대형 액체로켓 추진기관 시스템 시험설비 개념설계

김지훈*† · 유병일* · 조남경* · 김승한* · 한영민*

Concept Design of the Propulsion System Test Complex for Heavy Liquid Rocket

Jihoon Kim*† · Byungil Yoo* · Namkyung Cho* · Seunghan Kim* · Yeoungmin Han*

ABSTRACT

Before doing the flight test, the ground test for liquid rocket propulsion system is helpful for improving its reliability and reducing the development money. Therefore, by constructing the Propulsion System Test Complex for heavy liquid rocket propulsion system development, we expect that it will be the first step for making the commercial launcher which will be competitive in the international launch service market.

초 록

발사체의 비행시험을 하기 전 액체로켓 추진기관에 대한 지상시험 수행을 통해 효율적인 추진기관 개발을 도모할 수 있고 비행시험 전 검증을 통해 신뢰도를 높이고 개발비용도 절감할 수가 있다. 따라서 국내에서도 대형급 추진기관 시스템 시험설비를 구축함으로써 앞으로 개발되는 액체추진기관의 완성도와 신뢰도를 향상시켜 국제시장에서 경쟁력 있는 상용 발사체 개발의 첫걸음을 내딛을 수 있기를 기대한다.

Key Words: KSLV-II(한국형발사체), PSTC(추진기관 시스템 시험설비), Reliability(신뢰도), Liquid propulsion system(액체추진기관), Integrated Test(종합시험)

1. 서 론

발사체의 비행시험을 하기 전 액체로켓 추진기관에 대해 지상에서의 성능 검증이 요구된다. 지상시험 수행을 통해 효율적인 추진기관 개발을 도모할 수 있고 비행시험 전 검증을 통해 신뢰도를 높이고 개발비용도 절감할 수가 있다. 이에 한국형발사체 개발사업 중 개발되는 발사체의 1단, 2단, 3단 각 단별 추진기관 시스템에 대한 성능 검증 및 평가를 위한 추진기관 시스템 시험설비 구축 개념설계안을 정리하였다.

2. 시험설비 개요 및 요구조건

* 한국항공우주연구원 추진시험팀
† 교신저자, E-mail: jhk0622@kari.re.kr

2.1 개요

추진기관 시스템 시험설비는 한국형발사체의 각 단별(1단, 2단, 3단) 추진기관 시스템에 대한 성능을 검증하기 위해 수류 및 연소 시험을 수행하는 설비이다.

2.2 시험설비 요구조건

PSTC는 한국형발사체 개발 과정에서 요구되는 발사체 1단, 2단, 3단 추진기관에 대한 종합수류/종합연소시험 및 1단부의 Clustered Engine 연소시험을 수행할 수 있어야 한다.

종합수류시험은 각 단별 추진기관 시스템을 종합 구성하여 수행하는 첫 시험으로 연소과정 없이 시스템 설계 및 구성품의 작동성에 대해 검증하는 것이 목적이다. 전체 시스템을 구성하고 연계 시험을 수행할 때에는 단품으로 시험할 때에는 발생하지 않은 또다른 문제가 발생할 수 있기 때문에 반드시 해야하는 단계이다. 종합수류시험용 하드웨어는 시험상의 위험을 줄이기 위해 장치들이 실제 비행용 단에 적용되는 것과 다소 차이가 있으며 다음과 같은 장치들과 특징이 있다. ; 산화제 및 연료 탱크의 비상 배출 및 비상 가압/벤트를 할 수 있는 장치, 하드웨어 내 빈 공간의 퍼지 및 화재 발생을 위한 장치, 엔진부 구역의 질소퍼지 시스템, 추진제 누출에 대비한 엔진 보호장치, 탱크 가압가스 가열을 위한 열교환 장치, 시험설비와 기체 간 연결 및 분리 시 공급/배출 라인들이 자동 장탈착이 되지 않을 수 있다. 시험 중 인원의 접근이 불가하므로 모든 전기 유공압 장치들은 원격으로 제어한다.[1]

종합연소시험은 액체 추진기관 시스템의 성능 검증을 위한 것으로 연소 가능한 엔진을 장착하여 수행한다. 본 시험을 통해 추진기관의 설계 및 운용에 대한 최종 성능 확인을 할 수 있다. 종합수류시험에 비해 지상에서 모사해야 하는 추가적인 설비가 줄어들 수 있으며 화재 방지를 위한 안전설비를 반드시 갖추어야 한다.

