

## 축열식 가열기의 설계 및 제작

이양지\* · 강상훈\* · 박부민\* · 양수석\*

### Design and Manufacture of Storage Air Heater

Yang-Ji Lee\* · Sang-Hun Kang\* · Poo-Min Park\* · Soo-Seok Yang\*

#### ABSTRACT

Storage air heater(SAH) is a general purpose facility that is used to simulate the high altitude condition of supersonic ground test facility, thrust compensation test of rocket engine nozzle and gas turbine engine combustor test. SAH in KARI is built to simulate the total temperature of the supersonic ground test facility which has a wide flight envelope from altitude 0km, Mach 2 to altitude 25km, Mach 5 and operates up to 1300K, 3.5MPa. In this paper, we introduces the SAH in JAXA which is model of SAH in KARI and summarizes the design process and manufacture of ours.

#### 초 록

축열식 가열기는 주로 초음속 지상추진 시험설비의 고고도 조건 모사를 위하여 구축되는 장비로 이외에도 로켓 엔진 노즐의 추력 보정시험, 가스터빈 엔진 연소기 모사시험에 범용으로 사용할 수 있다. 한국항공우주연구원에서 보유하고 있는 축열식 가열시스템은 마하 2~5, 고도 0~25 km의 범위에서 구동하는 초음속 지상추진시험설비의 전온도 모사를 목적으로 설계되었으며, 최고 모사 온도 1,300 K, 최고 가압압력 3.5 MPa의 성능을 낸다. 본 논문에는 본 원에서 구축한 축열식 가열기의 목표로 한 일본 JAXA RJTF에 구축되어있는 축열식 가열기에 대하여 정리하도록 한다.

Key Words: Storage Air Heater(축열식 가열기), Cored-Brick Checker(코어드 브릭 축열재), Supersonic Ground Test Facility(초음속 지상추진 시험설비), High Speed Propulsion(고속 추진), Ramjet Engine(램제트 엔진)

#### 1. 서 론

축열식 가열시스템은 주로 램제트 엔진 시험설비의 고고도 조건 모사를 위하여 구축되는 장비로 이외에도 로켓 엔진 노즐의 추력 보정시험,

가스터빈 엔진 연소기 모사시험에 범용으로 사용할 수 있다. 축열식 가열시스템에 공급되는 공기의 최대 가압압력은 35기압이다. 이는 축열식 가열시스템 후단에 설치될 램제트 시험설비의 최대 전압력을 목표로 설정한 압력이다. Fig. 1은 향후 설치될 램제트 엔진의 비행영역을 나타낸 그림으로 녹색선은 유량, 붉은색은 전온도, 푸른색은 전압력을 나타낸다. 여기서 A-D로 표

\* 한국항공우주연구원 항공추진그룹  
연락처, E-mail: mars336@kari.re.kr

시된 검은선 안의 영역이 초음속 지상추진시험 설비의 구동영역이며 이 때 최대 전압력은 3.5 MPa, 최대 전온도는 1330K이다. 이에 따라 축열식 가열시스템을 통과하는 고압/고온 공기 유량의 사양이 결정된다. [1]

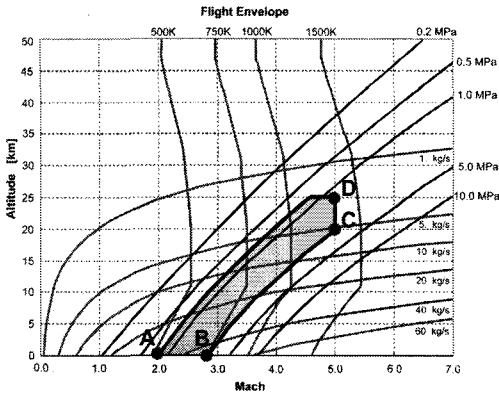


Fig. 1 Flight Envelope of Supersonic Ground Test Facility

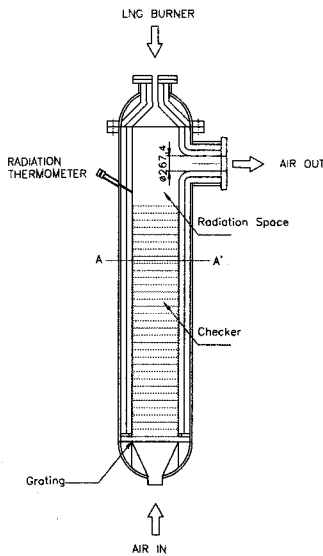


Fig. 2 Configuration of SAH

현재 항공우주연구원 내에 구축되어있는 고압 공기 공급설비는 최고 가압압력 32 MPa, 40 m<sup>3</sup>이며 터보펌프 시험설비(TPU)와 엔진고공환경 시험설비(AETF)의 고압공기 공급원으로 활용되

고 있다. 각 설비에서는 필요압력을 공급할 수 있도록 압력 조절부를 설계/제작하여 사용하고 있다. 축열식 가열기로 공급되는 공기는 3.5 MPa로 공급된다.

