



한국형발사체 발사대시스템 연료공급설비 상세설계

여인석^{a,*} · 강선일^a · 안재철^a · 이재준^b · 서종원^c

Critical Design of Kerosene Filling System for KSLV-II Launch Complex

Inseok Yeo^{a,*} · Sunil Kang^a · Jaechel An^a · Jaejun Lee^b · Jongweon Seo^c

^aLaunch Complex Team, Korea Aerospace Research Institute, Korea

^bChemical Process Research Department, Hyundai Heavy Industries, Korea

^cKorea Aerospace Research Institute, Hanyang ENG, Korea

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

ABSTRACT

Korea Aerospace Research Institute(KARI) has been developing a new launch vehicle Korea Space Launch Vehicle-II(KSLV-II) with their own technology. Thus, it is required a new launch complex that corresponds to a new propulsion system of launch vehicle. Because widely changing of KSLV-II comparing with KSLV-I such as thrust of engine system, composition of vehicle staging, pneumo-hydraulic scheme of propulsion system, it is important to establishing appropriate ground support equipments for fuel(kerosene) filling. In this critical design process, specific supply line and specification of components are designed and the concept of kerosene filling is determined based on results of preliminary design. Also, plans of supply operation and prerequisite are established and operation algorithms are formed.

초 록

한국항공우주연구원에서는 현재 대한민국 독자적인 기술의 한국형발사체를 개발하고 있다. 따라서 한국형발사체의 추진기관에 적합한 새로운 발사대시스템의 개발이 요구된다. 한국형발사체는 엔진 추력, 단 구성, 추진기관 배관 및 구성품 규격 등이 나로호와는 확연히 변화되었기에 이에 적절히 대응되는 발사대시스템의 연료공급설비가 구축되어야 한다. 한국항공우주연구원에서는 발사대시스템의 상세설계를 통하여 예비설계 결과를 바탕으로 보다 구체적인 공급라인 구성과 구성품의 규격을 설계하였고, 충전개념을 결정하였다. 또한 케로신 공급운용 및 사전작업에 필요한 계획을 수립하였고 이에 따른 운용알고리즘을 구성하였다.

Key Words: KSLV-II(한국형발사체), Launch Complex System(발사대시스템), Kerosene Filling System(연료공급설비), Kerosene(케로신)

Received 17 June 2016 / Revised 12 November 2016 / Accepted 17 November 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) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

1. 서 론

한국항공우주연구원은 2013년 1월 대한민국

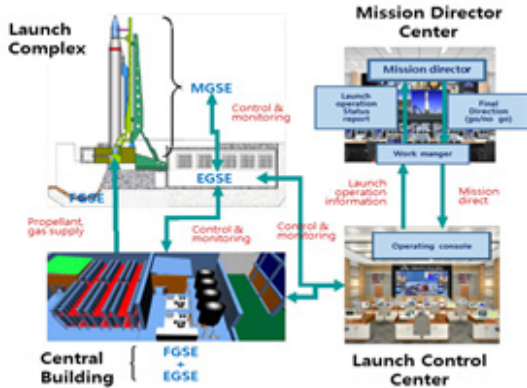


Fig. 1 Operation concept of KSLV-II launch complex[2].

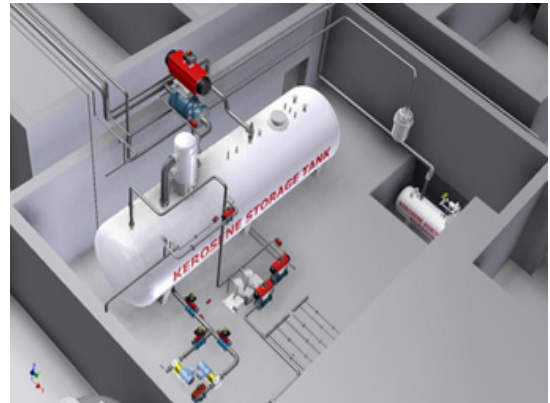


Fig. 2 3D model of kerosene filling system.