한국형발사체의 1단부는 75톤급 엔진 4기를 클러스터링한 것으로서 종합연소시험을 수행하기 전에 엔진 4기의 안정적인 작동성을 확인하는 연소시험을 PSTC에서 수행해야 한다. 따라서 종합수류시험 과정에서 볼 수 없었던 엔진 시동 과정을 반복하여 추진기관 시동절차 개발, 추진기관 제어 알고리즘 검증, TVC 구동성 및 간섭 확인 등의 업무를 수행해야 한다.

2.3 부지 및 안전거리

PSTC는 전남 고흥 외나로도 나로우주센터 내 부지에 들어서게 될 예정이며 안전거리를 고려하여 다른 인접한 시험설비에 영향을 주지 않을 적절한 부지 선정을 위해 검토 중이다.

안전거리 산정은 총 추진제의 양을 TNT 등가량으로 환산하여 위험반경을 산출하였다. 설비 기준으로 한 최소 안전반경는 3.5psi로 하였으며, 화염구반경은 6.8psi로 나타내었다. 3.5psi는 폭발파에 의한 인체손상 및 저압저장탱크 파손이 시작되는 압력으로 이 기준이 적용되었을 것으로 확인되는 유사시험설비는 독일 DLR 추진시험설비와 러시아 FKP NITs RKP 시험설비의 배치간격이다. 6.8psi는 화염구 반경으로 독일 DLR P4, P5(엔진/단 시험설비) 설비의 배치간격이 본 기준으로 배치된 것으로 확인된다. 추진기관 시스템 시험설비는 화염구반경과 안전반경이 각각 133m와 219m로 계산되었다.[Table 1]

Table 1. 추진기관 시스템 시험설비 안전거리

	단위	추진기관 시스템 시험설비 - 1단 기준
최대운용시간	[sec]	140
액체산소 질량유량	[kg/s]	704
케로신 질량유량	[kg/s]	327
추진제 총 질량유량	[kg/s]	1031
추진제 총 질량	[kg]	144402
TNT 등가량	[kg]	28880
TNT 등가량	[LBS]	63670
Unbarricaded Intraline distance, 3.5psi	[m]	219
fire ball 반경, 6.8psi	[m]	133

2.4 해외 설비 사례

추진기관을 시험하는 설비는 해외에는 이미

다수가 구축되어 있다. 대표적으로 60년대 미국과 소련의 달 경쟁 시, 미국은 Stennis Space Center를 비롯한 다수의 추진기관 시험센터를 구축하여 Saturn 개발 일정을 앞당기고자 했다. 각 설비 간 안전거리는 약 500m~1km 정도이다. 러시아는 구소련 시절 추진기관 시험만을 전문적으로 수행하는 기관(구 니히마쉬)를 설립하여 러시아에서 개발된 모든 로켓은 이곳에서 지상시험을 거쳤다. 이 기관은 현재 NITs RKP로 명칭이 바뀌어 추진기관 시험 업무를 계속 수행하고 있다. 특히 IS-102 스탠드는 대표적인 과거 구소련 R-7 로켓 개발시 지어진 스탠드로 당시 R-7 로켓은 추력이 450ton 정도였으며 스탠드는 900ton 급으로 건설되었다. 당시의 냉각수 공급 시스템은 3ton/sec 유량으로 설계되었다. 이후, 스탠드를 개량하여 현재는 1200ton 급으로 확장하였다. 본 스탠드에서는 R-7 시리즈, 프로톤, N1-L3, 제니트, 에네르기야, KSLV-I 1단, 앙가라 stage들을 테스트 하였다[Table 1]. 유럽의 경우 독일의 Lampoldshausen에 있는 DLR에서 추진기관 시험을 전문적으로 수행하고 있다. 일본은 Tashiro에 있는 단시험 스탠드가 있으며 추력 220톤 급까지 시험할 수 있고 H-IIB 1단 배틀쉽 테스트를 수행했다.

Fig. 1 NITs RKP IS-102 test stand

3. 시험설비 개념설계

3.1 시스템 구성 및 schematic

PSTC는 크게 제1스탠드, 제2스탠드, 중앙공용시설동으로 나눌 수 있다. 1, 2 스탠드는 실제로 시험대상물이 장착되는 곳이며 중앙공용시설동은 추진제 공급을 위한 추진제 저장탱크, 고압가스류, 공기생산장치 등을 갖추고 있는 설비이며 부지 최종 결정에 따라 신축 혹은 기존 설비의 공유 여부가 결정될 것이다.

제1스탠드는 한국형발사체 1단 300톤급 추진기관에 대한 성능시험을 수행하며, 제2스탠드는 2단/3단 추진기관에 대한 성능시험을 수행할 것이다.

