



## 한국형발사체 발사대시스템 산화제공급설비 상세설계

서만수<sup>a,\*</sup> · 고민호<sup>b</sup> · 선정운<sup>b</sup> · 서현민<sup>b</sup> · 이재준<sup>c</sup> · 강선일<sup>a</sup>

### Critical Design Result of Liquid Oxygen Filling System for Korea Space Launch Vehicle-II Launch Complex

Mansu Seo<sup>a,\*</sup> · Min-Ho Ko<sup>b</sup> · Jeong-Woon Sun<sup>b</sup> · Hyun-Min Suh<sup>b</sup> ·  
Jae Jun Lee<sup>c</sup> · Sunil Kang<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Launcher Complex Development Team, KSLV-II R&D Head Office, Korea Aerospace Research Institute, Korea

<sup>b</sup>Engineering Division, Aerospace Team Korea, Hanyang Engineering Co.,Ltd, Korea

<sup>c</sup>Chemical Process Research Department, Advanced Technology Institute, Hyundai Heavy Industries, Korea

\*Corresponding author. E-mail: msseo@kari.re.kr

#### ABSTRACT

In this paper, the liquid oxygen filling system (LOXFS) of the launch complex system of Korea Space Launch Vehicle-II (KSLV-II) is introduced based on critical design result by KARI in 2015 to 2016. The function and specification of the main systems of the liquid oxygen filling system, such as the storage tank, the drainage tank, the supply pumping system, the curved heat exchanger with liquid nitrogen, end valve block system, and umbilical connection, are presented.

#### 초 록

발사대시스템의 산화제공급계(Liquid Oxygen Filling System)는 발사체의 추진제(Propellant) 중 연료의 연소를 위한 산화제(Oxidizer)로 사용되는 액체산소(Liquid Oxygen)를 저장하고, 발사체 요구조건에 맞게 공급하는 하는 설비이다. 본 논문에서는 한국형발사체(KSLV-II) 발사대시스템 상세설계(Critical Design, 2015년 8월에서 2016년 4월, 8개월) 동안 수행된 한국형발사체 발사대시스템 추진제 공급설비의 산화제공급계 설계 내용을 주요 설비 구성에 대하여 구조적 관점으로 소개한다.

Key Words: Liquid Oxygen Filling System(LOXFS, 산화제공급계), Launch Complex System(발사대 시스템), Korea Space Launch Vehicle-II(KSLV-II, 한국형발사체)

#### 1. 서 론

Received 1 June 2016 / Revised 28 November 2016 / Accepted 2 December 2016

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2016년도 춘계학술대회(2016. 5. 25-27, 제주 사인빌리조트) 발표논문문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

발사대시스템은 1) 조립과 점검을 마친 발사체를 발사 패드로 이동·장착하고 2) 발사 전 최종 기능 점검, 3) 연료·산화제 주입, 그리고 4) 발사

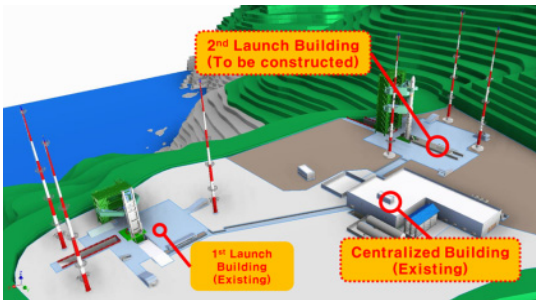


Fig. 1 3D aerial view drawing of launcher complex of Test Launch Vehicle (TLV) and KSLV-II in Naro space center.