최초의 우주발사체 나로호(KSLV-I)를 성공적으로 발사하였고 이때의 발사운영경험을 바탕으로 대한민국 독자 기술의 한국형발사체(KSLV-II)를 개발하고 있다. 러시아기술로 개발된 1단 액체로켓엔진과 대한민국 기술의 2단 고체로켓엔진으로 구성된 나로호와는 달리 한국형발사체는 75톤급 액체로켓엔진 4기로 클러스터링(clustering)된 1단과 75톤 액체로켓엔진 1기의 2단, 그리고 7톤급 액체로켓엔진 1기의 3단으로 구성된 총 3단형 액체추진발사체이다.

발사체를 성공적으로 발사하기 위해서는 발사체 추진기관의 개발이 매우 중요하지만 이에 맞는 발사대시스템 개발 및 구축 역시 필요하다. 발사대시스템은 조립 및 점검을 마친 발사체를 발사패드로 이동 및 고정하고 발사 전 최종 기능 점검, 추진제 공급 및 발사체 온도제어 등의 발사운영 작업을 수행하기 위한 지상시스템을 의미한다. 각각의 발사체마다 추진제 공급방식 및 공급조건과 발사체 기립 후 고정방식 등이 다르기 때문에 일반적으로 1기의 발사체에 1개의 발사대시스템이 요구된다[1]. 따라서 이미 2009년 전남 고흥군 나로우주센터에 나로호 발사에 맞추어 구축된 제1발사대가 존재하지만 한국형발사체 엔진의 추력변화에 따른 추진제 공급조건 및 공급방식 등의 변화에 대응되는 새로운 발사대시스템이 필요하다. 현재 한국형발사체에 적합한 제2발사대에 대한 설계가 이루어지고 있으며 나로우주센터 제1발사대의 같은 부지에

구축될 예정이다.

발사대시스템은 그 기능에 따라 크게 추진제 공급설비(FGSE, Fuel Ground Support Equipment), 지상기계설비(MGSE, Mechanical Ground Support Equipment) 그리고 발사관제설비(EGSE, Electrical Ground Support Equipment)로 구성된다. 이들은 Fig. 1에 나타낸바와 같이 서로 유기적으로 연계된다. 이중 추진제공급설비는 액체로켓엔진의 추진제(연료 및 액체산소)와 고압가스류(공기, 질소, 헬륨)를 요구조건에 맞게 저장 및 공급하며, 발사 취소 시 발사체로부터 안전하게 배출하는 등의 기능을 담당하며, 주요 세부설비로는 연료공급설비, 산화제공급설비 그리고 고압가스생산설비와 공급설비 등으로 이루어진다.

본 논문에서는 한국형발사체 발사대시스템의 연료공급설비에 대한 기능 및 구성과 설계내용 등을 소개하고자 한다.

2. 연료공급설비 상세설계

2.1 연료공급설비의 기능 및 구성

한국형발사체 발사대시스템의 연료공급설비는 액체로켓엔진의 연료로 사용되는 케로신을 온도, 압력 그리고 유량 등 발사체 요구조건에 맞춰 발사체로의 안정적인 공급을 목적으로 설치되며 케로신을 저장하고 공급하기 위한 여러 가지 시

