰 저항을 가질 수 있는 금속재질로 구성되어있다.

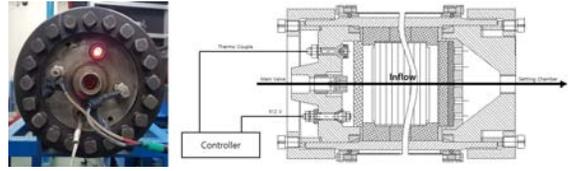


Fig. 2 Electronic Heater of MAF

3. MAF 유동가열장치의 운용

380 V의 전압과 연결된 컨트롤러는 512 V로 승압하여 MAF의 유동가열장치로 보내게 된다. Fig. 3의 좌측에 보이는 Temperature Controller의 Target Temp.로 표시해둔 계기 상의 목표 온도까지 전류를 조절하여 가열하는 방식이고 가열장치내부에 설치한 두 개의 Thermo Couple 중 1개는 현재 온도를 측정하여 Current Temp. 계기에 표시하게 된다. 다른 하나의 Thermo couple은 내부의 온도를 측정하여 Over Temp. 계기에 설정해둔 온도를 넘어갈 경우 컨트롤러의 전원을 차단하여 안전사고에 대비한다. 목표 온도까지의 가열을 확인한 후 컨트롤러에 연결되어있는 On/Off 버튼을 이용하여 메인 밸브를 제어하여 MAF 장비를 구동하게 된다. 이 후의 구동 순서는 2.1절 MAF의 구성에서 작성해둔 장비의 구동 순서를 따른다.



Fig. 3 MAF Heater Controller

4. 결론 및 향후 계획

구축된 MAF 유동가열장치를 사용하여 장비의 내부 최대허용 온도인 1000 K까지 성능테스트를 수행하였다. 목표까지 이상 없이 가열되는 것을 확인하였다. 이 장비를 활용하여 M2의 10 km고도부터 M4 30 km의 영역까지 고고도/실기체 환경을 모사 가능할 것으로 예상되고 정체실 내부의 온도와 압력을 측정하여 고도와 실기체 환경에 관한 검증을 진행 예정에 있으며 가시화 기법을 사용하여 마하수를 검증할 예정이다. 이 시험유동으로 유도무기체계 및 초음속 비행체 선두부에 발생하는 유동과 그에 따른 온도 분포 및 속도 분포에 관하여 연구할 예정에 있다. 이는 국내 초음속 비행체 개발에 활용 될 것으로 예상되며 국외 의존도를 줄인 국내 독자 개발의 기반이 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Novosibirsk, Russia, "The Model Aerodynamic Facility(MAF) for student's research and instructions," Russian academy of sciences, 2002.
2. 최원혁, 서동수, 이재우, 변영환 "초음속/극초음속 풍동(MAF)의 성능 향상을 위한 개조 및 검증," 한국추진공학회 2010년도 추계학술대회 논문집, pp. 717-722, 2010.