

과학로켓(KSR-III) 비행시험을 위한 추진제 공급설비 개발

김용욱*, 조규식**, 길경섭***, 김영한****, 정영석*****, 조상연*****, 오승협*****

Development of Ground Feeding Facility for KSR-III Flight Test

Yong-Wook Kim*, Ku-Sik Cho**, Gyong-Sub Kil***, Young-Han Kim****,
Young-Suk Jung*****, Sang-Yeon Cho*****, Seung-Hyub Oh*****

Abstract

This paper introduces ground feeding facility for flight test of sounding rocket(KSR-III) which use liquid propellants and addresses facility configuration, development process and results. Supply of propellants and pressurization gases to vehicle according to predefined launch scenario is the primary goal of ground feeding facility. It was constructed at KSR-III launch site, verified by several tests and used for the flight test successfully.

초 록

본 논문에서는 3단형 과학로켓 KSR-III의 발사에 사용된 지상 추진제 공급설비를 소개하고 설비의 구성, 개발현황에 대하여 기술하고자 한다. 발사장 내의 추진제 공급설비는 KSR-III의 비행시험을 위해 발사 시나리오에 따라 발사체에 추진제 및 가압제를 각 요구조건에 부합하게 공급하는 설비이다. 구현된 공급설비는 크게 추진제 및 가압제 저장/공급설비와 제어계측 설비로 구성되며 각종 입증시험과 연계시험을 통하여 그 성능 검증을 마친 후 KSR-III 비행시험에 성공적으로 사용되었다.

키워드 : 지상공급설비(ground feeding facility), 3단형 과학로켓(KSR-III), 추진제(propellant), 비행시험(flight test), 발사장(launch site)

1. 서 론

한국항공우주연구원은 국내 최초로 액체추진기관을 사용한 3단형과학로켓(이하 KSR-III)을 개

발하였다. KSR-III의 비행시험을 위해서는 이전의 고체 추진기관을 사용한 과학로켓 1, 2와는 달리 비행시험 조건에 부합하게 액체추진제 및 가압제를 공급하는 지상설비가 필요하다. 이에 항우

* 추진기관그룹/kyw421@kari.re.kr

*** 추진제어그룹/kgs@kari.re.kr

**** 추진기관그룹/ysjung@kari.re.kr

***** 추진기관그룹/shoh@kari.re.kr

** 추진기관그룹/gsch@kari.re.kr

**** 추진기관그룹/yhkim@kari.re.kr

***** 추진기관그룹/chosangy@kari.re.kr

연은 독자적으로 발사에 필요한 제반 설비를 갖춘 발사장을 구축하였다.

KSR-III는 Jet A-1과 액체산소를 각각 연료와 산화제로 사용하며, 압축 헬륨가스로 가압하는 추진기관 시스템을 이용하여 추력을 얻는다. 따라서 발사장 내 공급설비는 추진제와 헬륨, 질소 등을 저장/공급하는 유공압 설비와 발사시나리오에 따라 해당 부품을 제어하고 자료를 저장하는 제어/계측 설비 및 기타설비들로 구성되어 있다. 구축된 공급설비는 기능시험, 연계시험 및 모사시험 등의 각종 입증시험을 통해 그 성능을 검증한 후 비행시험을 수행하였다.

본 논문에서는 이러한 발사장 내 지상 추진제 공급설비의 구성, 개발내용 및 시험평가 결과를 기술하였다.

2. 공급설비

2.1 설비의 구성

KSR-III 발사장 내 추진제 공급설비의 전체적인 구성은 그림 1과 같다. 추진제 공급설비 중 유공압 설비는 액체산소의 저장 및 기체 내 산화제 탱크의 충전을 위한 산화제 공급설비, Jet A-1의 저장 및 기체 내 연료 탱크의 충전을 위한 연료 공급 설비, 지상설비용 밸브구동 및 기체 내부 퍼지 등에 필요한 질소를 저장/공급하는 설비, 기체내부 밸브구동 및 가압제로 사용되는 기체헬륨을 저장/공급하는 설비들로 구성되어 있다. 제어계측 설비는 항우연 임무통제소(KMCC) 내부에 설치되어 설비를 제어하는 주제어계측 시스템과 발사대 주변에 설치된 지역제어계측설비로 구성되어 있다.