체 온도 제어 등의 발사 운용 작업을 거쳐 발사체의 발사를 담당하는 지상에서 이루어지는 운용과 관련된 모든 시스템을 의미한다. 발사대시스템은 기능적으로 지상 기계설비, 추진제 공급설비, 발사 관제설비, 그리고 기반 시설로 구성된다. 각 설비는 1) 발사체의 수송, 기립, 그리고 발사 패드와의 상부 결합 등 발사체를 기계적으로 운용하는 발사대 기계설비(MGSE, Mechanical Ground Support Equipment), 2) 연료, 산화제와 고압 가스류를 발사체의 요구 조건에 맞게 저장/공급하며, 발사 취소 시 발사체로부터 안전하게 배출/회수하는 기능을 담당하는 추진제 공급설비(FGSE, Fuel Ground Support Equipment), 3) 발사 운용 시 발사대 기계설비, 추진제 공급설비와 발사체의 전반적인 감시, 사전 점검과 발사 제어 운용을 담당하는 발사 관제설비(EGSE, Electrical Ground Support Equipment), 그리고 4) 전력, 급수, 공조, 통신, 소방, 토목/건축 등으로 구성된 발사대 기반시설이다[1,2]. 추진제 공급설비는 발사 운용 중 담당하는 역할과 사용유체 종류를 기준으로 4가지 부속시스템 그룹(고압가스, 초저온, 연료, 안전 부속 시스템 그룹)으로 나뉜다[1]. 이 중 초저온 부속시스템 그룹은 산화제공급계(LOXFS, Liquid Oxygen Filling System)와 질소공급계(NSS, Nitrogen Supply System)로 구성된다.

본 논문은 2015년 8월에서 2016년 4월까지 8개월간 수행된 한국형발사체 (KSLV-II) 발사대시스템 상세설계 중 추진제공급설비의 산화제공급

계의 상세설계 결과물을 바탕으로 하여 산화제공급계를 설비 구성의 관점에서 설명한다.

## 2. 한국형발사체 발사대시스템의 산화제공급계

### 2.1 한국형발사체 발사대시스템의 구성

Fig. 1은 나로우주센터 동남부의 발사대 부지의 중앙공용설비와 발사대 위치를 보여준다. 나로우주센터의 발사대시스템은 구조적으로 중앙공용설비(CB, Centralized Building)와 발사대(LB1 and LB2, 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Launch Building)로 구성된다. 현재 나로호(KSLV-I), 시험발사체(TLV, Test Launch Vehicle), 한국형발사체로 이어지는 한국 우주 발사체의 발사대시스템은 모두 중앙공용설비를 공통으로 사용하며, 발사체에 따라 발사대를 각각 독립적으로 운영한다. 중앙공용설비와 각 발사대는 공동구로 불리는 지하 경로를 통하여 추진제 배관과 전력, 공조, 통신 연결이 이루어진다. 한국형발사체 발사대는 제2발사대이며 신규 구축된다. 시험 발사체 발사대시스템은 제1발사대이며 나로호(KSLV-I) 발사가 수행된 기존 나로호 발사대시스템을 개조·보완 구축한다. 발사대시스템의 일부 지상 기계장비들을 제외한 대부분의 시설들은 안전을 고려하여 지하에 배치하였다.

### 2.2 산화제공급계의 개요

#### 2.2.1 산화제공급계의 개요

산화제공급계는 발사체의 추진제(Propellant) 중 연료의 연소를 위한 산화제(Oxidizer)로 사용되는 액체산소(LOX, Liquid Oxygen)를 저장하고, 발사체 요구조건에 맞게 공급하는 것을 목적으로 한다. 산화제공급계는 발사체 1, 2, 3단의 산화제 저장 탱크에 단계별로 정량적 주입이 가능하여야 하며, 발사 취소 시 발사체로 공급된 산화제를 안전하게 회수하는 기능도 포함하여야 한다. 액체산소 주입 전후 배관 냉각 기능과 발사체 요구에 따라 공급되는 액체 산소와 헬륨을 냉각하는 기능도 가지고 있다[2,3]. 산화제공급계는 액체 산소가 초저온(~90 K)이므로 외기와의

열교환 차단을 위해 특별한 단열처리 (진공단열 또는 보냉)가 적용된 저장탱크, 초저온 밸브, 그리고 초저온 유체 이송펌프 등으로 구성되어있다. 이 중 산화제 저장탱크, 유체 이송 펌프, 초저온 밸브류, 필터는 중앙공용시설의 기존 나로호 발사대 시스템의 것을 활용할 계획이다.