## 2. 축열식 가열시스템 설계

### 2.1 축열재, 단열재 설계

축열재 및 단열재는 축열식 가열시스템에 있어서 가장 중요한 구성요소라고 할 수 있는 부분으로 장시간에 걸쳐 고온의 열을 축적할 수 있어야 하며, 열팽창으로 인한 강도 약화 등을 최대한 견딜 수 있어야 한다.

#### 2.1.1 축열재

축열용 코어드 브릭의 재질은 고순도 알루미늄나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)이다. Fig. 2와 Fig.3은 일본 JAXA의 축열식 가열기에 삽입된 축열재로 각각 중심부, 주변부에 위치한다. 브릭은 구멍이 쪽 관통 되도록 서로의 위치를 고정하기 위해 Fig. 2, 3과 같이 요철을 만들어 각각 엇갈리게 쌓이도록 한다.

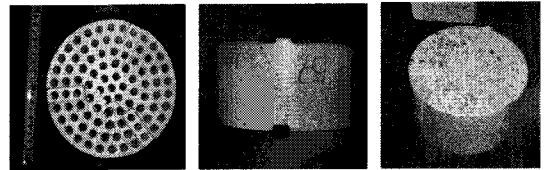


Fig. 3 Cored Brick Checker - Center section (JAXA)

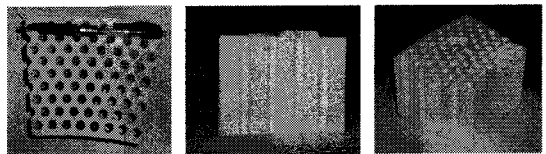


Fig. 4 Cored Brick - Side section (JAXA)

가열이 되면 브릭은 열팽창을 하므로 이를 대비하여 브릭을 쌓을 때 Fig. 5처럼 팽창을 고려하여 간격을 두고 쌓도록 한다. 이 겹은 축열재의 길이 방향 온도에 따라 정해진다. 즉 축열재의 상부로 갈수록 간격이 커진다.[2]

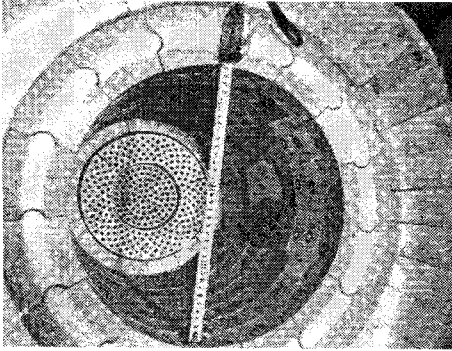


Fig. 5 Gap between Each Cored Brick[2]

축열재 하부 온도는 축열재 전체의 무게를 지탱하는 그레이팅 지지대의 구조 강도 문제 때문에 중요하다. 이 부분의 온도는 지지대의 온도를 직접 측정하여 구한다.[2]

### 2.1.2 단열재

단열재는 축열재에 흡수된 열이 외부로 방출되지 않도록 보온하는 역할을 수행한다. 축열식 가열시스템은 위치에 따라 온도 분포가 달라지기 때문에 각 부분에 따라서 다른 방식의 단열재를 장착하여 보온을 하도록 한다.

전체적인 단열재 구조는 이중으로 설치하여 다중 단열한다. 다중 단열하는 이유는 열용량과 단열 성능간의 Trade-off 에 의해 각 층마다 필요한 재질이 정해진다.[2]

단열재 구조는 Fig. 5와 같다. 내부 단열재는 고밀도 재질이며, 외부는 저밀도 재질이다. 고밀도 재질은 축열재로서의 기능도 동시에 수행할 수 있으며, 강도도 높아서 큰 온도 차이로 인해 열팽창이 심한 내부에 적절하다. 외부의 저밀도 재질 단열재는 단열 성능이 뛰어난 대신에 낮은 밀도로 인해 축열 성능은 떨어진다.[3]

복사온도 전달부는 축열재가 없이 단열재와 외피로만 구성되어 있다. 따라서 직사각형 단열재로만은 열팽창으로 인하여 형상 유지가 힘들다. 따라서 이를 보완하기 위하여 Fig. 6과 같이 내부 단열재에 홈을 파서 엇갈리는 형식을 취하여 적층을 유지하도록 한다.[2]

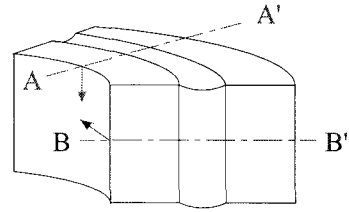


Fig. 6 Insulation Brick at Radiation Space

### 2.1.3 그레이팅 부

축열재를 지탱하는 그레이팅의 지지대는 일반적인 구조물 설계방법을 적용한다. 이 부분은 전체 축열재 및 단열재의 하중을 지탱하는 역할을 수행하므로 어느 한계 이상으로 온도가 상승하지 않도록 감시하는 것이 필요하다. 이를 위하여 지지대의 외피에 직접 열전대를 부착하여 온도를 측정한다.

