

고온 고압 공기가열기 성능시험 I

이정민* · 나재정* · 홍윤기* · 강경택*

Performance test of Vitiated Air Heater with High Temperature and High Pressure I

Jungmin Lee*[†] · Jaejeong Na* · Yunky Hong* · Kyungtaik Kang*

ABSTRACT

This study is the performance test of the vitiated air heater with high temperature and high pressure. The vitiated air heater to provide hot air about 2000 K was designed, and the performance test is carrying out. The designed vitiated air heater uses methane, oxygen, and mixing air by working gases, and uses mixing air for cooling of the bottom of a mixing head. By this reason, the vitiated air heater has to be designed with heat-resistance from hot frame, and to be tested for its proof. In this paper the performance of the vitiated air heater is analyzed to some test results.

초 록

본 연구는 고온 고압의 연소식 공기가열기의 성능시험에 대한 것이다. 약 2000K의 고온 공기를 공급할 수 있는 연소식 공기가열기를 설계하여 성능시험을 진행 중이다. 설계된 공기가열기는 메탄, 산소, 공기를 사용하며, 믹싱헤드면의 냉각을 혼합되는 공기를 이용한다. 따라서 고온의 화염에 안정적인 내열특성을 갖도록 설계되어야 하며, 시험을 통해 이를 확인하여야 한다. 본 논문에서는 시험 결과의 일부를 통해 연소식 공기가열기의 성능시험을 고찰하였다.

Key Words: Vitiated Air Heater(연소식 공기가열기), Performance Test(성능시험), Methane(메탄), Test Facility(시험장치)

1. 서 론

초고속 비행체는 비행조건에 따라 매우 높은 압력과 온도 하에서 비행하게 되며, 이러한 비행체의 설계과정과 연구를 위해 극한의 비행조건

의 모사가 가능한 시험장치가 요구된다. 그 중 연소식 공기가열기는 공기에 고온의 연소가스를 혼합하여 공급함으로써 상대적으로 축열식 공기가열기보다 고압으로 공급할 수 있는 장점을 갖게 된다. 그밖에도 설비적인 측면에서 대형화에 유리한 장점도 갖고 있다.

본 연구는 이러한 고온 고압의 공기를 연소식으로 공급하는 시험설비를 설계하고 축소모델을

* 국방과학연구소 4본부

† 교신저자, E-mail: shocknjet@add.re.kr

제작하여 성능을 평가하는 것으로 이를 통해 실제 초고속 시험이 가능한 중·대형 급의 시험설비 개발에 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

2. 시험 장치

2.1 시험장치의 설계

연소식 공기가열기의 설계는 기존 연구 결과 [1,2]를 활용하였으며, 더 높은 내압조건과 내열 조건 등에 기인하여 구조적 강도를 보강하였다 [3,4].

2.2 시험 장치의 구조 및 구성

연소식 공기가열기는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 몇 개의 부품으로 구성되어 있다.

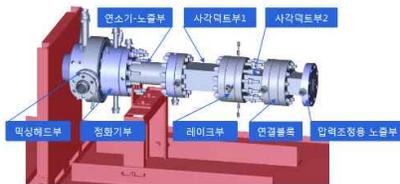


Fig. 1 Layout of Vitiated Air Heater



Fig. 2 Photo of Test Stand for Vitiated Air Heater

각 7쌍의 메탄과 산소인젝터와 공기가 분출되는 믹싱헤드면을 포함하는 믹싱헤드부, 기체메탄과 기체 산소를 사용하는 토치식 점화기가 장착된 점화기부, 연소실과 초음속 노즐이 결합된 연소기-노즐부, 원형으로 분출되는 유동을 사각의 출구로 유도하는 사각덕트부 1, 온도 또는 압력 분포를 측정할 수 있는 레이크부, 필요에 따라

사각덕트의 길이를 추가할 목적으로 설계된 사각덕트부 2, 시험물과 연결을 목적으로 하는 연결블록, 그리고 시험물 없이 공기가열기 연소기 후단의 압력을 형성시켜 주기 위한 압력조정용 노즐부로 구성되어 있다. Fig. 2에 실제 시험스탠드에 장착된 시험 장치와 각종 밸브류를 보이고 있다.

3. 성능 시험

3.1 성능시험

점화 시퀀스 설정을 위한 시험을 통해 점화기의 성능을 점검하고 점화기 작동 조건을 설정하였다.

초기 성능시험은 안정적인 점화와 연소 안정화를 목표로 한 시퀀스의 설정값 확인과 대략적인 작동특성을 확인하고자, Fig. 1에 보인 모든 구성품이 다 결합된 상태가 아닌 레이크부와 사각덕트부 2는 제거된 상태에서 시험이 진행되었다. (Fig. 2 참조) 또한 압력조정용 노즐부 후방에 막을 설치하여 유로를 조정함으로써 사각덕트부 내부 압력을 조절하여 시험을 수행하였다. 노즐목 19mm의 연소실을 사용하여 연소실 내부의 높은 압력조건에서 장치의 구조적 안전성과 인젝터의 손상유무 등을 확인하여 설계의 적합성을 판단하고자 하였다.