2.2.2 산화제공급계 시설의 환경

Table 1에 나타난 바와 같이, 산화제공급계는 온도, 습도 등 외기 환경에서 설계 수명 20년 동안 파손되지 않고 운용 가능 상태를 정상적으로 유지해야 한다. 산화제공급계는 설치류, 곰팡이,

부식 등에 보호되어야 한다. 또한 안개, 염무, 뇌우, 서리, 강설, 그리고 결빙의 영향을 받지 않아야 한다[3].

2.3 산화제공급계의 주요 설비 구성

Fig. 2는 한국형발사체 발사대시스템의 산화제공급계의 주요 설비와 설비 간의 산화제 흐름을 간략하게 보여준다. 산화제공급계는 크게 산화제 저장탱크(LOX storage tank), 산화제 공급 펌프(LOX supply pump), 산화제 냉각용 액체 질소 열교환기(LN2 Heat exchanger), 배출 탱크(Drainage tank), 그리고 엄빌리칼 연결 장치

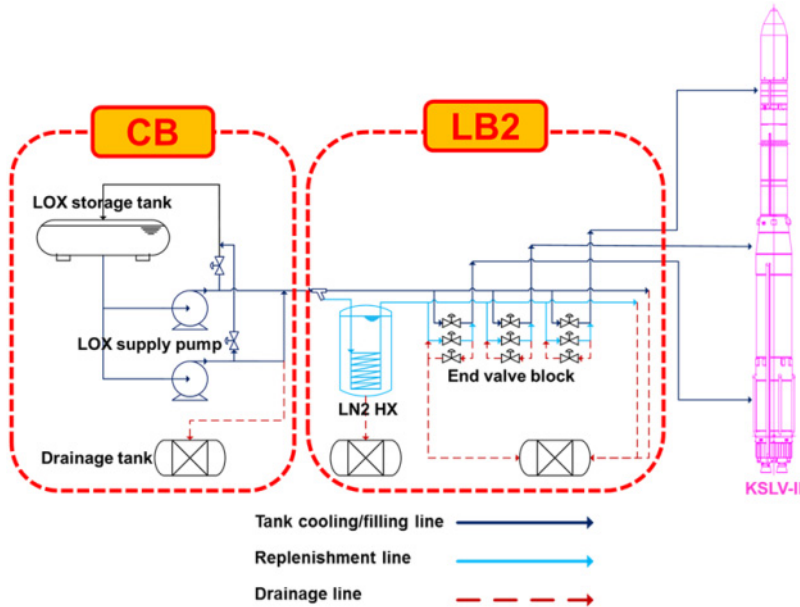


Fig. 2 Schematic diagram of process flow of liquid oxygen filling system.

Table 1. Conditions of liquid oxygen filling system for operation.

| List   | Values                                    |
|--|---|
| Temperature                                      | -10℃~35℃                                  |
| Humidity   | up to 98% at 25℃                          |
| Atmospheric pressure                             | within 750±15 mmHg                        |
| Wind speed                                       | 18 m/s (10 m altitude, 10 minute average) |
| Annual precipitation                             | 1300 mm/year                              |
| Salt concentration in the air                    | 0.1 mg/m <sup>3</sup>                     |
| Integral surface density of solar radiation flow | up to 1125 watt/m <sup>2</sup>            |
| Maximum wind speed                               | 60 m/s                                    |
| Allowable magnitude of an earthquake             | 6.0 magnitude (Richter scale)             |

(Umbilical connection)로 구성되어 있다. 각 설비는 초저온용 진공 단열 배관 혹은 일반 단열 배관으로 연결되어 있다. 산화제 저장 탱크와 공급 펌프는 중앙공용시설 (CB동), 그리고 공급 (충전) 온도와 유량 조절 관련 설비는 제2발사대동에 각각 설치되어 있다[4]. 발사체 발사운용시 산화제의 공급 흐름은 다음과 같다. 산화제 배관과 발사체 산화제 저장 탱크의 사전 냉각 (Pre-cooling)을 위한 탱크 냉각 충전과 산화제를 충전하는 주 충전(Filling)은 탱크 냉각/충전 배관(Tank cooling/Filling line)을 통해 이루어진다. 주 충전 종료 후, 액체 질소 열교환기를 통과하여 주 충전 주입 온도보다 낮은 온도로 발사체에 주입되는 보충 충전(Replenishment) 과정이 수행된다. 산화제 충전 과정 중, 해압 또는 배관 사전 냉각 과정의 산화제 배출 과정은 배출 배관(Drainage line)과 배출 탱크(Drainage tank)를



Fig. 3 Photo of liquid nitrogen (L110-A10, left) and liquid oxygen storage tank (L108-A10, right).

