高공환경모사 시험설비 구축을 위한 개념설계

김상헌* · 김용욱** · 이정호** · 유병일** · 조상연** · 오승협**

Concept Design of High Altitude Simulation Test Facility

Sang-Heon-Kim, Yong-Wook Kim, Jung-Ho Lee, Byung-Il Yu,
Sang-Yeon Cho, Seung-Hyub Oh

ABSTRACT

The propulsion system of KSLV-I second stage is engine with high expansion ratio and its starting altitude is high. To verify the performance of engine before the launch in the ground, high altitude test facility to simulate its operating condition is necessary.

This material is about the concept design of high altitude simulation test facility for second stage engine. And it will be the basis for the construction of test facility and the test of engine.

초 록

소형위성발사체(KSLV-I)의 2단에 적용되어질 엔진의 작동환경은 진공과 유사하다. 고고도에서 사용되는 로켓은 성능을 최대한 향상시키기 위해서 노즐의 평장비가 상대적으로 크게 설계된다. 하지만 지상에서 연소시험을 수행할 경우 배압이 상대적으로 크기 때문에 노즐에서 박리(separation)가 발생하여, 실제 추력 값보다 작은 추력을 발생시키며 노즐에 극심한 진동을 유발하게 된다. 그러므로 정확한 추력을 예측할 수가 없으므로 고공 환경을 모사할 수 있는 시험설비를 이용하여 연소시험을 수행하는 것이 반드시 필요하다.

Key Words: Diffuser(디퓨저), TMS(추력측정시스템), Back Pressure(배압), Separation(박리)

1. 서 론

소형위성발사체(KSLV-I)의 2단에 적용되어질 2단용 엔진은(이하 엔진) 작동고도가 높으므로 배압(back pressure)이 진공의 환경과 유사하다. 고고도에서 사용되는 엔진은 성능을 최대한 향상시키기 위해서 노즐의 평장비가 상대적으로 크게 설계된다. 하지만 이러한 엔진을 지상에서 연소시험을 수행할 경우 배압이 상대적으로 크기 때문에 노즐에서 박리(separation)가 발생하여, 엔진의 실제 추력 값보다 작은 추력을 발생시키며 노즐에 극심한 진동을 유발하게 된다. 그러므로 정확한 추력을 예측할 수가 없으므로 고공 환경을 모사할 수 있는 시험설비를 이용하여 연소시험을 수행하는 것이 반드시 필요하다(1).

* 한국항공우주연구원 추진기관체계그룹
언락저자, E-mail: sangcheon@kari.re.kr
** 한국항공우주연구원 추진기관체계그룹

- 75 -
2. 고공환경모사시험설비

21 개요

국내에서 자체 개발하고 있는 KSLV-1와의 2단용 엔진을 개발함에 있어 전체시스템에 대한 설계 타당성 검토와 작동시험 및 조건에 따른 정상 작동 검사/시험을 위해서 시험설비가 필요하며, 또한 고공 환경조건에서 전체 시스템의 성능이 제대로 발휘되는지를 본 시험설비를 통해서 확인하고자 한다.

이와 같은 목적을 위해 2단용 엔진의 고공환경 모사 시험설비 개발을 통해서 다음과 같은 효과를 얻고자한다.

1) 고공환경모사 시험설비의 시스템설계기술 개발 및 검증을 통한 설계기술 확보
2) 2단용 엔진 시험 및 검사기술 개발과 제계적 업무 수행을 통한 시험/검사 기술 확보
3) 시험설비 개발을 통한 시험관련 Know-How 축적 및 활용
4) 고공환경 모사 시험설비의 핵심 구성품인 디스커 설계기술 개발
5) 고압분사노즐과 더불 재킷을 이용한 혼합형 방각시스템 설계기술 확보
6) 고공 환경에서의 추력성능 예측 기법과 고고도 시험설비의 운용기술의 확보

