

## 한국형 발사체 추진제 공급시스템 충전모드 해석

이재준<sup>a</sup> · 박상민<sup>a</sup> · 강선일<sup>b</sup> · 오화영<sup>b</sup> · 정은상<sup>c,\*</sup>

## Analysis on the Filling Mode of Propellant Supply System for the Korea Space Launch Vehicle

Jaejun Lee<sup>a</sup> · Sangmin Park<sup>a</sup> · Sunil Kang<sup>b</sup> · Hwayoung Oh<sup>b</sup> · Eun Sang Jung<sup>c,\*</sup>

<sup>a</sup>Advanced Technology Institute, Hyundai Heavy Industries Co, Korea

<sup>b</sup>Launch Complex Team, Korea Aerospace Research Institute, Korea

<sup>c</sup>Department of Bioenvironmental Energy, Pusan National University, Korea

\*Corresponding author. E-mail: [esjung@pusan.ac.kr](mailto:esjung@pusan.ac.kr)

### ABSTRACT

Korean Space Launch Vehicle (KSLV-II) Propellant Supply System charges liquid oxygen and kerosene to each propellant tank for the stages. To charge the launch vehicle propellant tank safely, the propellant charge flow rates and scenarios should be defined. First, the Propellant Supply System was modeled with 1D flow analysis program. The control valve capacity and orifice size were calculated by performing the 1D steady state simulation. Second, the 1D transient simulation was performed by using the steady state simulation results. As propellants were being charged at the each tank, the increased tank liquid level decreases the charge flow rate. Consequently, the proposed supply system satisfies the required design charging conditions.

### 초 록

한국형 발사체(KSLV-II) 추진제 공급시스템은 각 단계에 위치한 추진제 탱크에 산화제와 케로신을 공급해주는 시스템이다. 발사체의 추진제 탱크를 안정적으로 충전하기 위해, 충전시나리오와 충전유량을 결정하였다. 다음으로 1D 유동 해석프로그램을 이용하여 추진제 공급시스템을 모델링 하였다. 1D steady state 해석을 통하여 각 시스템에서의 충전모드에 따른 밸브용량과 orifice 사이즈를 계산하였다. Steady state 결과를 이용하여 1D transient 해석을 수행하였다. 해석 결과 추진제가 각 추진제 탱크로 충전됨에 따라 탱크의 수두가 상승하여 충전유량이 감소하는 것으로 나타났다. 최종적으로 해석을 통해 제안된 충전시스템 모델이 요구되는 충전설계조건을 만족하는 것을 확인하였다.

Key Words: KSLV-II(한국형 발사체), LOX(액체산소, 산화제), Kerosene(케로신), LOX Filling System (산화제 공급시스템), Kerosene Filling System(케로신 공급시스템)

Received 16 December 2015 / Revised 4 July 2016 / Accepted 9 July 2016

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2015년도 추계학술대회(2015. 11. 25-27, 경주 현대호텔) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

### 1. 서 론

한국항공우주연구원 이 주관하는 우주발사체

개발사업의 일환으로 2013년 1월 나로호(KSLV-I)가 성공적으로 발사되었다. 이는 100 kg 급 위성을 지구 저궤도(고도 300~1500 km)에 진입시키기 위해 설계되었다. 나로호는 총 2단 엔진으로 구성되었으며, 1단은 170톤의 액체엔진, 2단은 7톤의 고체엔진을 사용한다[1]. 이후 성공적인 나로호 발사경험을 바탕으로 하여 한국형 발사체 개발 사업이 활발하게 진행되고 있다. 한국형 발사체(KSLV-II)는 1.5 톤급 실용위성을 지구 저궤도(600~800 km)에 진입시키기 위한 300 톤급 3단형 발사체이다[2]. 한국형 발사체는 3단 엔진 모두 액체엔진으로 구성되어 있으며, 산화제(액체산소, Liquid Oxygen, LOX)와 케로신(Kerosene)을 추진제로 사용한다[3,4]. 따라서 1단 충전용으로 설계되었던 나로호(KSLV-I)용 추진제 공급시스템과는 다르게 3단형 추진제 공급시스템의 설계가 필수적이다. 발사체에 케로신, 산화제 및 압축공기를 충전운용조건에 맞추어 공급 및 회수하는 설비를 추진제 공급설비(Propellant Ground Support Equipment, PGSE)라 한다[5,6].