통해 수행된다. 발사 중단/취소 상황에서 발사체 산화제 저장 탱크에 저장된 산화제를 회수하는 산화제 회수 과정은, 산화제 수두압(Head pressure)와 높이 차를 활용하여 산화제 저장 탱크로 회수하는 방식으로 이루어진다.

본 절에서는 한국형발사체 발사대시스템의 산화제공급계 주요 설비를 설치된 시설별로(중앙공용시설과 발사대 시설) 나누어 설명한다.

### 2.3.1 중앙공용시설 산화제공급계

#### 2.3.1.1 산화제 저장 탱크(LOX storage tank)

Fig. 3은 산화제 저장 탱크(L108-A10)의 모습을 보여준다. 산화제 저장 탱크는 중앙공용시설 건물 외벽 측면의 지상에 액체 질소 저장 탱크와 나란히 설치되어 있다. 산화제 저장 탱크는 초저온 탱크로써 진공 조건 파우더 단열재(Perlite) 방식의 수평형 탱크이다. 수평형 탱크는 내압 특성이 강하며, 설치 비용이 낮은 장점이 있다. 저장 탱크의 연결 배관은 공급 유량에 적절한 크기의 진공 단열 방식 이중형 배관으로 설치되어 있다. 저장 탱크의 밸브는 저장탱크로 액체산소를 주입/토출하며 탱크의 상태 유지를 위해 사용되는 차단 밸브, 안전 밸브, 압력 조정 밸브로 구성되며 초저온용 밸브를 사용한다. 저장 탱크의 센서와 계이지는 저장 탱크의 상태를 원격 또는 로컬에서 확인할 수 있는 압력, 온도, 레벨 센서와 계이지로 구성된다.

Table 2는 산화제 저장탱크의 주요 성능 내용을 보여준다. 산화제 저장탱크의 산화제 총 용적, 저장 질량, 저장 용적, 운용과 설계 압력/온

Table 2. Specification of liquid oxygen storage tank(L108-A10).

| List  | Values              |
|---|---------------------|
| Total volume, m <sup>3</sup>                        | 250.0               |
| Storage capacity, ton                               | 256.5               |
| Storage volume, m <sup>3</sup>                      | 225.0               |
| Operating pressure (Design pressure), MPa(absolute) | 0.394 (0.463)       |
| Operation temperature (Design temperature), K       | 90 (77~313)         |
| Insulation  | Perlite with vacuum |
| Evaporation loss                                    | <0.2% Volume        |

도, 단열재, 그리고 단열 성능을 나타내고 있으며, 설계 결과이자 현재 설치 완료된 제작 완료 및 운용 조건이다. 저장탱크의 상세한 제작 치수 등은 제공되지 않았다.

산화제공급계는 발사 운용 조건에 맞게 충분한 양의 산화제를 저장한다. 발사 운용 중 발사체 산화제 충전 중 증발 손실량(Evaporation loss)은 약 총 충전량의 약 30%이다. Table 2에서 보면, 산화제 저장 질량은 저장 탱크 총 용적의 90%에 해당하는 산화제 용적에 해당하는 질량으로 약 256.5 ton이다. 앞서 언급한 발사운용 시 필요한 산화제 충전 질량을 고려하면, 발사 운용 후 산화제공급계 저장탱크의 잔여 산화제 양은 산화제 총 충전량의 77%로써 산화제 저장 탱크는 발사 운용에 충분한 양의 산화제를 저장하도록 설계되어 있다.

