

한국형발사체 추진기관시스템 시험설비 연료공급시스템 설계

최봉수* · 김용욱* · 이장환* · 조기주*

Design of Kerosene Filling System of Propulsion System Test Complex (PSTC) for KSLV-II

Bongsu Choi* · Yongwook Kim* · Janghwan Lee* · Kiejoo Cho*

ABSTRACT

Propulsion system test complex (PSTC) is designed to verify propulsion system of KSLV-II. It is composed of hydraulic and pneumatic system, test stand system, control/measurement system, and flame deflector and safety system. In this study, kerosene filling system of hydraulic and pneumatic system is introduced. It performs store and chilling of kerosene, chilling and purging of filling line, and filling and retrieval of the kerosene. The kerosene supply requirements of 1, 2 and 3 stages of KSLV-II are considered in design process

초 록

추진기관 시스템 시험설비 (PSTC)는 한국형발사체 (KSLV-II)의 추진기관 시스템을 검증하기 위해 고안되었다. 구성요소로는 유공압 시스템, 테스트 스탠드 시스템, 제어계측 시스템, 후류안전시스템이 있으며 본 논문에서는 유공압 시스템의 연료공급 시스템에 대해서 소개하고 있다. 연료 공급 시스템은 연료의 저장 및 냉각, 공급 배관의 냉각 및 퍼지, 연료의 충전 및 회수를 수행하는 시스템을 의미하며 한국형발사체 1/2/3단의 연료충전 조건을 고려하여 설계하였다.

Key Words: KSLV-II (한국형발사체), Kerosene Filling System (연료공급 시스템), Propulsion System Test Complex (추진기관 시스템 시험설비), Hydraulic and Pneumatic System (유공압 시스템), Kerosene Filling and Drain (연료 충전 및 배출)

1. 서 론

한국형발사체(KSLV-II)는 1.5톤급의 실용위성

을 태양동기궤도에 투입하는 것을 목표로 개발되고 있는 3단형 발사체이다. 추진기관 시스템이란 한국형발사체에서 연소기, 터보펌프, 가스발생기, 밸브 등으로 조립되는 엔진 시스템과 산화제 및 연료와 같은 추진제 탱크에서 엔진으로 추진제를 공급하는 공급시스템, 탱크 내부로 추

* 한국항공우주연구원 발사체추진기관체제팀

† 교신저자, E-mail: freehope87@kari.re.kr



Fig. 1 Concept design of PSTC

진제를 충전 및 배출하는 시스템, 탱크 내부의 압력을 제어하는 시스템 등 추진과 관련된 모든 구성요소를 지칭하는 용어로 한국형발사체의 성공적인 개발을 위해 반드시 검증해야 할 시스템이라고 할 수 있다 [1].

추진기관 시스템 시험설비(Propulsion System Test Complex, PSTC)는 추진기관 시스템을 검증하기 위한 시험설비로 한국형발사체 1/2/3단의 각 요구 조건에 맞게 수류시험 및 연소시험을 수행하도록 설계되었다. 구성설비는 추진제 및 가스 공급을 위한 공급동과 2개의 스탠드이며 제 1스탠드의 경우에는 추력 300톤 이상을 갖는 한국형발사체의 1단을, 제 2스탠드의 경우에는 추력 75톤을 갖는 2단 및 추력 7톤을 갖는 3단을 시험하기 위해 이용된다. Fig. 1은 PSTC의 각 스탠드 및 지상설비에 대하여 개략적인 형상을 보여준다.

PSTC의 기능은 시험대상체를 고정하고 기립하는 테스트스탠드 시스템, 제어 및 상태감시와 데이터 저장을 위한 제어계측 시스템, 추진제와 가스 공급을 위한 유공압 시스템, 후류의 냉각 및 설비의 안전을 위한 후류안전 시스템과 같이 네 가지로 나눌 수 있다 [2]. 그 중 유공압 시스템은 공급하는 유체나 수행하는 역할에 따라 산화제 공급 시스템, 연료 공급시스템, 액체질소 공급시스템, 고압가스 공급시스템, 온도 조절시스템, 전기식유공압판넬(EPP), 헬륨가열기로 구분된다 [3].