유공압 설비들의 배치를 그림 2에 나타내었다. 발사대로부터 충분한 거리를 두고 방폭벽을 설치하여 그 내부에 추진제 및 가스 저장 설비들을 배치하였으며, 각 저장 구역 사이에도 방폭벽을 설치하여 안전조치를 하였다. 또한 발사대 근처에 공급계 및 로컬 제어/계측 부품용 컨테이너를 배치하여 운용의 효율성과 안전을 도모하였다.

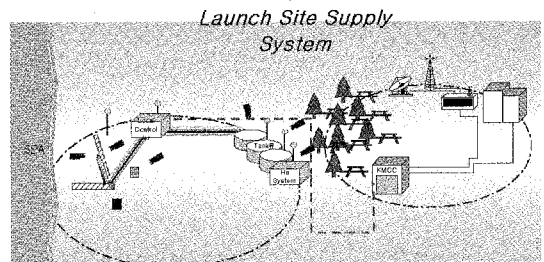


그림 1. 추진제 공급설비 구성도

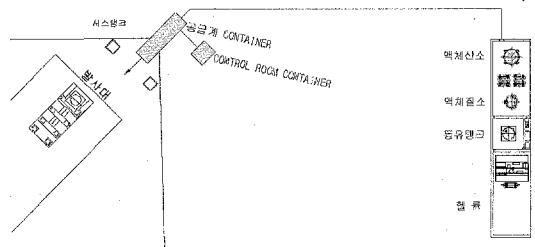


그림 2. 유공압 설비 배치도

2.2 유공압 설비

2.2.1 산화제 공급설비

산화제 저장/공급 시설은 극저온 추진제인 액체산소를 장기간 보존하면서 비행시험 시 액체산소를 발사체의 추진제 탱크로 이송하는 시설로서, 저장탱크의 자체 기화압을 조절하여 공급유량을 조절하고 발사대와 저장시설의 거리를 고려하여 배관설계 및 각 부품을 설치하였다. 공급배관은 극저온 유체의 온도 상승을 최소화하기 위하여 저장탱크부터 기체에 부착된 임브리컬 밸브까지 진공배관을 사용하였다. 또한 충전 후 발사전까지 배관 내의 액체산소 배출과 유사시 발사체 추진제 탱크내의 액체산소 배출을 위하여 드레인 탱크를 설치하였다. 주요 설비의 사양은 표 1과 같다.

2.2.2 연료 공급설비

연료 저장/공급 설비는 KSR-III의 연료로 사용되는 Jet A-1을 저장, 시나리오에 따라 공급하는 시설로서 이송용 원심 펌프와 오리피스스를 이용하여 공급유량을 조절한다. 저장 탱크의 용량은 발

사체 추진제 탱크에 3회 이상 저장할 수 있게 설정하였으며, 20분 이내에 충전이 이루어 질 수 있도록 배관 및 부품들을 구성하였다. 또한 연료 저장설비 주변에는 국내 관련 법규에 따라 비상시를 대비한 소방 설비를 설치하였으며 그 설비의 저장용량과 공급 능력은 각각 6m^3 , $200\ell/\text{min}$ 이다. 연료 공급설비의 기타 사양은 작동유체가 상온인 조건을 제외하면 산화제 공급설비와 유사하다.