추가 고려할 것은 발사 운용 중 발사 중단하였을 경우 즉시 재발사 가능 여부이다. 발사체는 발사 운용 중 다양한 원인에 의해 발사가 중단될 수 있다. 발사 중단 후 발사 운용을 계속하기

위한 노력을 하게 되는데, 이러한 시도들이 효과를 거두지 못해 재발사를 진행할 수 없으면 발사를 중단 하게 된다. 발사 중단 시 발사체 안정을 위해 발사체로 주입된 산화제는 지상 산화제 저장 탱크로 회수하여야 한다. 산화제 회수 시 저장 탱크의 최종 저장량은 산화제 저장 탱크 잔류 산화제량과 발사체 산화제 탱크로부터 회수되는 산화제량 (회수율 90%)을 합한 값이다. 이는 재발사 시 필요한 산화제 질량의 약 1.3배에 해당하므로 재발사가 가능하다.

### 2.3.1.2 산화제 펌프 시스템(LOX supply pump)

산화제 공급의 동력원은 Fig. 4에 나타난 초저온 원심 펌프(Cryogenic centrifugal type pump)를 통해 제공되며, 이중화 개념으로 2기(K108-P30, P40)가 병렬 연결된다. 실제 운용에는 하나의 펌프만 사용되며 펌프의 작동 문제로 인한 문제점이 발생하게 되면 다른 펌프로 전환 작동된다. 펌프의 작동 문제는 일반적으로 펌프의 토출 압력이 일정 수준의 값 이하로 떨어지는 경우를 의미한다.

Table 3은 산화제공급계 초저온 원심펌프의 상세한 작동 성능을 나타낸다. 140 m<sup>3</sup>/h의 펌프 토출 유량은 해당 펌프의 최적 작동 조건(펌프 효율이 가장 높은 지점)에서의 값을 의미한다. 최고 효율과 무관한 해당 초저온 원심 펌프의 운전 범위는 30~180 m<sup>3</sup>/h이다. 펌프 토출 유량이 140 m<sup>3</sup>/h보다 높아지는 경우 펌프의 토출 압력 또는 펌프 수두(Pump head)가 낮아지므로, 한국형발사체에서는 140 m<sup>3</sup>/h를 최대 토출 유



Fig. 4 Photo of liquid oxygen supply pump (K108-P40).

Table 3. Specification of liquid oxygen supply pump (K108-P30, P40).

| List                          | Values        |
|-------------------------------|---------------|
| Operating fluid               | Liquid oxygen |
| Efficiency, %                 | 65.4          |
| Flow rate, m <sup>3</sup> /h  | 140.0         |
| Total pressure head, m        | 81.0          |
| Inlet pressure head, m        | 0.0           |
| Inlet pressure, kPa(absolute) | 101.3         |
| Shaft power, kW               | 56.6          |

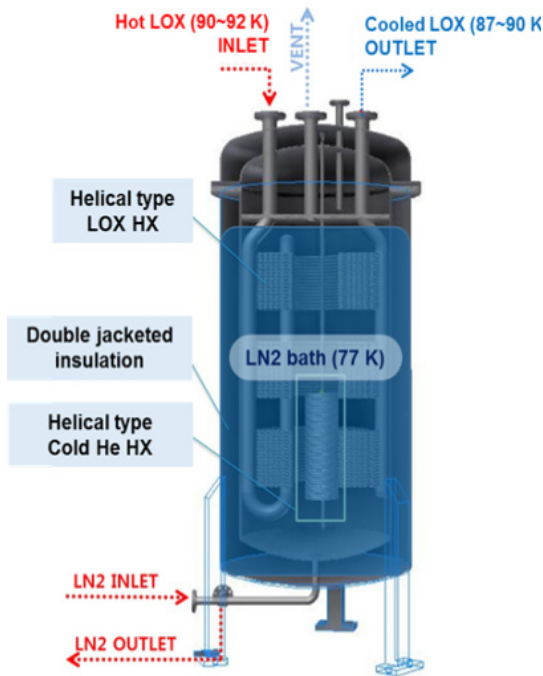


Fig. 5 Conceptual 3D design of liquid oxygen cooling helical type heat exchanger by liquid nitrogen (K108-X90).

량으로 설정한다. 초저온 원심 펌프는 작동 전 사전냉각이 일정 온도 이하 (93 K)로 반드시 선행되어야 한다. 또한, 초기 펌프 작동에서 토출 압력이 일정 수준 이상으로 도달하지 않는 구간이 발생하므로 별도의 펌프 작동 운용 알고리즘이 초기 작동 상황에서는 적용되어야 한다.