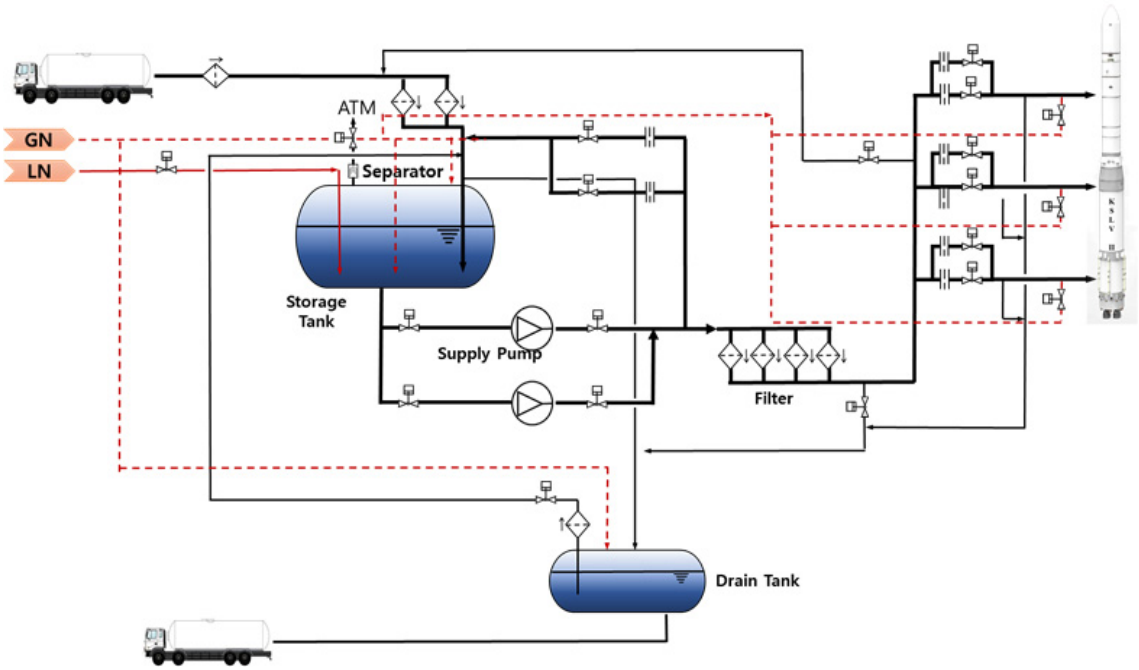


Fig. 3 Schematic diagram of kerosene filling system.

설, 장비 및 지원시스템을 통칭한다. 연료공급설비의 3D 모델은 Fig. 2와 같고 설비의 개략도는 Fig. 3과 같다. 연료공급설비는 역할에 따라 케로신 언로딩 설비, 케로신 저장 설비, 케로신 충전 설비 그리고 배출 설비로 구성된다. 각 설비에 대한 설명은 아래에 서술하였다.

2.1.1 케로신 언로딩(unloading)설비

케로신 언로딩설비는 운반탱크로부터 운반된 케로신을 저장탱크로 공급하기 위한 설비이다. 케로신은 발사체에서 요구하는 높은 품질을 유지해야하기 때문에 불순물을 제거하기 위해 70 μm 과 20 μm 의 여과입자크기를 갖는 1차 필터와 2차 필터가 언로딩 설비에 설치되며, 2차 필터의 전/후단에는 차동압력센서가 설치되어 일정 차압 이상이 측정되면 필터를 세척 또는 교체하여야 한다.

2.1.2 케로신 저장설비

케로신 저장설비는 케로신을 발사운용하기 전까지 저장 및 보관하기 위한 것으로 케로신 저

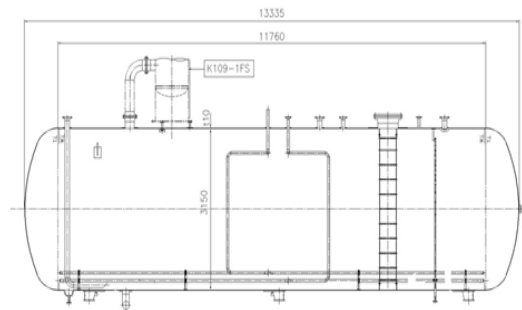


Fig. 4 Drawing of kerosene storage tank.