표 1. 산화제 공급설비 주요사양

항 목	사 양
저장탱크	용량 : 20Nm^3 압력 : 17.6bar 산화제 탱크용적의 6배
배출 탱크	대물식, SUS 재질 산화제 탱크용적의 1.5배
공급 배관	진공배관 적용 단열성능 : $0.002\text{ kcal/hr}^\circ\text{C} \ell$ 운용압 : 10bar max 크기 : 1-1/2", Sch 10
자동 밸브	on/off type ball valve 운용압력 10 bar 극저온, 방폭 적용
안전 밸브	운용압력의 1.2배 설정
유량계/ 계장품	용적형/4-20 mA 출력
필터	MESH : 약 $70\mu\text{m}$

2.2.3 질소 공급설비

질소 저장/공급설비는 발사장의 유공압 설비와 발사체에 고압 및 저압의 기체질소를 설정된 압력으로 공급하기 위한 설비로서 그 목적은 다음과 같다.

- 발사체 추진제 탱크 및 배관 청소
- 발사전 엄브리질 밸브 분리
- 추진제 배출
- 추진제 공급설비의 유공압 밸브 구동

설비에 사용되는 질소는 액체상태로 이송되어

초저온용 저장용기에 저장되고 이를 기화기를 사용하여 필요량을 기화시킨 후 레귤레이터를 이용하여 원하는 압력으로 조절하여 기체질소를 사용한다. 질소 공급설비의 주요사양은 표 2에 기술하였으며, 저장탱크와 기화기의 설치 상태는 그림 3과 같다.

표 2. 질소 공급설비 주요사양

항 목	사 양
저장탱크	용량 : 10Nm^3 압력 : 18.5 bar max 운용온도 : -196°C 기화율 : 0.3%이하, 진공단열
기화기	방식 : 자연 대류식 용량 : $500\text{Nm}^3/\text{h max}$
공급 배관	운용압력 : 10bar max 350bar(헬륨설비 연결부) 배관재질 : SUS 304


그림 3. 액체질소 저장탱크 및 기화기

2.2.4 헬륨 공급설비

앞서 언급한 바와 같이 KSR-III는 압축가스를 이용한 추진제 공급시스템을 사용한다. 사용되는 가스는 헬륨으로 분자량이 작기 때문에 무게가 적게 나가 로켓의 총 중량의 감소를 가져오며, 비활성가스(inert gas)이므로 추진제와 접촉하더라도 화학반응을 잘 일으키지 않고 잘 용해되지 않는 특성을 갖고 있어 압축가스를 이용한 공급 시스템에 주로 사용된다.

헬륨은 로켓에 4500psi로 저장한 후에 레귤레이터를 통해 추진제에 일정 압력으로 공급하게 되므로 지상에서 헬륨을 가압하여 탱크에 공급해야 한다. 따라서 헬륨을 가압하기 위한 가압장치를 필요로 하게 된다.

헬륨가압장치로 가압된 헬륨은 우선 로켓에 부착된 헬륨 탱크에 충전한다. 또한 로켓의 밸브들을 구동하기 위한 밸브 구동용 헬륨 탱크를 충전해야 한다. 마지막으로 발사 직전 추진제의 얼리지 용적의 압력을 헬륨 탱크 압력과 동일하게 유지시키기 위해 리시버를 충전하여 선가압용으로 활용하게 된다. 주요 헬륨 공급설비의 사양은 표 3과 같다.

표 3. 헬륨 공급설비 주요사양

항 목	사 양
저장용기	압력 : 120bar max 용량 : 용기 당 47ℓ 수량 : 120개 ※ 용기 12개를 하나의 이동형 프레임에 고정 설치
가압장치	부스터 : 작동압 최대 5000psig, 3대 설치 압축기 : 토출 유량 10Nm ³ /min 리시버 : 압축공기 저장, 2m ³ 건조기 : 공기내 수분 및 유분 제거, 14Nm ³ /min
공급배관 / 리시버	운용 압력 : 5000psig max 리시버 용량 : 300ℓ