22 일반적요구조건

1) 시험 설비는 고고도 비행용 엔진을 시험할 수 있는 용량 및 규격을 갖추고 발사 시나리오에 따라 시험을 수행할 수 있어야 한다.
2) 모든 설비는 시험 중 발생할 수 있는 폭발, 화재 등의 사고 발생시에 신속하고 안전한 대처가 가능하도록 적절한 안전설비를 갖추어야 한다.
3) 모든 설비는 설계변경, 장비의 추가, 대체 및 환경성 등을 충분히 고려하여 설계/제작/설치되어야 한다.
4) 모든 설계, 제작, 설치는 적정한 사양 및 기준(KS, MIL 규격 등)에 근거하여야 하며 그 근거를 문서로 밝혀 두어야 한다.
5) 모든 장비, 부품, S/W에 대한 사용 및 수리 매뉴얼은 사용자가 이해하기 쉽게 작성하여야 한다.
6) 주요 부품에 대하여 고장 및 비상시에 대비하여 동일 사양에 있어 최소 1개 이상의 spare part를 갖추어야 한다.
7) 설비용 센서의 정확도는 ±0.5% (F.S.) 이내이어야 하며 sensing의 sampling rate는 0.1kHz 미만으로 한다.
8) 설비용 캐이저류는 정확도 ±1.0% (F.S.) 이내이어야 하며 oilless type을 사용해야 한다.
9) 설비에 사용되는 모든 부품이 현장에 입고되면 상태 및 성능을 담당자 입회에 검사한다.
10) 모든 유공압 부품 및 배관은 설계 압력에 맞게 강도/기밀시험을 거쳐야 하며, 강도/기밀시험 점차 및 구간을 서면으로 제출하여 담당자의 승인을 얻어야 한다.
11) 형상관리를 위해 각 부품 및 시스템에 대한 CAD 관리체계를 마련해야하며 2차원 및 3차원(Pro-E) 도면을 작성해야 한다.
12) 대기오염, 수질오염, 소음, 전동, 악취 등으로 환경해해 발생 및 인근주민이나 통행인에게 불편이 없도록 대기환경보전법, 수질환경보전법, 소음⋅전동규제법, 폐기물관리법, 오수⋅분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 등 관계법령 및 설계시에 의거 발생 오염물질 종류와 예상량, 처리방법, 처리 시험자 등에 포함된 환경오염 방지 계획을 수립하고 이를 준수해야 한다.
13) 인허가에 따른 제반 수속 및 제출 서류는 관련 법규 및 해당관청의 요구사항, 구매자의 지시에 따라 행하여야 한다.
14) 주요 시스템에 대해 판매자 해당 장비 또는
시설의 검증시험(Acceptance Test)을 수행해야 한다. 검증시험은 시장에 완성된 집중시험 결과를 및 합물 판정 기준에 의하여 실시되어야 하며 이 경우 구매자가 지정한 검사원이 입학하는 것을 원칙으로 하며 검사원의 서면 승인을 득하여야 한다.
15) 모든 설계, 제작, 설치, 완료품은 반드시 적정 Spec. 및 표준 (ASME, ISO, JIS, MIL-spec, KS 규격 등)에 근거하여야 하며 그 근거를 밝혀 두어야 한다.
16) 모든 필요한 소프트웨어는 사용자가 알기 쉴 수 있도록 읽고 검토되어야 하며 국문 또는 영문으로 작성되어야 한다.
17) Figure 1은 인도의 우주발사체 PSLV의 3단의 고공환경 모사시험설비의 개념도이다(1).

Fig. 1 Concept Design for HASTF of PSLV

18) 시험설비의 구성과 Lay-out은 Fig. 2와 Fig. 3과 같다.

Fig. 2 Lay-out of HASTF for KSLV-I

23 시험설비 성능 요구조건
23.1 일반성능 요구조건
가) 고공환경 모사시험설비는 엔진의 추력 및 압력 범위에 대해서 엔진작동시간에 걸쳐 실험 가능해야 하며, 시험횟수 최소 10회를 견딜 수 있게 설계해야 한다.
나) 고공환경모사 시험설비는 시험에 관계되는 모든 행위를 제어/계측시스템을 통해 제어할 수 있어야 한다.
다) 고공환경모사 시험설비는 엔진의 폭발 등 사고 발생시에도 신속하고 안전한 대처가 가능하도록 적절한 안전 설비를 갖추어야 한다.
라) 고공환경모사 시험설비는 발사 시나리오를 만족할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.
마) 고공환경모사 시험설비는 격납철을 비롯한 4계절 향시 시험 가능해야 한다.