장탱크가 이에 속한다. 한국형발사체가 발사임무를 수행하기 위해 연료탱크에 저장되는 케로신량 즉 발사체 내부로 공급되어야 하는 케로신량은 약 70 m^3 이며, 케로신 공급운용 과정에서 발생하는 배출 및 바이패스 되는 양 등을 고려하여 80 m^3 의 케로신이 지하저장탱크에 저장된다. 하지만 냉각 및 용존가스 제거 등의 사전작업 과정에서 케로신이 넘치는 것을 막기 위해 실제 저장량보다 큰 100 m^3 체적의 원통형 수평탱크가 설치된다(Fig. 4). 저장탱크 상단에는 유증기

만을 분리해 배기시키기 위한 유증기 분리기(separator)가 설치되고, 저장탱크내의 압력이 일정압력 이상 올라가는 것을 방지하기 위해 안전밸브가 설치된다. 또한 저장탱크내의 압력을 측정 및 모니터링하기 위한 압력계이지(pressure gauge), 압력트랜스미터(pressure transmitter) 그리고 압력스위치(pressure switch)가 설치되고 온도를 측정하기 위한 온도트랜스미터(temperature transmitter), 케로신 저장량을 측정 및 감지하기 위한 레벨트랜스미터(level transmitter)와 레벨스위치(level switch)가 설치된다. 이 계장기기들로부터 각각의 신호를 받아 저장탱크와 연계된 밸브들의 개폐상태를 제어하게 된다.

2.1.3 케로신 충전설비

케로신 충전설비는 저장탱크에 보관중인 케로신을 발사체 내부의 연료탱크로 충전하기 위한 라인으로 베인펌프(vane pump)가 설치되어 일정유량이 토출된다. 1, 2, 3단으로 공급되는 유량은 공급라인의 차압 조정(배관 직경 및 유량조절 오리피스) 및 바이패스라인으로 회수되는 유량의 조절을 통해 조절한다. 이들의 유량 및 사이즈는 충전시나리오에 따른 유동해석을 통해 설계되었고 압력손실 및 압력수두 등을 해석한 결과 토출 용량 1600 L/min의 100 m 양정의 베인펌프로 결정되었다. 케로신 연로딩설비에서와 마찬가지로 순도 높은 케로신을 공급하기 위해 펌프 후단에 20 μ m 입자크기의 필터가 설치되어 연료탱크로 충전되기에 앞서 마지막으로 여과과정을 거친다. 충전 라인에 설치된 각종 계장기기들로부터 신호를 받아 펌프의 작동 및 밸브의 개폐에 따른 케로신 유동라인 등을 제어하게 된다.

2.1.4 케로신 배출설비

케로신 배출설비는 각종 케로신 충전 및 배출라인에 잔류하는 케로신과 이물질들을 드레인 탱크로 배출시키거나 발사체 연료탱크에 과도한 충전 시, 수위를 맞추기 위해 부분 배출을 시키는 설비를 말한다. 주요 구성품으로는 드레인 탱크가 있으며 최대 배출량을 고려하여 3 m³ 용량의 탱크로 설계하였다. 저장설비의 저장탱크와

마찬가지로 각종 계장기기와 안전밸브 등이 동일한 목적으로 장착된다.

2.2 연료공급설비의 운용

연료공급설비는 무엇보다도 안전을 기본으로 운용되어야 한다. 케로신은 인화점과 자연발화점이 각각 29~74℃와 약 245℃로 매우 낮기 때문에 케로신 작업 및 화재안전 수칙에 따라야 한다[3, 4]. 이뿐만 아니라 운용 중에 액체질소와 같은 초저온액체와 고압가스류가 사용되므로 그에 맞는 절차와 안전수칙에 따라 작업이 이루어져야 한다.

연료공급설비를 원격 운용 및 데이터 측정/기록을 위해 발사관제설비와 인터페이스를 가진다. 나로호 당시 각 설비를 현장에서 직접 운전하기 위하여 구축된 중앙공용시설(CB)의 현장 운용실은 개조 및 보완 구축을 통해 재사용될 예정이며, 발사 4시간 전 모든 현장 인원철수 후 원격 발사운용을 위한 콘솔과 서버, 인접시스템 인터페이스 장비 및 통신설비 등이 발사관제소(LCC)에 신규설치/운영될 예정이다. 연료공급설비는 이러한 발사관제설비를 통해 주요운전과 부가운전으로 구분하여 운용된다.