Fig. 1은 산화제 공급시스템의 개략도이다. 산화제 공급시스템은 발사체에 필요한 산화제를

저장 및 공급하는 설비이며 또한 발사 취소 시 발사체로부터 안전하게 산화제를 안전하게 배출하는 역할을 수행한다. 산화제 공급 시스템은 중앙공용시설에 위치하는 저장탱크를 비롯하여 극저온 밸브 및 이송펌프 등으로 구성된다. 산화제 공급시스템은 각 운용 모드별로 각기 다른 기능과 성능으로 운용되는데, 이에 따른 공급 운용모드는 다음과 같다.

- 발사체로의 산화제 공급
- 발사체로부터의 산화제 회수
- 산화제 품질관리를 위한 시료 채취

특히 발사체로의 산화제 공급 운용모드는 산화제 공급시스템에서의 가장 주된 역할이다. 먼저 초기 상온상태에 있는 발사체 탱크와 산화제 공급라인에 갑작스럽게 극저온의 액체산화제가 주입되면 열 충격으로 인한 파손이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 열 충격 현상을 방지하기 위해 발사체 탱크와 산화제 공급라인을 미리 냉각시켜주는 운용절차를 필수적으로 수행하여야 한다. 공급라인 냉각 이후 본격적인 발사체 탱크로의 산화제 공급운용 모드가 시작된다. 이때 산

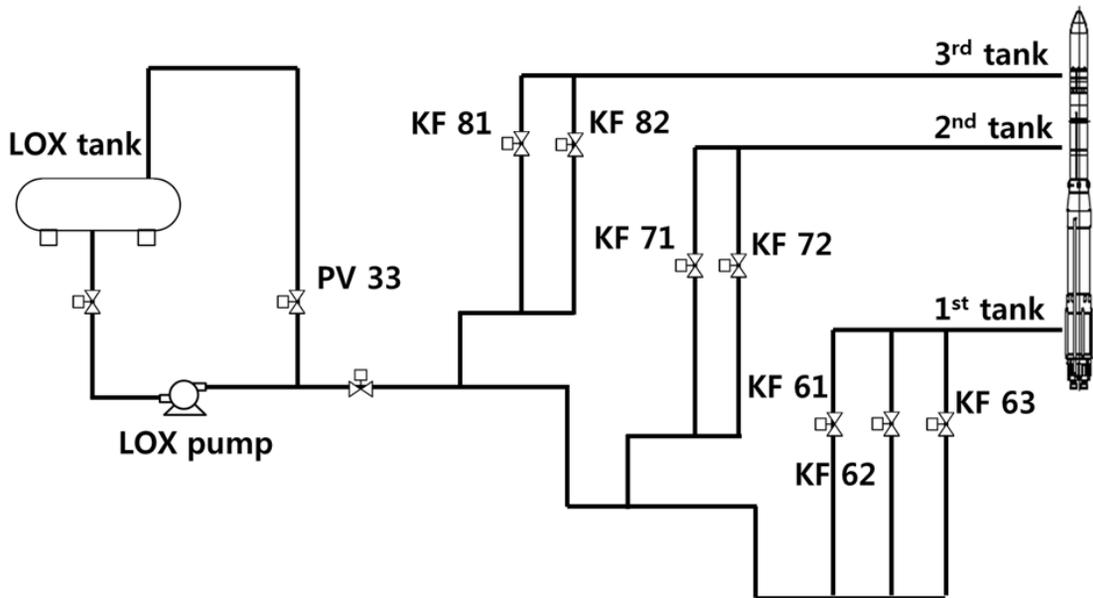


Fig. 1 Schematic diagram of liquid oxygen filling system.