23.2 각 장비별 성능요구조건
23.2.1 시험스 tand
① 엔진이 장착되는 시험설비 의미한다.
② 엔진의 이동 및 수평장착이 가능하며, 수직/수평으로 장착자세 변경을 포함해야 한다.
3. 엔진은 수평으로 장착하며, 장착에 따른 허용 오차는 수평축으로부터 0.5도 이내 이어야 한다.
4. 엔진을 지지하는 부분이 감당할 수 있는 최대 무게는 엔진추력의 약 2배로 하고, 이 부분을 통해 추력이 추력 측정기로 전달되도록 한다.

2.3.2.2 추력측정시스템(TMS)
1. 연소 시험에서 발생하는 엔진의 추력(Thrust)을 측정하기 위한 시스템을 말한다.
2. 시스템 구성도 Fig. 4와 같다.

Fig. 4 Composition of Thrust Measurement System

3. 시스템 형상 및 구성은 Fig. 5와 같다.

Fig. 5 Composition & Configuration of TMS

4. 추력 측정부 : 엔진에서 발생하는 추력을 추력 측정 센서 등을 이용하고 추력과 동반된 교란요소를 배제시킨 상태로 측정하는 부분을 말한다.
   ✓ 형상 : 수평형 (Horizontal Type)
   ✓ Type : 1축형 (Single Axis Type)
   ✓ 추력 측정 방법 : 최대추력 2배
   ✓ 기하학적 편차 : ±0.5 deg
   ✓ 적절한 엔진내일시험 시스템 포함할 것
   ✓ 기하학적 편차 측정 방법 및 수단 포함할 것
   ✓ 측정 오차 : ±0.5 % F.S.
   ✓ 추력 측정 방식 : 로드셀 방식
   ✓ 시험 대상품 및 추력 측정 범위에 따라 로드셀을 교체 가능하여야 함
   ✓ 측정 오차 : 정격 추력 기준 0.5% 이내
   ✓ 측정 Sensitivity : 1 kHz
   ✓ 엔진의 자중에 의한 하중 보상장치 필요
   ✓ 운도 변화 등 외부 요인에 의한 교란 없어야 함
   ✓ 연소시험 시 발생하는 진동으로 인한 교란 없어야 함
   ✓ 추력측정 장치는 제어/계측 시스템과 연계하여 측정데이터가 기록될 수 있어야 함

5. 교정시스템 : 시험 전 후 로드셀을 보정하기 위한 시스템을 말한다.
   ✓ 엔진이 장착되기 전 상태의 순수한 로드셀 교정, 시험 대상품 장착 후 측정 Zero Point를 맞추기 위한 교정, 시험 후 로드셀 Hysteresis를 보정하기 위한 교정등 목적에 맞게 적절히 교정 할 수 있는 기계적 / 소프트웨어적인 교정시스템을 갖추어야 한다.
   ✓ 교정과정은 제어 / 계측실에서 단순 조작을 통하여 실시할 수 있도록 자동화되어 있어야 한다.
   ✓ 모든 교정 수행 결과가 기록될 수 있어야 한다.
   ✓ 교정과정의 외부 교란 요인을 배제할 수 있는 독립적인 시스템을 갖추어야 한다.