## 2.3.2 제2발사대 산화제공급설비

### 2.3.2.1 공동구 배관

산화제공급계의 중앙공용시설와 한국형발사체 발사대의 산화제공급계는 공동구를 통해 연결된다. 공동구는 발사대와의 연결과 발사체 이송 조건을 만족하기 위해 지하에 설치된다. 공동구의 시작점은 중앙공용시설이며, 종착점은 한국형발사체 발사대이다. 공동구 배관은 내경 8", 길이 약 50 m이며, 경질 우레탄 폼 단열재 (Polyisocyanurate)를 적용한다. 단열재 단열 성능은 열전도도 0.018 W/m-K이며, 단열재 두께는 50 ~ 100 mm로 설계하였다. 공동구 형상은

수평으로 2개의 공동구로 구성되며, 배관과 케이블이 통과하고, 점검을 위해 관리자가 지나다닐 수 있는 크기(너비 2.5 m, 높이 2.5 m)를 가지며, 시작점에서 종착점까지 일정 각도의 기울기를 가진다. 배관과 케이블은 별도의 공동구에 배치하며, 공동구 내부에는 배관과 케이블을 거칠 수 있는 지지대를 설치한다. 지하 매립에 관계되는 다양한 요구 조건이나 기타 규격은 별도의 기반 시설(토목/건축/전계장)과 기타 부속 시스템에 따른다.

### 2.3.2.2 산화제 냉각용 열교환기(LOX cooling heat exchanger)

발사체 산화제 저장탱크는 총 탱크 체적의 약 90%까지 90~92 K의 산화제로 주 충전이 이루어진 후, 보충 충전 과정으로 전환된다. 보충 충전은 발사체 저장 탱크의 산화제 체적을 최종 설계된 목표 체적에 맞추기 위한, 낮은 유량 범위의 정교한 충전 과정이다. 보충 충전이 이루어질 때 초저온 유체인 산화제는 외부 열유입으로 인하여 예측하기 어려운 높은 증발량 때문에 미세 조절이 어려워진다. 이를 방지하기 위해서 산화제의 포화 온도보다 낮은 87~90 K의 온도로 보충 충전이 이루어진다[5]. 산화제 보충 충전 과정에서의 산화제 공급은 대기압의 포화 온도가 77 K인 액체 질소 저장조(LN2 bath)에서 곡선형 열교환기(Curved heat exchanger)를 통해 냉각 열교환이 되는 산화제 냉각용 열교환기(LOX cooling heat exchanger, K108-X90) 설비를 통하여 이루어진다. Fig. 5는 산화제 냉각용 열교환기의 설계 형상을 보여준다. 산화제 냉각용 열교환기는 산화제 냉각뿐만 아니라 발사체 추진제/연료의 가압 기체로 사용되는 기체 헬륨 냉각에도 사용된다. Table 4은 산화제 냉각용 열교환기의 산화제와 기체 헬륨의 운용 유량, 입/출구 온도와 압력과 상세 설계에서 제안된 총 열교환 면적을 보여준다[6]. 기존 나로호 산화제공급설비의 산화제 냉각용 열교환기의 설계자료 및 운용 시험결과에서 열교환기의 튜브측인 산화제 배관 내부 열교환계수 값과 셸 측인 외부 열교환계수 값을 참고하여 본 상세 설계에 적용하였다.

산화제 냉각용 열교환기는 곡선형 열교환기의 다양한 형상 파라미터(곡선형 코일 높이, 지름, 피치 수 등), 주 배관(Main header)에서 다수의 곡선형 열교환기로 나뉠 때 발생하는 유량 불균 등 분배 현상(Mal-distribution), 그리고 액체 질소의 초저온 영역에서의 막비등 열전달 현상과 추가적인 기포 발생으로 인한 열전달 억제 현상과 같은 문제점이 있으므로 향후 설계 검증 시 시험 결과를 이용한 타당성 검토 과정을 반드시 반영해야 한다.