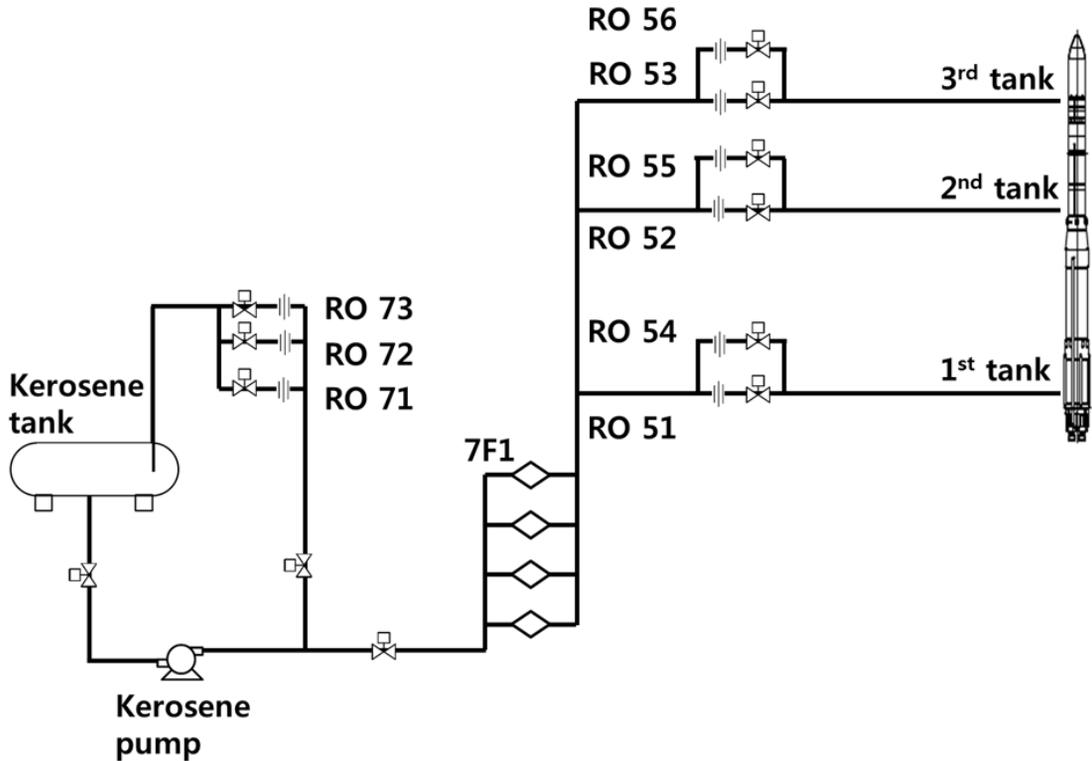


Fig. 2 Schematic diagram of kerosene filling system.

산화제 탱크로의 충전모드는 대유량 충전, 소유량 충전, 보충 대유량 충전, 보충 소유량 충전으로 나뉜다. 보충 충전모드는 탱크 내의 극저온 유체가 탱크 벽면 및 고온의 가압가스로부터 에너지를 흡수하여 기화되는 양을 보충하기 위해 수행된다[7]. 각 충전모드는 극저온 밸브의 개도를 조절함으로써 변경된다. 이후 발사체 탱크가 완전히 충전 되었을 때 공급운용 모드가 종료된다.

다음으로 Fig. 2는 케로신 공급시스템의 개략도를 나타낸다. 산화제 공급시스템과는 다르게 케로신 공급시스템의 경우, 공급되는 유체의 온도가 극저온 상태가 아니기 때문에 충전 전 별도의 냉각 운용절차가 요구되지 않는다. 또한 케로신의 경우 산화제에 비해 비교적 온도에 덜 민감하여 boil-off 현상이 적다. 따라서 케로신 공급시스템은 산화제 공급시스템에 비해 비교적 간단한 시스템 운용모드를 가지고 있다. 산화제

공급시스템의 경우 총 4가지 충전모드가 존재하지만, 케로신 공급시스템의 충전모드는 대유량 충전, 소유량 충전 두 가지의 충전모드만 존재한다. 또한 케로신 공급시스템은 산화제 공급시스템과는 다르게 orifice를 이용하여 유량을 조절하고, orifice를 각 충전 모드에 따라 선택 및 변경하면서 충전모드를 변경한다.

본 연구에서는 3단형 한국형 발사체의 안정적인 충전모드 구현을 위한 산화제와 케로신 공급시스템에서의 충전 시나리오를 선정하고, 그에 따른 충전유량을 선정하였다. 선정된 충전유량을 만족하는 충전시스템을 구성하기 위해 상용 1D 유동 해석 프로그램인 Flowmaster를 이용하였다. Flowmaster 프로그램은 steady state 해석과 transient 해석, 크게 두 가지 모드에 대한 해석을 지원하고 있다. 분석하고자 하는 시스템의 특성에 대한 지배방정식을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{dB_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{cv} \beta \rho dV + (\beta \rho A V_s)_{outlet} - (\beta \rho A V_s)_{inlet} \quad (1)$$

where:

B = Extensive property (momentum, energy)