헬륨 공급은 두 단계로 나누어 수행하게 된다. 첫 번째 단계는 바이패스(bypass)에 의한 방법으로 110MPa로 충전된 90개의 헬륨 용기를 이용하여 선가압용 리시버 및 로켓 기체의 탱크 및 밸브 구동용 탱크에 압력 평형 시까지 배관을 통해 직접 공급하는 방식이다. 두 번째 공급 단계는 압력 평형이 된 후에 부스터 가압 충전 방식으로 헬륨 탱크와 선가압용 리시버에 설정 압력까지 부스터를 이용하며 충전하게 된다. 충전소요 시간은 2 시간으로 설정하여 세 개의 부스터를 사용하며 부스터를 작동하기 위한 컴프레셔와 에어 리시버 및 드라이어를 사용한다. 그림 4는 헬륨가압 장치 내 부스터의 설치상태를 나타내고 있다.

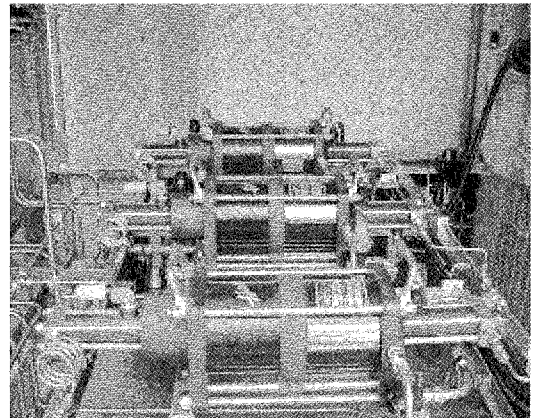


그림 4. 헬륨 가압장치 내부

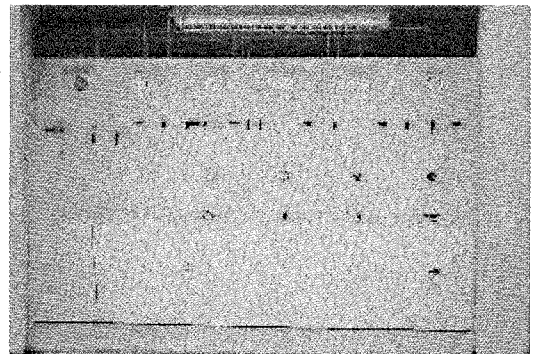


그림 5. 공압 제어패널

2.2.5 공압 제어패널

발사대 주변에 설치되는 밸브와 센서류 등은 설비 보호와 원활한 운용을 위하여 컨테이너 내부에 집합체로 구성하여 설치하였으며, 설치상태는 그림 5와 같다.

2.3 제어계측 설비

제어계측 설비는 로켓기체내부의 온도/압력/액준위 등의 센서 신호와 밸브구동용 액추에이터의 신호와 연동하여 최적으로 로켓기체 내부에 장착된 각 저장용기(탱크)에 저장물을 충전하도록 제어한다. 또한 각 충전량의 데이터화, 그래픽 표시 및 데이터를 저장한다. 제어계측 설비의 구성은 그림 6에 표시하였다.

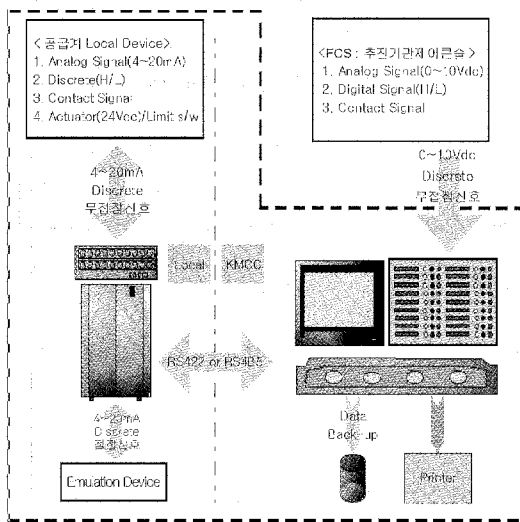


그림 6. 제어계측 설비의 구성

제어계측 시스템은 발사장내 설치된 KMCC내에 추진공급계 제어콘솔을 포함하며, 추진기관제어콘솔의 신호와 기타 공급계의 제어를 위한 신호를 받아 정해진 시나리오에 의해서 작동하여야 한다. 추진공급계 제어콘솔은 각 시나리오에 의해 작동 상황을 콘솔에 설치된 패널에 표시하고 모니터 상으로 표시한다.

