

액체로켓 산화제 지상공급시스템의 운용 프로세스 설계 및 검증

김지훈* · 박순영** · 박편구*** · 유병일*

Operating Process Design and Verification on the Oxidizer Filling Ground Facility for Liquid Rocket

Jihoon Kim* · Soonyoung Park** · Pyungoo Park*** · Byungil Yoo*

ABSTRACT

The oxidizer filling system, ground facility of the launch complex, should accept difficult requirements from the launcher sufficiently. The launcher do not have unnecessary insulators for mass reduction and manages liquid oxygen mass fastidiously to satisfy the mission requirement. So, the ground facility should be able to accept its requirements, then we should make the operating process being adjusted. In this paper, the operating process design and verification results on the oxidizer filling ground facility for liquid rocket is demonstrated.

초 록

액체로켓 발사를 위한 설비인 산화제 지상공급시스템은 발사체에서 요구하는 까다로운 요구조건을 충실히 수용할 수 있어야 한다. 발사체는 무게 감량 등을 위해 불필요한 단열재 등을 최대한 갖추지 않고 임무 요구조건 만족을 위해 탑재하는 액체산소량도 까다롭게 관리한다. 이러한 조건들은 최대한 지상 설비가 수용해주어야 하며 그 조건들을 만족시키기 위한 운용 프로세스를 설계해야 한다. 본 논문에서는 액체로켓 산화제 지상공급시스템의 운용 프로세스의 설계 및 검증시험 결과를 정리하였다.

Key Words: KSLV-I(나로호), Naro Space Center(나로우주센터), Ground Facility(지상설비), Oxidizer(산화제), LOx(액체산소), Autonomous Test(단독 성능시험)

1. 서 론

100kg급 소형위성을 지구 저궤도에 투입시키기 위한 발사체가 개발되었고, 발사장이 전남 고흥 외나로도 나로우주센터에 구축되었다. 본 발사장은 액체산소와 케로신을 추진제로 사용하는 추력 150톤급의 액체로켓 발사를 운용하기 위한 공급설비를 갖추었으며 본 논문에서는 산화제

* 한국항공우주연구원 추진시험팀

** 한국항공우주연구원 엔진팀

*** 한국항공우주연구원 터보펌프팀

† 교신저자, E-mail: jhk0622@kari.re.kr

지상공급시스템의 운용 프로세스에 대한 설계 및 검증 시험 결과를 정리하였다.

2. 산화제 공급시스템 개요

발사대는 크게 Central Building(이하 CB동)과 Launch Building(이하 LB동)으로 나누어져 있으며 액체산소 저장시설은 CB동에 위치하여 발사 운용시 펌프를 이용하여 LB동의 최종 밸브단까지 연결되어 있는 지하 진공배관을 통해 액체산소를 공급하게 된다.[1]

3. 산화제 공급시스템 운용 프로세스 설계

3.1 운용 요구조건

LOFS의 액체산소 저장탱크는 약 270톤의 액체산소를 저장할 수 있으며 발사운용을 위해서는 255톤 이상의 액체산소를 저장하고 있어야 한다.

발사운용 당일 Lift-off 약 5시간 전부터 시스템을 준비하고 1단 산화제 탱크에 액체산소를 충전하는 일련의 작업들을 수행하게 되는데 액체산소를 충전하던 중 발사취소가 되면 지상의 저장시설로 액체산소를 회수한다.

발사 당일 일련의 전 과정은 지상관제시스템의 명령에 따라 자동으로 수행되며 비상 시에는 수동으로 시스템을 제어할 수 있어야 한다.

3.2 운용 프로세스 설계

정상적인 시스템 운용은 “시스템 기능검사 -> 시스템 배관 냉각 -> 열교환기 준비 -> 발사체 탱크 냉각 -> 발사체 탱크 충전 -> 발사대기”의 순서로 이루어져야 한다.

1) 시스템 기능검사 : 발사체의 산화제 충전 라인과 함께 발사체와 연계된 관련 부품들의 기능검사 및 연결부위의 기밀시험을 수행한다.

2) 시스템 배관냉각 : 관제시스템으로부터 명령을 받아 지상 산화제공급시스템의 냉각 작업을 수행한다. 냉각작업은 저장탱크의 액체산소를 통해 수행하며 소유량으로 시작하여 배관 온도 조건에 따라 대유량으로 전환할 수

있다.

3) 열교환기 준비 : 지상시스템의 준비 과정에서 열교환기에 액체질소를 채워 헬륨 및 액체산소 공급을 위한 준비를 한다.

4) 발사체 탱크 냉각 : 지상공급시스템의 냉각이 완료되고 발사체에서 냉각 시작 명령을 수신하면 산화제를 발사체에 주입하기 시작한다. 초기에는 펌프를 구동하지 않고 기화되는 액체산소로 주입 배관 및 발사체 탱크를 냉각한다. 발사체에서 준비가 되면 지상의 펌프를 구동해 액체산소 공급 준비를 완료한다.

5) 발사체 탱크 충전 : 발사체에 산화제를 충전하라는 명령을 수신하면 대유량으로 충전을 하기 시작한다. 이때 지상산화제공급시스템은 발사체의 명령에 따라 언제든지 충전을 중단하고 재개할 수 있다. 발사체 탱크의 산화제 레벨센서의 작동신호에 따라 대유량 충전 모드에서 대유량 보충충전 모드로 전환된다. 충전 중 비정상상황 발생시 발사체로부터 일시중지 명령을 수신할 수 있다. 일시중지 명령을 수신하면 주입 밸브들을 닫고 주입 배관 내의 잔여 산화제를 지상의 드레인탱크로 배출한다.