β = Corresponding intensive property

Steady state 해석은 Eq. 1의 식에서 무한한 시간이 흘러, 시간에 따라 변하지 않는 특성을 계산하는 방식이다. Transient 해석은 시간에 따른 특성 변화를 각 단위 해석 시간에 따라 확인하는 방식을 의미한다. 따라서 극저온 유량조절 밸브의 용량과 orifice의 크기를 steady state 해석을 통해 결정하였다. 이후 steady state 해석 결과를 바탕으로 transient 해석을 수행한다. 이를 통해 전체 충전 기간 동안 각 충전 라인을 통해 공급되는 충전 유량과 탱크 충전량을 계산하여, 제안된 충전시스템의 설계운용조건 만족 여부를 확인하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 산화제 공급시스템

#### 2.1.1 산화제 공급시스템 충전유량 선정

산화제 저장탱크에 저장되어있는 액체산소는 산화제 펌프를 이용하여 각 단의 발사체탱크로 충전된다. 한국형 발사체의 각 단에 위치하는 산화제 탱크의 용량과 설치예정높이는 Table 1과 같다. 이는 한국형 발사체의 설계 사양에 의한 것이며, 1단 탱크를 기준으로 한 탱크 체적용량과 설치높이를 나타냈다.

먼저 산화제 완충시간조건(약 90분)을 만족시키는 각 충전모드에서의 충전유량을 선정하였다. 발사체 탱크로의 산화제 충전은 대부분 소유량 충전과 대유량 충전모드를 통해 이루어진다.

발사체 탱크의 산화제 충전은 먼저 소유량 충전으로 탱크의 30%까지 충전 후, 대유량 충전모드로 탱크의 95%까지 충전한다. 마지막으로 소유량 충전모드로 나머지 5%를 충전하여 산화제 탱크 충전을 마무리한다. 각 발사체탱크의 충전이 동시에 완료된다고 가정하였을 때, 각 단에

Table 1. LOX tank specifications.

Tank	Volume [%]	Height [m]
1st Stage	100 (Ref.)	0 (Ref.)
2nd Stage	29	21.3
3rd Stage	6.6	32.8

Table 2. Flow rate calculation result with LOX filling scenarios.

Mode	Small flow filling	Large flow filling
	Flowrate [l/min]	
1st	618.1	1450
2nd	180	422.3
3rd	40.8	95.8

서의 충전모드에 따른 공급유량은 Table 2와 같이 계산된다.

#### 2.1.2 산화제 공급시스템 충전모드 해석

Fig. 3은 산화제 공급 장치의 1D Flowmaster 유동해석모델을 나타낸다. 1D 유동 해석모델은 시스템 P&ID 및 배관 ISO를 바탕으로 제작되었으며 해석에 적용된 경계조건은 Table 3과 같다. 한국형발사체 산화제공급시스템은 총 3개의 충전라인으로 구성된다. 1단 탱크 충전라인의 경우 3개의 유량조절밸브를 이용하여 유량을 제어한

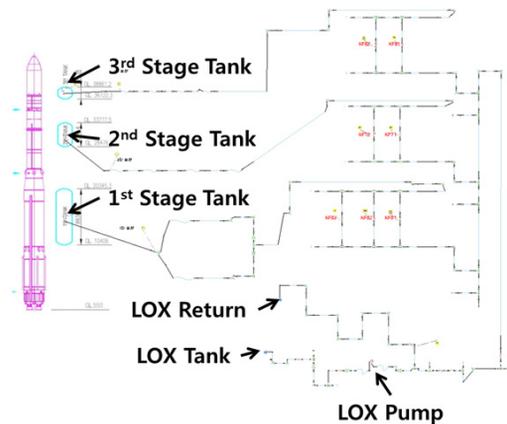


Fig. 3 1D analysis model of LOX filling system.

다(KF 61, 62, 63). 2단 탱크와 3단 탱크 충전라인의 경우 2개의 유량조절밸브를 이용하여 유량을 제어하게 된다(KF 71, 72, 81, 82). 마지막으로 발사체로 공급되고 남은 산화제를 다시 산화제 저장탱크로 회수시켜주는 회수라인이 존재한다(PV 33). 계산된 충전유량조건을 만족하는 밸브용량을 결정하기 위해 1D 유동 해석을 수행하였다.

Table 3. Input conditions of LOX filling system.