3.2 시험결과 및 분석

Figure 3~4에 진행되고 있는 성능시험 중 일부의 결과를 나타내었다. Fig. 3은 사각덕트 후류에 장착된 B형 온도센서를 이용하여 측정된 정온도값이며, T_{0c} 와 T_{sc} 는 측정된 챔버압력과 사각덕트 후류에서의 정압력값과 공급유량을 이용하여 열역학적 평형으로 가정하여 계산한 전온도값과 정온도값이다. 직접 전온도를 측정하지 않는 상태에서 대략적인 챔버온도의 예측을 위해 계산되었다. 측정된 정온도와 계산된 정온도 사이의 차이는 실제 존재하는 압력손실 등의 영향으로 추정할 수 있으며, 챔버온도가 1800K에 근접하는 수준에서 시험이 진행되었음을 예측할 수 있다.

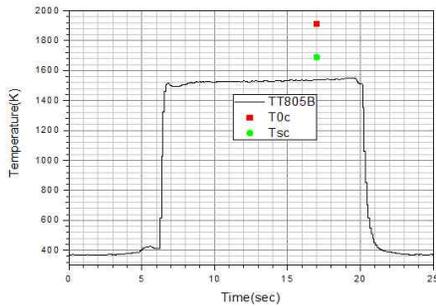


Fig. 3 Temperatures

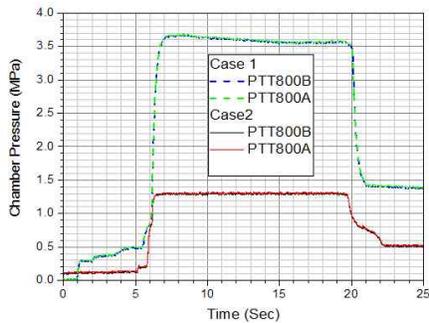


Fig. 4 Chamber Pressures

시험 중 작동유체의 유량거동의 분석에서 메탄유량의 경우, 약 8초 이후부터 다소 낮은 유량이 공급되고 있음을 확인하였는데, 이와 관련한 Fig. 4의 case1의 압력 거동에서도 메탄 유량의 저하로 인해 압력이 다소 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 메탄인젝터의 최소직경이 너무 작아 해당 시점에서 연소실의 압력형성에 따라 충분한 유량이 공급되지 못하는 것이 원인으로 판단하여 메탄인젝터의 최소직경을 확장하였으며, 시험조건은 다르지만, 확관 이후 시험인 Fig. 4의 case2의 경우에서 보는 바와 같이 일정한 압력값을 얻을 수 있었다.

시험 후 시험 장치를 분리하여 인젝터의 손상 여부를 육안으로 확인하였다. 약 3.6MPa의 연소실 내부압력과 유량값으로 추정된 약 1800K의 연소실 온도는 냉각수없이 믹싱헤드면이 분출되는 공기에 의해 적절한 냉각이 이루어졌음을 Fig. 6을 통해 확인할 수 있다. 보는 바와 같이 약간의 부분적 변색을 제외하고는 인젝터들의

손상이 없는 것으로 확인되었다. 이로부터 공기의 배분 및 속도 등도 주어진 시험조건에서 적절히 이루어졌음을 알 수 있다.



Fig. 6 Photo of injectors after tests

4. 결 론

고온 고압의 공기가열기의 설계와 성능시험을 수행하여 그 결과를 고찰하였다. 믹싱헤드면을 공기가열기에 혼합되는 공기를 이용한 방식의 공기가열기는 주어진 시험조건에서 인젝터 등이 열적으로 안정된 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 추후 레이크 장착을 통한 유동 측정의 정밀도를 높이고 지속적인 시험을 통해 설계 요구조건인 2000K의 고온 공기를 공급할 수 있는 성능을 확인하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 이정민, 강경택, “램젯 DC 시험용 연소식 공기가열기 개념설계”, 한국항공우주학회 춘계 학술대회, 2010.
2. 이정민, 강경택, 이규준, 임진식, “연소식 공기가열기 개발과 성능평가”, 한국군사과학기술학회 2010 학술대회, 2010.
3. 이정민, 나재정, 홍윤기, 김정우, “공기가열기 인젝터 설계를 위한 인젝터 위치에 따른 연소특성 연구”, 한국추진공학회 춘계 학술대회, 2016.
4. 김정욱, 현동기, 박상훈, “고온고압 공기가열기 구조해석 연구”, 한국추진공학회 춘계 학술대회, 2016.