2.3.2.3 초음속 디퓨저(Supersonic Diffuser)
1. 요구하는 고공환경을 모사할 수 있게 설계/제작/설치되어야 한다.
2. Supersonic Diffuser ⇒ Cylinder part ⇒
Subsonic Diffuser로의 연속적인 연소가스의 이동이 가능하여야 한다.
③ 디퓨저의 방각은 물을 이용하여 방각하며, 열 응력을 충분히 견딜 수 있게 방각수를 공급해야 한다.
④ 디퓨저의 장착용 치구는 추력측정시스템 (TMS)과 엔진의 수평축을 맞추기 위해 2축으로 움직여야 한다.
⑤ 디퓨저의 개념 구성도는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6 Concept Design of Diffuser

2.3.2.4 제어기계시스템
① 개념 구성도는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7 Concept Composition of Control & Measurement System

② 연소시험장의 모든 부분을 감시 및 통제가 가능하여야 하며 연소시험의 진 과정을 원거리 제어가 가능하도록 설계되어야 한다.
③ 현지 사정상 독립 건물에 설치가 어려우므로 일반 상용 Container House 내부에 모든 설비가 장착되어야 한다.

1) 기본 요구조건
여기에서는 시험 설비의 Control System, Data Acquisition and Instrumentation 등에관하여 기존에되는 요구조건들은 포괄적으로 설명한다. 이에 따르는 기본 원칙은 다음과 같다.

- 소프트웨어는 Source Program이 주어져야 하는 것은 물론, 그 Source Program을 수정하기 용이 하도록 Line-By-Line 혹은 Section-By-Section으로 설명이 주어져야 한다.
- 매뉴얼을 포함한 모든 문서는 사용자가 쉽게 Step-By-Step으로 이해할 수 있어야 하며 반드시 관련된 사전, 그림, 도면 컴퓨터 모니터의 상태 등이 포함되어야 한다.
- PC Base System으로 구성해야 한다.
  - 적응 PC는 IBM 호환 PC로 Pentium IV 3GHz 이상의 CPU, 1G 이상 RAM 성능을 가져야 한다.
  - Monitor는 인식성을 고려하여 19" LCD 이상이어야 한다.
  - 데이터 저장은 내장형 HDD(저장용량 100GB 이상) 및 외장형 데이터 저장장치를 이용하며 모든 PC는 별도의 외장형 저장장치를 갖추어야 한다.
  - 데이터 출력을 위하여 Printer(Laser B&W 1대, Color Inkjet 1대)를 갖추어야 한다.
- 이상상황 발생 시 적절한 대처가 가능하도록 상황등 또는 방송 등으로 시험장 전체에 경고 메시지를 전송할 수 있어야 한다.
- PC Monitor와는 별도로 수동 조작 Console 및 Digital Indicator를 System P&ID에 맞게 배치하여 조작성 및 인식성을 높일 수 있는 Mosaic Panel 설치해야한다.

2) 제어 시스템
모든 제어 시스템은 수동/자동 안전 시스템을 수반하여야 하며 특히 설계점을 벗어날 경우 자동 안전 시스템의 작동으로 사람은 물론 설비의 안전이 보장되어야 한다. 모든 입력 상태 및 작동상태는 CRT에 나타나 가시적으로 모니터 할 수 있어야 한다. 제어시스템은 PLC 시스템을 통해 제어하고, control room에서 제어시스템을 제어하는 것을 원칙으로 한다.

3) Measuring System or Data Acquisition System
- 모든 성능시험은 소프트웨어로 데이터 처리하여 엔진의 성능을 표현하는 각 Parameter들의 관계 데이터를 산출하는데 이는 기본 목표이다. 따라서 그래프의 정밀한 면과 사용자가 과학적 관계에 들어가는 것은 매우 중요하며 소프트웨어는 이러한 기능을 만족시켜야 한다.
- 개념 구성도는 Fig. 8과 같다

![Fig. 8 Concept Composition of Data Acquisition System](image)