LOX	Reference Temp.	-183 °C
	Reference Density	1141 kg/m <sup>3</sup>
	Vapor Pressure	0.0206 bar
	Dynamic Viscosity	0.00016 Ns/m <sup>2</sup>
LOX pump	Rated Head	81 m
	Rated Speed	3500 rpm
	Rated Flow Rate	140.0 m <sup>3</sup> /h

1D 유동 해석모델과 이에 따른 경계조건들을 이용하여 각 충전라인에서의 유량조절밸브용량을 선정하였다. 밸브의 용량은 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다[8].

$$K_v = \frac{Q\sqrt{G}}{\sqrt{\Delta p}} \quad (2)$$

where:

Q = Flow Rate of the working fluid (m<sup>3</sup>/h)

G = Specific gravity of the working fluid relative to water at 16 °C

Δp = Pressure drop (bar)

Steady state 해석을 통해 각 충전모드에 따른 유량조절밸브용량을 Table 4에 나타내었다. 계산된 유량조절밸브의 용량 값과 충전 모드, 충전 시간을 적용하여 산화제 탱크 충전 과정을 transient 해석을 통해 분석하였다. Fig. 4는 산화제 충전모드 수행 시 1단으로 공급되는 산화제 유량과 1단 산화제 탱크의 수위[%]를 나타낸다. 또한 Fig. 5와 6은 각각 2단과 3단 산화제 탱크로 공급되는 산화제 유량과 각 산화제 탱크의 수위[%]를 나타낸다.

Transient 해석 결과 1단 산화제 탱크의 충전

Table 4. K<sub>v</sub> Values for the flow control valves in LOX filling system.

		KF 61	KF 62	KF 63	KF 71	KF 72	KF 81	KF 82	PV 33	Total
Small Flow Filling	Flow Rate [l/min]	618.1	0.0	0.0	180.0	0.0	40.8	0.0	1507.2	2346.1
	Pressure Drop [bar]	4.1	8.2	8.2	6.3	6.7	5.3	5.5	6.3	
	K <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	19.6	0.0	0.0	4.6	0.0	1.1	0.0	38.5	
Large Flow Filling	Flow Rate [l/min]	618.1	416.0	416.0	180.0	242.3	40.8	55.0	376.3	2344.4
	Pressure Drop [bar]	3.4	7.1	7.1	5.4	5.7	5.2	5.3	6.6	
	K <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	21.6	10.0	10.0	5.0	6.5	1.1	1.5	9.4	

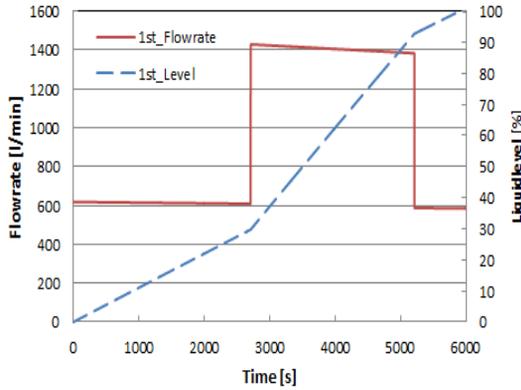


Fig. 4 Volumetric flowrate and liquid level profile for 1st stage LOX storage tank.

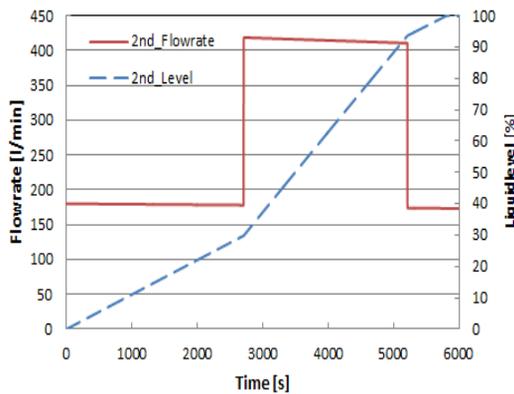


Fig. 5 Volumetric flowrate and liquid level profile for 2nd stage LOX storage tank.

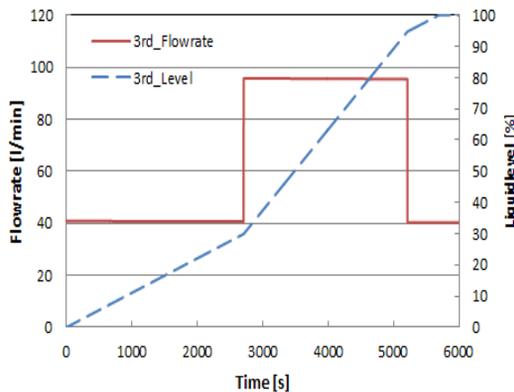


Fig. 6 Volumetric flowrate and liquid level profile for 3rd stage LOX storage tank.