2.2.1 주요운전

연료공급설비의 주요운전은 발사체와 연계하여 발사체에 케로신을 충전하는 일련의 작업으로, 케로신을 공급하기 위한 준비과정부터 실제 충전 및 충전 과정 중에 야기 될 수 있는 문제에 대한 대비작업과 충전배관 내에 잔류하는 케로신을 제거하여 발사 환경요구조건을 맞추는 작업을 말한다. 주요운전 순서도는 Fig. 5에 잘 나타나있다. 첫 번째 순서로는 충전을 위한 초기상태 점검이 필요하다. 요구되는 공압 상태와 각종 밸브 및 기기들의 상태를 확인하며 구동펌프를 선정하는 작업을 말한다. 다음으로는 혹시 있을지 모르는 이물질과 잔류 케로신을 배출하기 위한 연료충전/배출라인(FDL-F)의 사전퍼지 작업이 이루어진다. 사전퍼지 작업이 종료된 후, 발사체 연료탱크로 케로신 충전이 이루어지는데 용존가스 제거, 펌프흡입라인에 케로신 선공급,

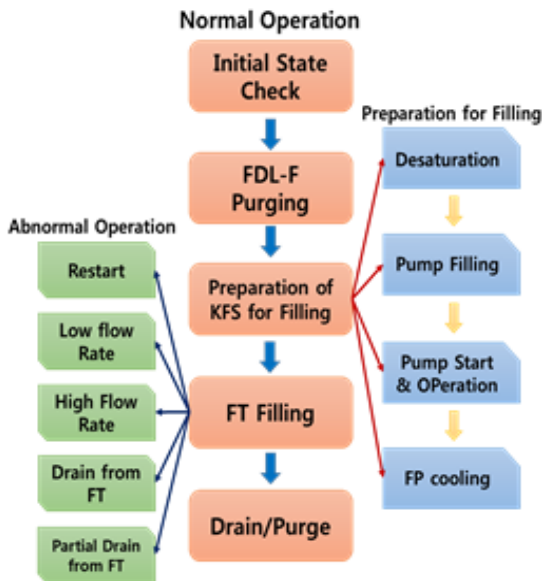


Fig. 5 Sequence block diagram of main operation.

그리고 펌프작동이라고 하는 충전준비작업과정을 거친다. 용존 가스 제거는 저장탱크에 연결된 배기라인을 열어 저장탱크 내 저장된 케로신에 일정압력의 질소가스를 일정시간 동안 공급하여 이루어진다. 또한 펌프 흡입라인에 케로신이 채워졌다는 신호를 유량스위치를 통해 받으면 펌프운전이 시작된다. 펌프 흡입라인의 유량스위치가 꺼져있을 경우 펌프운전 시작 전 펌프전단에 케로신을 흘려보내는 작업이 추가로 필요하다. 앞에서 설명하였듯이 케로신은 배인펌프를 이용하여 공급되는데, 펌프 두 기가 병렬로 연결되어 있고, 실제로 케로신 이송작업을 진행하는 펌프는 한 기뿐이다. 발사체 자체의 결함에 의한 발사중지 상황을 제외하고 무조건 발사운용이 이루어져야하기 때문에 이중화개념으로 나머지 한대는 전원을 켜놓고 문제 발생 시 언제든지 작업을 대신할 수 있도록 비상대기를 한다. 따라서 펌프 작동이 중지되었을 때 빠르게 다른 펌프로 전환되는 알고리즘을 가지고 있다. 다음 순서로는 발사체 연료 충전/배출라인(FDL-F)에 사전에 냉각된 케로신을 일정시간 동안 공급함으로써, 케로신과 라인간의 온도 차를 줄여 케로신 충전 작업 중 발생하는 온도상승을 최소화하기 위한