각 시험스탠드와 공급설비 간의 연계 구성은 그림 3과 같다. 화살표는 매질 혹은 데이터의 방향을 나타낸다. 시험스탠드 및 공급설비의 각종 유공압 밸브의 작동은 중앙통제동으로부터 원격제어로 수행한다. 환경 보호를 위해 오폐수 처리장치가 화염유도로와 연계 구성된다. 본 구성도의 기본 개념을 통해 시험설비의 P&ID를 도출할 수 있다.

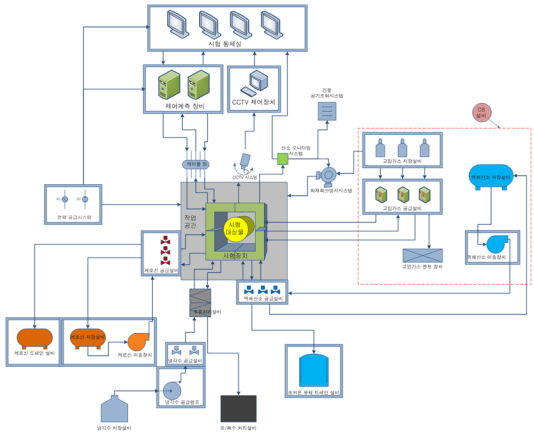

Fig. 2 PSTC 시스템 연계 구성도

3.2 시험설비 설계안

Table 2. PSTC 기본 설계규격

항목	값	항목	값
1단 추력대	600 tons(Max.)	후처리 물유량	3,000 kg/sec
2/3단 추력대	100 tons(Max.)	물저장 용량	1000 m^3
산화제 저장탱크	300 m^3	액체질소 저장탱크	300 m^3
연료 저장탱크	100 m^3	1단연소 시험시간	135 sec

PSTC의 기본 설계규격은 Table. 2와 같으며 소요 부지 면적은 약 45m x 45m로 이는 1, 2 스탠드를 나란히 구축하고 공급설비를 중앙공용 시설동을 공유할 경우의 면적이다. 테스트스탠드 건축물은 지상 5층, 지하 3층 정도(지상 30m, 지하 38m)의 규모로 화염유도로는 경사면의 낙차를 이용하여 냉각 효율을 증가시키고자 한다.

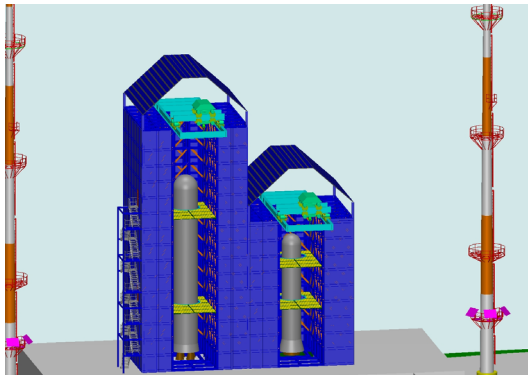

Fig. 3 PSTC 테스트스탠드 3D 모델개념

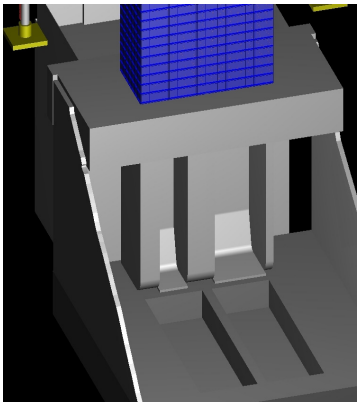

Fig. 4 테스트스탠드 화염유도로 3D 모델개념

4. 결 론

비행시험을 하기 전 지상에서의 추진기관 성능 확인 시험을 수행하는 것이 발사체의 신뢰도를 향상시키고 효율적으로 개발하는 지름길이다. 그러나 고추력을 발생시키는 대형 로켓의 지상시험은 추진제량도 많을뿐더러 화염도 엄청나기 때문에 큰 위험을 내재하고 있는 설비이므로 안전성 확보에 만전을 기해야 한다. 따라서 안전을 최대한 확보할 수 있는 적절한 부지 선정을 하는 것이 본 PSTC 설계에 있어 가장 중요한 다음 단계가 될 것이다.

국내에서도 대형급 추진기관 시스템 시험설비를 구축함으로써 앞으로 개발되는 액체추진기관의 완성도와 신뢰도를 향상시켜 국제시장에서 경쟁력 있는 상용 발사체 개발의 첫걸음을 내딛을 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. Bershadsky, V.A., 조규식, 임석희, 정영석, 조기주, 오승협, “KSLV-I 1단급 추진시스템 지상종합시험 프로그램,” KARI-PSG-TM-2005-009-v.1-rev.1
2. NIICHIMMASH(현 FKP NITs RKP) 발간 소개책자, 2007