완료 시간은 약 98분으로 산화제 완충시간 조건 (90분) 대비 9% 정도 초과된 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 설계오차 10% 이내 허용범위 내의 값이다. 또한 2단과 3단 산화제 탱크는 각각 97분, 95분에 충전이 완료된다. 따라서 각 산화제 탱크의 완충시간 차이가 5분 이내의 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 충전이 진행됨에 따라 1단 대유량 충전모드의 경우 초기 1450 LPM에서 1383 LPM까지 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 2단 대유량 충전모드의 경우 초기 422 LPM에서 410 LPM까지 충전 유량이 감소하였다. 3단 대유량 충전모드의 경우에는 충전유량의 변화량이 95.8 LPM에서 95.4 LPM으로 미약하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 충전이 진행됨에 따라 충전탱크의 수두 값이 상승하기 때문이며, 가장 높은 수두를 가진 1단 탱크로의 충전유량이 가장 크게 감소하는 것을 확인하였다.

## 2.2 케로신 공급시스템

### 2.2.1 케로신 공급시스템 충전유량 선정

산화제 공급 시스템과 같이 케로신 공급시스템 또한 케로신 탱크용량과 완충시간조건(70분)을 이용하여 공급유량을 결정하게 된다. Table 5는 케로신 탱크의 용량과 설치높이를 나타낸다. 케로신 탱크는 산화제 탱크의 바로 아래에 위치하기 때문에 산화제 탱크와 비슷한 설치높이를 가진다. 산화제 공급시스템과 다르게 케로신 공급시스템은 초기 소유량 충전으로 5분간 충전하고 대유량 충전으로 95%까지 충전 후 나머지 5%를 소유량 충전모드로 충전한다. 이러한 조건들을 고려한 케로신 공급시스템의 공급유량조건은 Table 6과 같다.

### 2.2.2 케로신 공급시스템 충전모드 해석

Fig. 7은 케로신 공급 장치의 1D flowmaster 유동해석모델을 나타낸다. 케로신 공급 시스템의 해석 모델 또한 시스템 P&ID 및 배관 ISO를 바탕으로 제작되었으며, 해석에 적용된 경계조건은 Table 7과 같다. 케로신 공급시스템의 경우 1단, 2단, 3단 충전 시 각각 2개의 orifice를 이용하여

Table 5. Kerosene tank specifications.

Tank	Volume [%]	Height [m]
1st Stage	100 (Ref.)	0 (Ref.)
2nd Stage	29	21.3
3rd Stage	7.8	32.8

Table 6. Flow rate calculation result with kerosene filling scenarios.

Mode	Small flow filling	Large flow filling
	Flowrate [l/min]	
1st	482.06	1068.08
2nd	140	310.19
3rd	37.86	83.88

Table 7. Input conditions of the kerosene filling system.

Kerosene	Reference Temp.	20℃
	Reference Density	797 kg/m <sup>3</sup>
	Vapor Pressure	0.02092 bar
	Dynamic Viscosity	0.0017 Ns/m <sup>2</sup>
Kerosene pump	Rated Flow Rate	1600 LPM

유량을 조절 한다(RO 51, 52, 53, 54, 55, 56). 또한 일정유량을 공급해주는 vane 펌프를 사용하여 케로신을 발사체로 공급하며, 남은 케로신은 다시 케로신 저장탱크로 회수된다(RO 71, 72, 73). 계산된 충전유량 조건을 만족하는 orifice 사이즈를 결정하기 위해 1D steady state 유동해석을 수행하였다.

Flowmaster에서 orifice의 사이즈를 결정하는 식은 Eq. 3과 같으며, 이때 K 값을 이용하여 orifice의 사이즈를 계산한다[8].