작업이 진행된다. 지금까지의 모든 충전 준비 작업을 마치고 본격적으로 연료탱크로 케로신 충전이 이루어진다. 충전 알고리즘으로 시작하여 아무런 조건과 문제없이 충전절차에 따라 충전이 완료되는 것이 가장 바람직하나 모든 가능성을 열어놓고 비상시의 대체알고리즘 역시 가지고 있어야 한다. 만약 충전작업의 시작과정에서 실패하면 조건을 재정비하여 재시작모드를 수행하여 모든 충전공정을 순서대로 진행하여 충전을 마치게 된다. 하지만 소유량 충전 중 예기치 못한 문제발생으로 중단된 경우 원인 파악 및 해결 후에 다시 소유량 충전모드로 시작하여 알고리즘에 따라 충전공정이 완료된다. 마찬가지로 대유량 충전 중 문제가 발생할 시에는 대유량 충전모드로 재충전이 이루어진다. 케로신 충전이 완료되면 발사체 충전/배출라인에 잔류하는 케로신을 배출시키고 질소로 퍼지하여 발사환경에 악영향을 끼치지 않도록 하는 작업이 수행된다. 발사체 연료탱크의 케로신 부분배출과 케로신 완전배출 및 충전/배출라인 퍼지 작업 역시 주요운전에 속한다. 충전작업 중 발사체 연료탱크에 케로신이 초과충전 된 경우, 모든 펌프의 작동이 중단됨과 동시에 밸브는 초기상태로 돌아가고 충전작업이 일체 중단된다. 발사체 내의 부분배출 신호를 받아 연료탱크에서 드레인 탱크로 흐르는 배관의 밸브가 열리게 되고 연료탱크 내의 케로신이 자중과 압력수두에 의해 드레인 탱크로 배출되며 케로신이 연료탱크의 정상수위에 도달하면 다시 발사체 내의 종료신호를 받아 부분배출을 마치게 된다. 발사 취소 시에는 연료탱크 내의 모든 케로신을 배출하여야 하는데 부분배출과는 달리 필터를 거쳐 저장탱크로 완전히 배출되며 배관 내 청결도를 유지할 수 있도록 퍼지작업을 수행한다.

충전 후 후속 공정으로 저장/입출라인 배출작업과 드레인 탱크에서 저장탱크로 케로신 이송작업이 수행된다. 케로신 이송작업은 드레인 탱크 내의 잔류하는 케로신량이 많을 경우 질소가스로 가압하여 저장탱크로 이송시키는 작업이다. 지금까지 설명한 일련의 과정들은 발사 당일 운용 중에 이루어지는 주요운전 작업에 속한다.

2.2.2 부가운전

주요운전을 제외한 모든 케로신 관련 작업이 부가운전에 속한다. 저장탱크에 케로신을 저장하고 높은 품질조건을 만족할 수 있도록 맞추는 작업, 발사체에 충전하기 위한 사전준비작업, 발사후의 잔류 케로신을 제거하는 작업 등이 포함된다.

사전준비 작업으로 탱크로리의 자체펌프를 이용하여 저장탱크로 케로신을 이송 및 저장하게 된다.

저장된 케로신은 높은 품질 및 발사체 요구조건을 맞추기 위해 케로신 내의 수분제거, 냉각 그리고 용존가스 제거작업을 수행하게 된다. 수분 제거작업은 케로신 내에 질소가스를 공급하고 저장탱크 내압이 일정압력 이하로 제어하며 이 과정을 수회 반복하여 용존수분 함량을 일정 수준 이하(나로호 기준)로 유지시켜야 한다. 또한 케로신 내에 액체질소를 주입하여 냉각을 시킨다. 한국형발사체에서 요구하는 케로신 온도조건은 $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이다. 수분제거, 냉각, 용존가스제거 3단계 과정을 거치면서 시료채취 후 수분함량 및 질소함량 등의 분석 및 품질검사과정을 거치기 때문에 사전작업만 수일이 소요된다. 따라서 저장탱크의 열손실을 최소화하기 위해 단열처리가 필요하며 $0.021 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 의 열전도도를 갖는 90 mm 두께의 폴리우레탄을 이용하여 단열된다. 또한 수차례의 반복시험을 통해 온도증가율(나로호 기준 약 $1^{\circ}\text{C}/\text{day}$)을 측정하고 냉각 후 발사까지의 시간을 고려하여 목표냉각온도가 결정