본 논문에서는 유공압 시스템 중 연료공급설비의 설계 방향과 역할에 대해 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연료공급 시스템

연료공급시스템은 시험대상체 내부에 연료를 공급하기 위한 시스템으로서 저장탱크, 드레인 탱크, 연료공급 펌프, 기액분리기와 같은 장비와 함께 배관, 밸브, 온도 및 압력 센서, 유량계, 필터 등으로 구성되어 있다. 주요 기능으로는 연료의 저장 및 냉각, 연료 공급배관 배기, 연료 공급배관 냉각, 시험대상체에 연료 충전 및 배출이 있다. 전체 설비는 PSTC의 공급동 지하 1층과 2층에 위치하며 1, 2스탠드에 연료를 공급하도록 Fig. 2와 같이 배치된다.

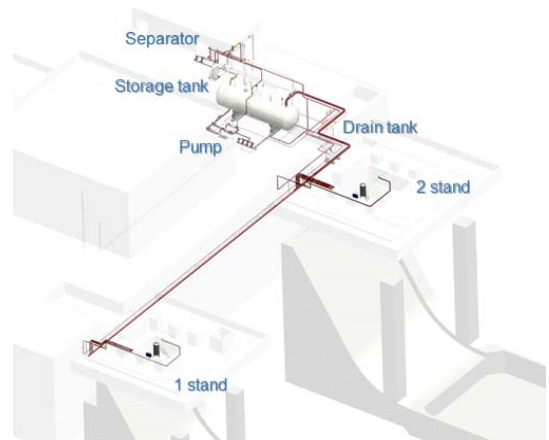


Fig. 2 Schematic diagram of kerosene filling system

2.1.1 연료의 저장 및 냉각

시험대상체의 수류시험 및 연소시험에는 케로신(kerosene)이 연료로써 이용되며 나로우주센터 외부에서 탱크로리를 이용하여 PSTC까지 운반한 후에 연료공급 시스템의 저장탱크에 주입하여 저장한다. 저장탱크의 용량은 Table 1에 나타난 바와 같이 170 m³이며 한국형발사체 1단의 시험을 2회 수행할 수 있는 용량이다. 주입된 연

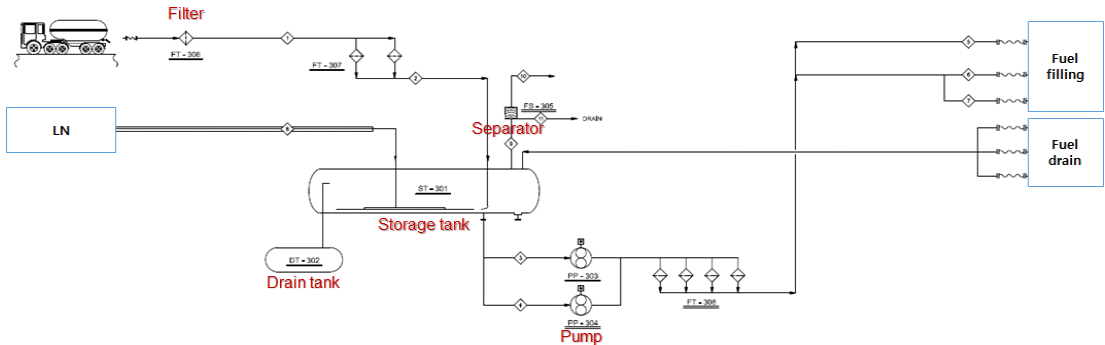


Fig. 3 Process flow diagram of kerosene filling system

료는 연료 저장탱크에서 샘플을 채취하여 밀도, 함유된 수분농도, 불순물을 검사하고 품질기준을 만족하는지 확인한다. 밀도의 경우에는 연료 제조사로부터 적합한 밀도의 연료를 구입해야하며 불순물은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 여러 개의 필터를 통해 여과시킨다. 수분의 경우에는 기체 질소를 연료 저장탱크의 바닥에서 분사시켜 용해된 수분을 제거한다. 품질검사를 통과한 연료는 이후 액체질소 공급시스템과의 연계작업을 통해 냉각시킨다. 이 때 냉각온도는 시험시간까지의 시간과 시험대상체의 요구온도를 고려하여 선정한다.

Table 1. Specification of kerosene filling system components.