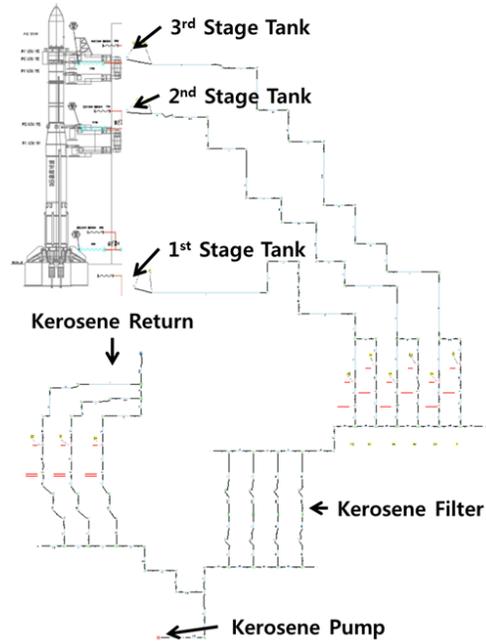


Fig. 7 1D analysis model of kerosene filling system.

$$P_1 - P_2 = \frac{K}{2\rho A^2} \dot{m}_2 |\dot{m}_2| \quad (3)$$

where:

$P_1$  = Pressure at inlet to orifice

$P_2$  = Pressure at outlet to orifice

$K$  = Loss coefficient

$\dot{m}_2$  = Mass flow rate at orifice outlet

$\rho$  = Flow density

$A$  = Pipe cross-sectional area

1D steady state 해석을 통해 얻어진 결과를 Table 8에 나타냈다. 이때, Orifice의 내부 hole 직경은 orifice가 설치된 배관의 내부 면적과 orifice hole의 면적 비로 표현되었다.

$$Open\ area\ ratio = \left[ \frac{D_o}{D_p} \right]^2 \quad (4)$$

where:

$D_o$  = Orifice Hole Diameter [m]

$D_p$  = Pipe Inner Diameter [m]

Table 8. Open area ratio for the orifices in kerosene filling system.

		1st Stage		2nd Stage		3rd Stage		Return			Total
		RO51	RO54	RO52	RO55	RO53	RO56	RO71	RO72	RO73	
Small Flow Filling	Flow Rate [l/min]	-	482.0	-	140	-	37.8	470.0	470.0	-	1600
	Pressure Drop [bar]	-	6.0	-	4.5	-	3.4	6.3	6.3	-	
	Open area ratio [%]	-	12.8	-	4.6	-	3.2	5.7	5.7	-	
Large Flow Filling	FlowRate [l/min]	1068	-	310.1	-	83.9	-	-	-	137.9	1600
	Pressure Drop [bar]	5.9	-	4.1	-	3.1	-	-	-	6.2	
	Open area ratio [%]	7.7	-	7.0	-	5.5	-	-	-	1.7	

Steady state 해석을 통해 계산된 orifice 내부 hole 직경을 이용하여 transient 해석을 수행하였다. Transient 해석을 통해 얻어진 각 충전모드별 충전유량과 케로신 탱크 수위[%] 변화특성을 1단, 2단, 3단 순서로 각각 Fig. 8, 9, 10에 나타냈다. 케로신 충전모드가 소유량 충전모드에서 대유량 충전모드로 전환된 후, 충전이 진행됨에 따라 1단 대유량 충전모드의 유량이 점차적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다(1067 → 1057 LPM). 반대로 2단 대유량 충전모드의 유량은 점차적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다(310 → 313 LPM). 3단 대유량 충전모드의 유량 또한 점차적으로 증가하는 것을 확인하였다(84 → 87 LPM). 이는 1단 케로신 탱크의 수두 값이 다른 탱크에 비해 큰 폭으로 증가하기 때문이다. 따라서 감소된 1단 케로신 공급유량이 2단과 3단의 공급라인으로 분배되기 때문에 Fig. 9, 10과 같은 결과가 나타나게 된다. 3단으로 구성된 케로신 탱크는 1단 탱크가 66분, 2단이 64분, 3단이 63분에 충전이 완료되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 선정된 케로신 충전시스템이 케로신 완충 시간조건(70분)을 만족하는 것을 알 수 있다. 또한 각 케로신 탱크의 완충시간 차이가 5분 이

내로 서로 비슷하게 충전이 완료되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 한국형 발사체(KSLV-II) 추진제공급시스템의 안정적인 충전운용모드를 구현하기 위해 각 단으로 흐르는 산화제 및 케로신의 유량을 선정하였다. 다음으로 각 충전시스템의 1D 유동해석 모델을 제작 하였다. 이를 이용하여 1D steady state 해석을 수행하였으며, 각 충전모드에 따른 극저온 유량조절 밸브의 용량 및 orifice 내부 hole 사이즈를 선정하였다.