2.3.2.3 산화제 충전 유량 조절 밸브 설비 (End valve block)

산화제공급계는 액체 산소의 저장/공급/냉각/회수의 기능을 수행한다. 이중 가장 핵심적인 기능은 공급(충전)이다. 산화제의 발사체로의 충전은 목적별로 3가지, 유량 범위별로 4가지-탱크별 각 충전(소유량 충전), 주충전(대유량 충전),

보충충전(보충 대유량 충전, 보충 소유량 충전)-로 구분된다[7,8]. 한국형발사체에서는 4가지 유량의 충전 과정이 1, 2, 3 단별로 각각 독립적으로 수행되므로 총 12가지의 충전 과정으로 나뉘어진다. 이러한 충전 과정들의 충전 유량 조절은 Fig. 6에 나타난 산화제 충전 유량 조절 밸브 설비를 통하여 다양한 밸브 조합을 통해 구현된다. 한국형발사체 산화제 공급설비에서는 단별로 약 4~5개의 크기가 다른 밸브 군으로 구성되어 다양한 밸브 조합이 구현되어 충전 유량을 조절할 수 있게 되어 있으며, 초저온 인칭 제어 밸브(cryogenic inching control valve)를 적용하여 밸브별 개도 조절을 통해 미세 유량 조절이 가능하다. 1단은 5개(KF61~KF65), 2단은 4개(KF71~74), 그리고 3단 4개(KF81~84), 총 13개의 공급용 초저온 밸브, 그리고 단별로 1개씩 총 3개(K60, K70, K80)의 회수용 초저온 밸브로 구성되어 있다. 상세 설계에서 산화제 충전 운용은 3단 동시 충전 시작과 동시 종료를 기준으로 하여 1-D 유동 해석을 수행하였으며, 해석 결과를 바탕으로 상세 충전 운용 방향 결정, 배관과 밸브 크기를 결정하였다. 유동 해석 시 각 충전유량조절 밸브의 운전 개도 범위가 20~65% 사이 값을 가지도록 설정하였다. 밸브 크기가 커서 운전 개도가 20% 미만인 경우에는 더 작은 밸브를 적용하여 운전범위에 들어갈 수 있게 하였고, 반대의 경우에는 밸브의 크기를 줄여서 운전범위를 만족시킬 수 있게 조정한다. 이를 통해 해당 밸브 운전 개도 범위를 기준으로 충전 모드 및 각 단별 산화제 충전 유량과 소요 시간을 만족

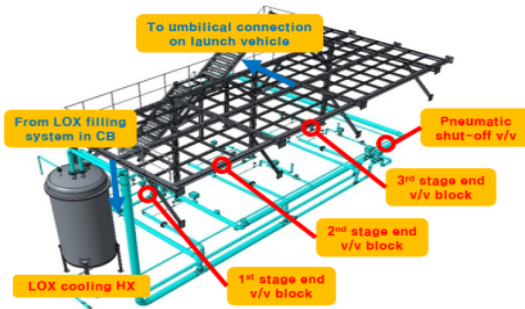


Fig. 6 3D Drawing of end valve block of liquid oxygen supply system.

Table 4. Design results of liquid oxygen and gas helium cooling heat exchanger.

|                              |        | LN2  | LOX    | GHe    |
|------------------------------|--------|------|--------|--------|
| Mass flow rate, kg/h         |        | -    | 34,320 | 396    |
| Temperature, K               | Inlet  | 77   | 90~92  | 40     |
|                              | Outlet | -    | 87~90  | 90~120 |
| Pressure, MPa(absolute)      | Inlet  | 0.17 | 1.4    | 23     |
|                              | Outlet | -    | 1.4    | 23     |
| Surface Area, m <sup>2</sup> |        | -    | 32.3   | 16.4   |

하는 밸브 직경을 도출하였다.