된다. 용존가스 제거작업은 주요운전에서 수행한 것과 동일한 작업이 진행된다.

발사 후 혹은 품질검사 후 저장탱크의 케로신을 펌프를 작동하여 폐유수집 탱크로 반송하는 작업과 발사체 대용탱크에 연료를 가충전하는 작업 그리고 각종 라인의 케로신 배출 및 퍼지 작업 또한 부가운전에 포함된다.

2.3 케로신 충전운용

기본적으로 충전모드는 나로호의 충전개념을 따라 소유량 충전과 대유량 충전 두 가지 모드만이 존재하며, 소유량/대유량/소유량 충전 순서로 충전작업이 이루어진다. 초기 소유량 충전은 연료를 이용하여 연료탱크를 선냉각하기 위함이며 3~5분의 짧은 시간동안 충전이 이루어지며, 대유량 충전(주충전)을 통해 총 충전량의 95~98%가량이 채워지게 된다. 마지막으로 연료탱크의 목표수위(총충전량)를 세밀하게 맞추기 위해 다시 소유량 충전이 이루어진다.

지상의 추진제공급설비와 발사체는 엄빌리칼을 통해 연결되며, 발사운용 시나리오와 엔진연소에 필요한 추진제 조건 등을 고려하여 엄빌리칼을 통해 공급되어야하는 추진제 요구조건이 주어진다. 케로신도 마찬가지로 공급시간, 공급유량, 공급압력 그리고 공급온도가 주어진다[5]. 공급온도는 앞에서 설명한바와 같이 발사운용의 사전작업으로 온도증가율을 고려한 케로신 냉각을 통해 맞춰진다. 나머지 조건들은 공급라인의 유동해석을 통해 공급조건에 맞게 충전시나리오

Table 1. Requirements of kerosene at umbilical plate[5].

	Pressure (MPa)	Flow Rate (L/min)	Temperature (K)	Filling Time (min)
1 st stage	0.3~0.4	high flow filling: 700~800 low flow filling: 60~140	278±2	≤70
2 nd stage	0.2~0.3	high flow filling: 200~330 low flow filling: 60~140		
3 rd stage	0.2~0.3	high flow filling: 60~90 low flow filling: 30~70		

와 라인구성 및 규격이 정해지게 된다[6].

발사대시스템의 추진제분야에서 한국형발사체와 나로호의 가장 큰 차이점은 1, 2, 3단 동시충전이 이루어진다는 것이다. 나로호는 1단에만 추진제공급이 필요하였지만 한국형발사체는 3단형으로 한 기의 펌프를 이용하여 1, 2, 3단 동시충전이 이루어져야하기 때문에 서로 복잡하게 연관되어 있다.