시스템 운영을 위한 시스템 입력신호는 로켓 추진기관콘솔로부터 제공되는 기체내의 센서신호(4~20mA)와 기체내의 밸브구동신호(24/28 Vdc) 그리고 발사장 공급계에서의 압력/온도/유량/이슬점 센서의 신호(4~20mA)를 받아 시스템이 정해진 시퀀스에 의해서 구동하며, 연산된 또는 운전자의 조작에 의해서 액추에이터(전자밸브/공압 밸브)를 작동하여 운전하도록 되어 있다.

3. 설비 입증

3.1 설비의 입증방안

추진제 공급설비는 각 설치 단계마다 여러 가지의 시험을 거친 후 조립/설치되며 최종 성능을 확인한 후 비행 시험을 수행하게 된다. 그림 7에 그 수행 절차를 나타내었다. 발사장이 도서 지역인 관계로 내륙에서 단품의 검사와 가조립한 후 발사장으로 이송하여 조립/설치를 수행하였다. 설치가 완료되고 설비자체 입증 시험과 단인증시험 모델을 이용한 연계 시험을 수행하여 설비의 성능을 최종 검증 하였다.

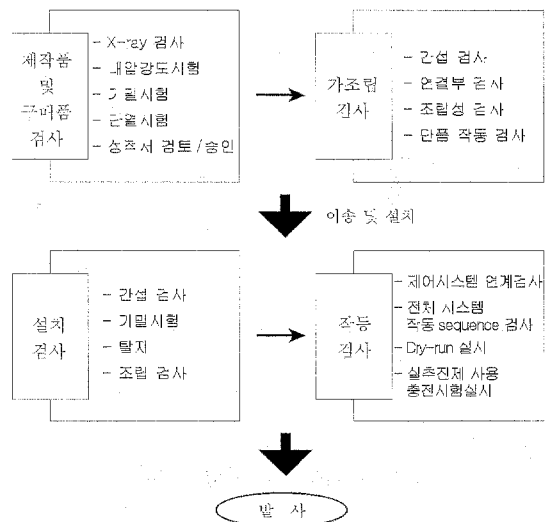


그림 7. 공급설비 시험/검사 절차

3.2 내압/기밀 시험

공급설비의 각 작동유체별 조합체에 대하여 표 4와 같은 조건으로 내압 및 기밀시험을 수행하였으며 모두 합격 조건을 만족하였다.

표 4. 헬륨 공급설비 주요사항

항 목	산화제, 연료, 질소 설비	헬륨 설비
가압매체	질소 가스	헬륨 가스
운용압력[bar]	10	310
시험압력[bar]	15	345
유지기간[min]	30	
합격기준	압력강하 없음	압력강하 1%이내

3.3 실추진제 충전시험

추진제 공급설비의 기능과 적합성을 확인하기 위해 단인증모델(SQTM)과 비행모델(FM) 기체를 이용하여 여러 차례의 모의시험을 수행하였으며 그중 일부 시험결과를 제시하였다.