그레이팅은 축열식 가열기의 지지를 수행함과 동시에 대 유량의 고압 공기가 원활히 통과할 수 있어야 하므로 코어드 브릭 축열재의 바닥 형상과 동일하게 구멍 및 요철이 만들어져있는 Perforated Plate 구조를 취한다.

### 2.2 외피 및 버너 설계

축열식 가열기의 외피는 통풍 과정시 고압과 가열모드시 단열재에서 전도되는 온도를 견딜 수 있는 두께로 제작한다. 외피의 설계점은 압력 3.5 MPa, 375℃이다. 재질은 Carbon Steel 계열인 A516-70을 사용하였으며 ASME 코드를 적용하여 외피 두께는 28 mm로 제작되었다. JAXA의 대형 축열식 가열기의 경우 설계점이 압력 11MPa, 375℃를 기준으로 하며 이 때 두께는 88 mm이다.[4]

축열재의 상부공간은 복사 온도 전달부(연소실)이며 연소실로는 가열시 상부의 버너에서부터 0.1 kg/s의 연소가스가 유입된다. 버너 연료로는 3,000 mmH<sub>2</sub>O로 공급되는 LNG를 사용한다. 버너는 통풍시 1,050℃, 3.5 MPa의 공기에 노출되므로 이를 견디기 위한 설계가 필요하며, 공기 및 연료 공급 계통의 밸브 등도 이를 고려하여 설계한다. 연소실 내부에도 축열재 부과 마찬가지로

지로 내화단열재가 설치되는데, 축열재 부와 달리 천장부분이 되므로 내화단열재가 떨어져나오지 않도록 시공에 주의가 필요하다.

### 2.3 고온 배관

고온 배관의 재질은 외피와 마찬가지로 Carbon Steel이며 Hastelloy 재질의 라이닝이 설치된다. 라이닝은 분리되어 열팽창 시 움직일 수 있도록 하며, 스페이서로 배관과의 간격을 유지한다. 배관(외부 배관)의 설계기준은 180 °C, 3.5 MPa이다. 외벽과의 간격은 인코넬 제의 스페이서로 유지하며 별도 단열 물질은 없이 공기가 단열재 기능을 수행한다.

인코넬 라이닝은 고온가스가 외부 배관으로 직접 대류 및 복사 열전달하는 것을 방지하는 기능을 하며 가스는 Sliding 하는 연결부를 통하여 압력이 외부 배관으로 전달되므로 압력에 의한 힘은 받지 않는다. 또한, 라이닝은 열손실 방지기능을 함으로 인해 결국 열로부터 배관을 보호한다.

가열기 출구 고온 배관은 가장 높은 온도의 공기가 지나는 배관이다. 때문에 다른 고온 배관보다 고온에서의 손상에 대한 대비가 더 필요하다. 이 때문에 배관의 안쪽으로 두 겹의 세라믹 단열재를 라이닝한다.

## 3. 결 론

한국항공우주연구원에서는 고속추진기관 성능 시험 및 고압 연소기/터빈 성능시험을 목적으로 축열식 가열시스템을 설계 및 구축하고 있다. 가열시스템은 가열기 외피, 버너, 축열재, 단열재 및 고온밸브로 구성되어있으며, 가열시스템의 설계 작동점은 최고 가압 압력 3.5 MPa, 최고 공급 온도 1300 K이다.

현재까지 외피 및 버너 설치가 완료되었으며, 2007년 2월까지 축열재 및 단열재 설치를 완료하고, 운용 모드를 구축하여 추진기관 고압/고온 성능시험에 범용으로 사용될 것을 기대하고 있다.

## 참 고 문 헌

1. 이양지, 차봉준, 양수석, 김형진, "초음속 지상추진시험설비의 기본설계기법 연구", 한국추진공학회지, 제7권, 제4호, 2003, pp. 53-62.
2. Tohru Mitani et al. , "Subscale Wind Tunnels and Supplemental Studies of SCRAMJET Engine Tests", TR-1458, 2003, JAPAN.
3. Tohru Mitani, "Lectures on Ramjet System and Evaluation", NAL, 2002.
4. RJTF construction group, "RAMJET ENGINE TEST FACILITY", TR-1347(NAL), 1997.