선정된 밸브용량과 orifice 사이즈를 이용하여 시스템 1D transient 해석을 수행하였다. 이를 통해, 전체 충전시간에 따른 각 단에서의 충전탱크 높이와 충전유량의 변화특성을 확인하였다. 두 시스템 모두 충전이 진행됨에 따라 각 단의 추진제 탱크 수두가 변경되고, 이에 따른 충전유량이 변경되는 것을 확인하였다. 최종적으로 1D 유동해석을 통해 제안된 추진제 공급시스템의 충전완료시간이 한국형 발사체 충전 완료 요구

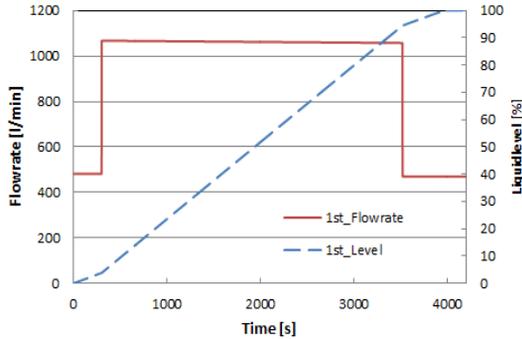


Fig. 8 Volumetric flowrate and liquid level profile for 1st stage kerosene storage tank.

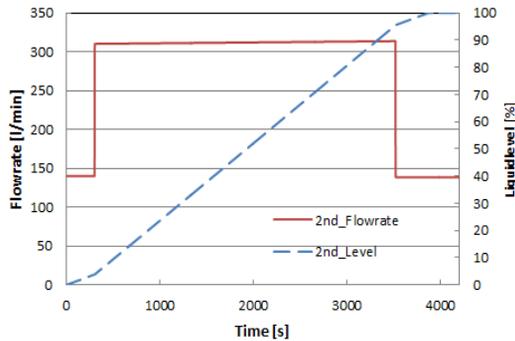


Fig. 9 Volumetric flowrate and liquid level profile for 2nd stage kerosene storage tank.

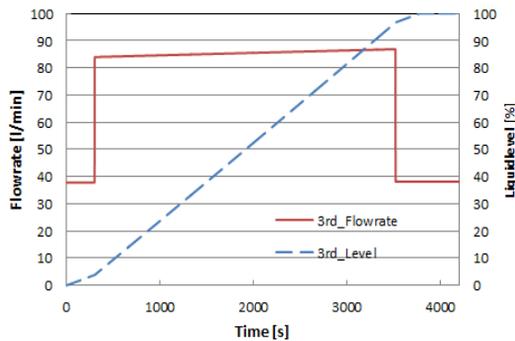


Fig. 10 Volumetric flowrate and liquid level profile for 3rd stage kerosene storage tank.

시간(산화제 : 90분, 케로신 : 70분) 대비 10%의 오차허용범위를 만족하는 것을 확인하였다. 두 가지 충전시스템 모두 각 단의 탱크 충전 완료

시간 차이가 5분 이내의 값을 가지는 것이 확인되어 안정적인 추진제의 공급이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

## References

1. Park, S.Y., Kim, J.H., Park, P.G. and Yu, D.I., "Analysis on the Filling Mode of Liquid Oxygen to the Launch Vehicle Using Flowmaster," *The Korean Society of Propulsion Engineers Fall Conference*, Kyungjoo, Korea, pp. 335-338, Nov. 2009.
2. Korea Aerospace Research Institute, "A Master Plan of KSLV-II Development Program," 2010.
3. Sutton, G.P. and Biblarz, O., *Rocket Propulsion Elements*, 7th Ed., John Wiley & Sons Inc., N.Y., U.S.A., 2001.
4. Kim, J.S., Jung, H., Kam, H.D., Seo, H.S. and Su, H., "A Development of the Thrusters for Space-Vehicle Maneuver/ACS and Their Application to Launch Vehicles," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 14, No. 6, pp. 103-120, 2010.
5. 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. 77-86, 2015.
6. Korea Aerospace Research Institute, "A Basic Design Results of Launch Complex for KSLV-II," 2014.
7. Kwon, O.S., Kim, B.H., Kil, G.S. and Ko, Y.S., "Estimation of Heat Transfer Coefficient at the Upper Layer of Cryogenic Propellant," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 16, No. 3, pp. 82-89, 2012.
8. Flowmaster Co. Ltd., "Flowmaster Reference Manual," 2008.