	Capacity
Storage tank	170 m ³
Drain tank	3 m ³
Pump	80 m ³ /h
Separator	0.9 m ³

2.1.2 연료 공급배관 배기 및 냉각

수류시험 및 연소시험 시에 연료를 시험대상체에 공급하기 전에 저장탱크와 발사체까지의 공급배관은 배기하고 냉각할 필요가 있다. 배기

작업은 배관 내에 잔류하는 연료나 기타 불순물을 제거하여 청결도를 유지하기 위한 것이며 냉각작업은 유체가 배관을 흐르며 온도가 상승함으로써 발사체의 설계 요구조건에 만족하지 못하는 것을 방지하기 위한 것이다. 이 때 배기작업은 지상설비에서 시험대상체 방향으로 기체 질소를 흘려보내 불순물이 드레인 탱크로 배출되게 한다. 이후 반대로 시험대상체에서 지상설비 방향으로도 마찬가지로 작업을 수행한다. 배관냉각은 펌프의 전단까지 연료를 공급해서 충분히 펌프에 연료가 공급된 후에 펌프를 가동시켜 사전에 냉각된 연료를 이용하여 배관을 냉각하고 저장탱크로 다시 회수한다. 이때 설정온도에 도달할 때까지 연료의 배관 내 순환을 반복한다.

Table 2. Kerosene filling requirements of umbilical plate.

		1 stage	2 stage	3 stage
High flow filling	flow rate (LPM)	700~800	200~330	60~90
	pressure (MPaA)	0.23~0.24	0.2~0.25	0.2~0.3
Low flow filling	flow rate (LPM)	60~140	60~140	30~70
	pressure (MPaA)	0.16~0.17	0.16~0.18	0.2~0.3
Temperature (K)		278±2	278±2	278±2
Time (min)		60	60	60

2.1.3 연료 충전 및 배출

연료 공급배관이 냉각 된 이후에는 시험대상체의 연료 엄빌리칼을 통해 내부의 연료탱크를 충전하는 작업을 수행한다. 이때 주입조건은 Table 2에 나타낸 바와 같이 소유량 충전과 대유량 충전 두 가지로 나뉜다. 연료의 충전 과정은 다음과 같다. 먼저 소유량 충전 작업을 통해 연료탱크를 선냉각한 후에 대유량 충전으로 전환하여 목표 충전량의 95~98% 정도를 충전한다. 이후 마지막 목표량을 정밀하게 달성하기 위해 소유량 충전 작업으로 다시 전환하여 마무리한다. 이 때 소유량과 대유량의 요구조건이 1/2/3 단에 대하여 서로 다르기 때문에 공급배관에 설치되어 있는 유량조절밸브의 궤도를 조절하여 요구조건을 만족시킨다. 궤도량은 시험대상체 대신 모사배관과 모사밸브를 가지고 실시되는 사전시험을 통해 미리 설정값을 찾아야한다.

연료 배출이 필요한 상황은 다양하게 발생한다. 연료를 충전하는 과정 중 발생할 수 있는 비상상황이나 수류시험이나 연소시험 종료가 대표적인 경우이다. 이러한 경우 시험대상체 내부에는 연료가 남아있기 때문에 연료를 공급한 엄빌리칼을 통해 다시 연료공급시스템의 저장탱크로 회수한다. 그밖에 수류시험의 경우 연소 과정 없이 엔진 모사 배관을 통해 연료를 배출시키기 때문에 배출된 연료를 다시 저장탱크로 회수하는데 이 경우에는 시험대상체 하부에 설치된 회수배관을 이용한다.

3. 결론

추진기관 시스템 시험설비는 한국형발사체의 추진기관 개발을 검증하기 위한 목적으로 구축되는 설비이다. 본 논문에서는 추진기관 시스템 시험설비의 구성 요소 중 하나인 연료공급시스템의 주요 기능 및 설계 요구조건을 소개하고 있다.

향후 구축된 설비에 대해서 연료의 저장 및 냉각, 연료 공급배관 배기 및 냉각, 연료충전 및 배출이 정상적으로 수행되는지 검증을 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 정영석, 임석희, 조규식, 오승협, “한국형 발사체 추진기관 개요”, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 269-275, 2012.
2. 김동기, 이정호, 김상헌, 김용욱, 조기주, 오승협, “한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 개발 현황”, 한국추진공학회 학술대회논문집, 867-871, 2016.
3. 이장환, 김상헌, 김용욱, 조기주, “한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 유공압 시스템”, 한국추진공학회 학술대회논문집, 872-875, 2016.