#### 2.3.2.4 엄빌리칼 연결부(Umbilical connection)

엄빌리칼로 표현되는 발사체 연결부는 지상과 발사체의 연결부이며 지상 발사대 산화제 공급 시스템의 마지막 부분이다. 엄빌리칼 연결부를 기준으로 지상 발사대시스템과 우주 발사체가 구분된다. 한국형발사체에서는 수동 퀵커넥팅(Manual quick-connecting) 방식의 체결을 통해 공급계 최종 배관과 발사체를 연결한다. 수동 퀵커넥팅 방식은 암/수 구성품으로 연결부를 맞춘 후, 작업자의 현장 조작만으로 체결/분리를 수행할 수 있는 방식이다. 특히, 산화제 공급 시스템의 엄빌리칼 연결부는  $-183^{\circ}\text{C}$ 의 극저온 조건에서의 기밀이 핵심 성능이므로  $-196^{\circ}\text{C}$  액체 질소를 이용한 저온 기밀 시험을 통해 성능 검증이 수행되었다. 해당 방식은 추가적인 나사 체결 또는 피팅이 없으므로 발사 운용 준비 시기에 필수적으로 필요한 현장 체결 작업 시간을 획기적으로 단축할 수 있으며, 발사체와 지상공급시스템의 독립적인 기밀 시험을 가능케하는 요소이다. 발사체에 부착된 엄빌리칼 기저판은 발사체가 발사되는 시점에 폭약 나사가 작동하여 분리된 후, 엄빌리칼 회수 장치의 기계적 힘을 통하여 발사체로부터 분리되어 지상 기계 시스템으로 회수된다.

### 3. 결 론

2015년 8월에서 2016년 4월까지 8개월간 수행된 한국형 발사체(KSLV-II) 발사대 시스템 상세 설계 과정을 통하여 추진제 공급설비의 산화제 공급계의 상세 설계가 완료되었다. 본 논문에서는 현재까지의 상세 설계를 바탕으로 하여 한국형 발사체 발사대 시스템의 추진제 공급설비 산화제 공급계의 설계 내용을 구조적 관점으로 주요 설비 구성에 대하여 소개하였다. 산화제 공급계의 상세 설계에서는 배관 계통도(P&ID, Piping and Instrument Diagram)와 공정 흐름도(PFD, Process flow diagram) 확정, P&ID와

Layout에 따른 배치 도면 작성, 발사체 충전 배관 1-D 유동 해석, 배관 크기 확정, 부품 목록(장비, 부품, 배관, 센서, 계기 등) 확정(규격, 수량, 제작사 등 포함), 시험 계획 수립, 기술사양서와 운용문서 작성, 그리고 발사 관제설비, 발사대 기반시설 설계 및 구축제작을 위한 Input data 작성, 발사대 운용을 위한 알고리즘 문서 생성 등이 수행되었다. 향후 제작 설계, 제작, 구축이 수행되며, 독립 성능 시험(AT, Autonomous test), 발사체 연계 시험(QT, Qualification test), 비행 시험(FT, Flight test)의 성능 확인과 검증 절차가 진행될 예정이다.

### References

1. Kang, S.I., Oh, H.Y. and Kim, D.R., "Basic Design of Propellant Ground Support Equipment and Flame Deflector for KSLV-II Launch Complex," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 19, No. 1, pp. 76-86, 2015.
2. Hyundai Heavy Industry CO., "KSLV-II Launch Complex Critical Design Final Report," KARI, 2016.
3. Hyundai Heavy Industry CO., HANYANG ENG CO., "Technical Description for Liquid Oxygen Filling System-K108," KARI K108.00-S-209-001-TD, 2016.
4. Hyundai Heavy Industry CO., HANYANG ENG CO., "Process Flow Diagram for LOX Filling System," KARI K108.00-S-201-001, 2016.
5. Yu, B.I., Park, S.Y., Park, P.G. and Kim, J.H., "Temperature Control System of Cryogenic Propellant for Launch Complex," *Korean Society of Propulsion Engineers Fall Conference*, Busan, Korea, Nov. 2011.
6. Jung, Y.S., "KSLV-II Umbilical Propellant Line Condition A.1," KARI L2-CD-00033, 2016.



7. Park, S.Y., Kim, J.H., Park, P.G. and Yu, B.I., "Analysis on the Filling Mode of Liquid Oxygen to the Launch Vehicle Using Flowmaster," *Korean Society of Propulsion Engineers Fall Conference*, Daejeon, Korea, Nov. 2009.
8. Lee, J.J., Park, S.M., Kang, S.I., Oh, H.Y. and Jung, E.S., "Analysis on the Filling Mode of Propellant Supply System for the Korea Space Launch Vehicle," *Korean Society of Propulsion Engineers Fall Conference*, Gyeong-ju, Korea, Nov. 2015.