발사체 내부에서 요구하는 공급조건은 Table 1과 같다. 추진제공급설비와 발사체의 인터페이스면인 엄빌리칼 플레이트에서 공급해주어야 하는 조건을 의미한다. 한국형발사체 발사대시스템의 연료공급설비로 사용될 예정인 케로신 이송 펌프는 베인펌프로 토출유량이 1600 L/min로 일정하다. 각단별로 유량조건범위에서 최대유량으로 공급이 되더라도 일정유량이 남게 된다. 따라서 펌프 토출유량 중 일부를 바이패스라인을 통해 다시 저장탱크로 보내도록 설계되었다. 대유량 충전모드 일 때에 한 개의 라인을 통하여 바이패스 되며, 소유량 충전모드일 때에는 두 개의 라인을 통하여 바이패스 된다. 이때의 바이패스유량은 오리피스 사이즈를 이용하여 조절된다. 뿐만 아니라 연료공급설비 중단의 공급라인을 대유량 라인과 소유량 라인으로 분리하여 오리피스 사이즈를 통해 각 단별로 소유량 충전일 때와 대유량 충전일 때의 발사체 내부로 들어가는 초기유량을 결정한다. 하지만 연료탱크의 케로신 수위가 높아지면 충전 수위만큼의 압력수두가 발생하기 때문에 초기유량보다 유량이 작아지게 된다. 그리고 각 단별로 상이한 압력수두가 발생하므로 각 단별 유량 감소율 역시 상이하게 된다. 이뿐만 아니라 충전 중 목표수위에 도달한 단은 충전모드 전환이 이루어지거나 충전이 종료되기 때문에, 단별로 충전도중 급격한 유량 변화도 발생할 수 있음도 고려해야한다.

이번 상세설계 중에는 유동해석을 통해 발사체 요구조건에 맞는 라인구성 및 오리피스 사이즈를 결정하고 충전시간과 충전유량 등을 예상하였다. 또한 발사체 내부의 배관 및 구성품들의 압력강하와 압력수두 그리고 지상의 공급라인을 통한 압력강하를 고려하여 설치 예정인 펌프의

사양으로 충분한지 가능성을 검토하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 한국형발사체 발사대시스템의 연료공급설비 구성 및 기능과 발사운용 등에 대하여 소개하였다. 제2발사대시스템의 연료공급설비는 3단형 한국형발사체의 연료탱크에 요구조건에 맞춰 안정적으로 케로신을 공급하기 위한 지상시스템을 말한다. 이번 상세설계단계에서는 설비의 기능에 따른 세부적인 공급라인을 구성하였고 상세 규격을 결정하였다. 또한 소유량/대유량/소유량 충전이라고 하는 충전개념을 정하고, 유동해석을 통해 공급요구조건에 맞춰 충전 시나리오 및 오리피스 사이즈 등을 결정하였다. 마지막으로 발사운용 및 사전작업에 대한 계획 및 알고리즘을 정립하였다.

후속 과정에서는 각 구성품에 대한 제작도면을 설계하고, 이에 따른 실제제작이 이루어진다. 제작완료 된 구성품은 공장인수시험(FAT)을 거쳐 독립성능시험(AT)과 발사체 연계시험(QT)를 거쳐 최종적으로 비행시험(FT)이 진행될 예정이다.

References

1. Kang, S.I., Oh, H.Y., 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 Engine*, Vol. 19, No. 1, pp. 19-27, 2015.
2. Kang, S.I., Nam, J.W., "Introduction of Fuel Ground Support Equipment of Launch Complex for KSLV-1 NARO Launch Operations," *KASA Fall Conference*, Jeju, Korea, pp. 1427-1431, Nov. 2013.
3. Shepherd, J.E., Nuyt, C.D and Lee, J.J., "Flash Poin and Chemical Composition of

- Aviation Kerosene (Jet A),” Explosion Dynamics Laboratory Report, FM99-4, May 2000.
4. Shin, B.W., Lee, J.S., Lee, K.W., Ko, J.H., “Combustion Characteristics of the Liquid Fuel for KSLV-II,” *Spring Conferecne of the Korean Society of Safety*, Yeosu, Korea, pp. 59, May 2014.
 5. Youngseok Jung, “Composition of Hydraulic and Pneumatic line at Umbilical of KSLV-II,” KARI L2-CD-00033, 2016.
 6. Jaejun Lee, Sangmin Park, Sunil Kang, Hwayoung Oh, Eun Sang Jung, “Analysis on the Filling Mode of Propellant Supply System for the Korea Space Launch Vehicle,” *KSPE Fall Conference*, Jeongsun, Korea, pp. 485-491, Aug. 2015.