6) 발사대기 : 발사체 산화제 탱크 충전이 완료되면 발사 시까지 대기상태에 있게 된다. 발사체 산화제 탱크 내의 액체산소는 계속 기화하여 레벨이 낮아지게 되는데 액체산소의 레벨 유지를 위해 지상으로부터 계속 보충 충전을 한다. 보충충전 모드는 대유량과 소유량 모드가 있으며 발사체의 명령에 따라 모드 전환을 한다. 또한 보충되는 액체산소는 열교환기를 통해 과냉각 하여 낮은 온도요구 조건을 만족해야 한다.

운용 중 발사가 취소될 경우 충전했던 산화제를 다시 지상의 산화제 탱크로 회수하게 되는데 지상의 배출/회수용 밸브를 열어 발사체 탱크 내 산화제의 수두압과 탱크압력을 이용해서 회수한다.

4. 운용 검증 시험

산화제 지상공급시스템의 운용 검증 시험은 크게 단독 성능검증시험(Autonomous Test)과 발사체 연계 성능검증(Qualification Test)으로 나눈다. 단독 성능검증시험은 설비의 단독적인 운용을 통해 극저온 유체가 흐를 때 설비의 성능이 제대로 나오는지 확인하기 위한 시험이다. 발사

체 연계 성능검증시험은 발사패드에 실제 발사체 모델과 동일한 시험용 모델을 세워놓고 산화제 충전/배출 시험 수행을 하게 된다.

4.1 시스템 단독 성능검증 시험

단독 성능검증은 액체질소를 이용한 시험과 액체산소를 이용한 시험으로 나누어진다. 실제 운용매질인 액체산소로 시험을 수행하기 전에 유사한 극저온이면서 발화의 위험이 없는 액체질소로 우선 시스템이 운용상 문제가 없는지 확인하는 단계를 거친다.

산화제 저장탱크에 액체질소를 충전하는 것을 시작으로 산화제 저장탱크를 약 61.5kPa로 가압하여 40분간 압력유지를 하며 cold pressure test를 수행했으며 저장탱크의 건전성을 확인하였다. 공급배관에 액체질소를 흘려보내 채우고 배관을 운용압력 이상으로 가압하여 배관 체결부의 기밀상태, 극저온에서의 건전성을 확인하였다. 산화제 충진을 위한 펌프를 구동하여 성능을 확인하였으며 요구되는 펌프 전/후단 압력과 유량 결과가 만족하였다.

Table 1. 공급펌프 구동 시 전/후단 압력

	Pressure of P30 pump (Mpa)		Pressure of P40 pump (Mpa)	
	전	후	전	후
1st	0.068	0.862	0.063	0.838
2nd	0.067	0.857	0.067	0.841

실제 운용매질인 액체산소를 이용하여 요구되는 유량, 압력, 온도 조건을 만족하는지 성능 확인을 했으며, 우선 수동으로 작동하여 시스템 냉각에 소요되는 시간을 체크하고 자동제어 프로그램을 구동한 시스템 냉각 시간을 비교한 결과 자동제어 프로세스 로직이 적절함을 확인했다.

4.2 발사체 연계 성능검증 시험

단독 성능검증 시험 결과를 종합하여 운용 프로세스에 대한 부분적인 수정을 하고 발사체와 연계한 성능검증 시험을 준비했다. 발사체 탱크로 주입되는 액체산소의 유량, 온도, 압력 조건들은 발사체와 연계해야지만 확인할 수 있는 변수들이다. 2009년 5월부터 총 5차례의 발사체와

의 연계시험을 통해 시스템 제어를 위한 최적 프로세스를 구현하였으며 최종 확립된 운용 프로세스를 이용하여 발사체 최종 연계시험을 성공적으로 수행하였다.[3] 시험 수행 결과 발사 운용을 위한 산화제 공급 유량, 온도, 압력 요구 조건을 모두 만족하였으며 발사를 위한 최적 상태를 갖추었음을 확인했다.

5. 결 론

액체로켓 발사를 위한 설비인 산화제 지상공급시스템은 발사체에서 요구하는 까다로운 요구 조건을 충실히 수용할 수 있어야 한다. 발사체는 무게 감량 등을 위해 불필요한 보온재 등을 최대한 갖추지 않고 임무 요구조건 만족을 위해 탑재하는 액체산소량도 까다롭게 관리한다. 이러한 조건들은 최대한 지상 설비가 수용해주어야 하며 본 산화제공급시스템은 성능시험 결과들을 종합/분석해 그 조건들을 충족시키도록 운용 프로세스를 최적화 하였다.

참 고 문 헌

1. KARI, "Operation Manual of Liquid Oxygen Filling System of KSLs", 2009
2. KARI, "Technical Description of Liquid Oxygen Filling System of KSLs", 2009
3. 김지훈, 박순영, 박편구, 유병일, "지상 산화제 공급시스템 운용 시 액체산소 소모량 분석," 한국추진공학회 2010년도 추계학술대회 논문집, 2010