- 적응 소프트웨어의 그래프 Format은 추후 변경이 용이하여야 한다.
- 모든 측정 및 데이터 처리 시스템은 다른 장비와 마찬가지로 주요한 보다는 많은 측정 및 데이터 처리, 환경, 교체, 대체, 호환성을 충분히 고려하여야 한다.
- 장비의 모든 상태가 항상 Control Room에서 모니터 되어야 한다. 주요 계측 Parameter는 다음과 같다.
  - 압력 (Pressure), 온도 (Temperature)
  - 진동 (Vibration), 추력 (Thrust)
- Measuring System에서 받아들이는 데이터들은 수신 및 신호처리 과정에서 상호 간섭 (Interference) 및 교란 (Noise)을 최소화 할 수 있도록 적절한 보호 장치를 갖추어야 한다.
- 모든 Sensor들은 어떠한 상태에서도 교정 소프트웨어에 의해 자동으로 교정되어 데이터 값들 의 신뢰성이 보장되어야 한다.
- 모든 값을 Analog/Digital 등으로 처리될 수 있어야 한다.
- 모든 Sensor들의 사용방법, 특정, Uncertainty 등에 관한 메뉴얼과 그 Sensor들의 관리도는 모든 소프트웨어의 메뉴얼이 제공되어야 한다.
- 일시적 또는 장기간의 기기장치에 모두 기록되어야 하며 CRT와 Printer로서 값을 볼 수 있고 또한 양면의 Graphic Output을 CRT와 Printer로 볼 수 있어야 한다.

2.3.25 공기공급시스템 (Air Supply System)
① Air 공급시스템의 구성은 다음과 같다.
  - Compressor
  - Dryer
  - Manifold
  - Storage Vessel
  - High Pressure Cut/Off Valve
  - Dome Loaded Regulator
  - Pneumatic Actuator Valve
  - Tubing
② 고공환경도 및 고도를 높이기 위한 Ejector에 Air를 저장 공급하기 위한 시스템을 말한다.
③ Air 저장탱크 용량은 실험시간 70초 기준으로 시험에 저장 없을 경우 규모로 갖추어야 한다.
④ Air의 압력은 시험요구조건에 부합되게 유지되어야 한다.
⑤ Air 공급시스템의 배관은 시험요구조건에 맞는 압력을 고려하여 제작 및 설치하여야 한다.

2.3.27 안전설비
① 소화 설비
  - 시험장에서 연소시험 중 발생 가능한 시험 대상물의 화재 또는 다른 원인에 의해 발생하는
 각종 화재를 감지하고 전파를 방지하며 궁극적으로는 안전하게 소화할 수 있는 설비를 말한다.

- 수동 및 자동으로 소화설비 작동 가능함
  - 화재 감지 센서 사용하여 화재 발생을 인지한 경우 알람 등을 이용하여 화재 발생을 정고하고 동시에 소화 설비가 작동하도록 설계되어야 한다.
  - 화재 감지 센서에서 화재를 인지하지 못한 경우에도 소화 설비를 작동시킬 수 있도록 수동 스위치를 갖추어야 하며 수동 작동 스위치는 계어 / 계측실 등에 반드시 설치되어야 하며 오동작을 막을 수 있는 별도의 장치가 필요하다.
- 소화 설비는 설치 설비를 기본으로 갖추어야 한다.
- Test Stand
  - 안전 주의 입증 소화 설비 설치 할 것
  - 시험요원 작업구역에 개인용 소화설비 갖추어 초기 화재 진압 가능하도록 할 것
  - 시험장 주변
    - 연소시험 중 발생한 화재가 주변으로 확산되는 것을 방지하기 위함

② 시험요원 안전 설비
- 작업 구역 및 개단 미끄럼 방지 시설
- 휴대용 가스 마스크 및 산소마스크
- 각 작업 구역마다 개인용 소화 장구(Portable 소화기) 설치 할 것
- 각 작업 구역마다 개인용 안전장구 및 내화 장구 보관을 위한 Cabinet 설치
- 각 작업 구역마다 긴급 알람 버튼 설치하여 비상상황 발생시 시험장 전체에 알림 수 있도록 할 것

3. 결 론

이상에서 KSLV-I 2단 추진기관의 고공환경에서의 작동특성을 구현하기 위한 고공환경모사시험설비를 구축하기 위한 요구조건을 도출하였다.
도출되어진 요구조건을 토대로 시험설비를 구축한다면 보다 완벽한 시험설비가 구현될 것이며 시험 진행에 있어 도움이 되리라 판단한다. 또한 로켓을 시험하기위한 설비 구축 시에도 이용가능하리라 판단한다. 그러나 상세설계를 진행하면서 요구조건들을 좀 더 수정이 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