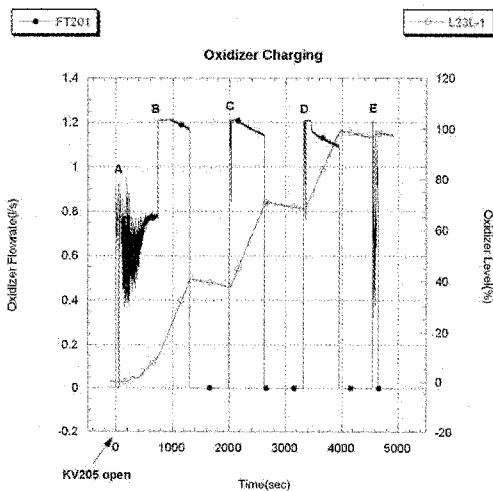


그림 8. 산화제 공급유량과 액위

그림 8은 산화제 충전 시 로켓 산화제탱크의 액위와 공급유량 그래프이다. 산화제는 2회의 안정화를 실시하며 공급하였으며 배관 냉각 및 저

유량 주입(A), 고유량주입(B), 1차 안정화, 2차 주입(C), 2차 안정화, 3차 주입(D), 최종 액위 보정(E)의 순서로 액위 99.6%까지 충전하였다.

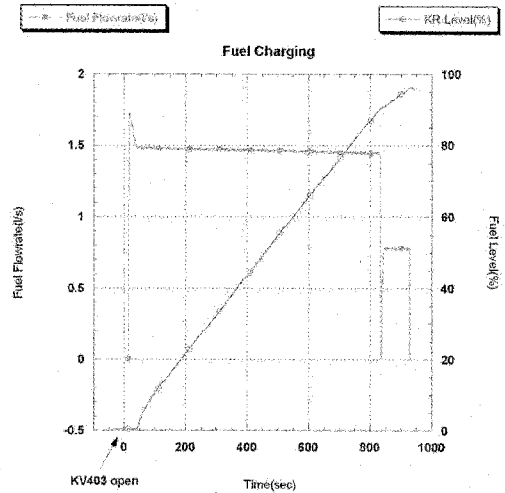


그림 9. 연료 공급유량과 액위

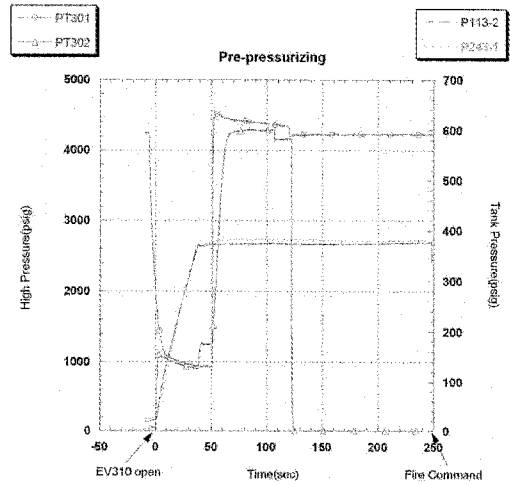


그림 10. 선가압 압력

그림 9는 연료공급시의 공급유량과 탱크 액위를 나타낸다. 연료는 펌프를 가동하여 평균 공급 유량 1.5 l/sec로 공급되며 최종 충전량은 액위를 기준으로 96%이다.

그림 10은 선가압 압력을 측정된 결과이다. 선가압은 2회로 나누어 실시하였으며 1차선가압 명령(EV310 open)후 압력은 PT302 값을 기준으로 1000psig로 상승한다. 이후 40초경에 2차 선가압을 실시하여 압력이 4200psi까지 상승함을 볼 수 있다. 선가압이 완료된 후에는 선가압 배관에 잔류 압력을 해압하고, 비행시험 카운트다운을 하게 된다.

4. 결 론

KSR-III의 비행시험을 위해 발사장내에 산화제 및 연료 저장/공급 설비, 유공압 밸브 구동 및 기체 퍼지 등에 필요한 질소 저장/공급 설비, 로켓의 가압제로 사용되는 헬륨 저장/가압 설비의 설치를 완료하였다. 또한 시스템 제어/계측 설비 및 기반 설비의 제작설치도 함께 수행하였다. 각 설비들의 작동 시험과 배관 및 설비들의 내압/기밀시험도 수행하였다. 추진제 공급 설비는 단인증모델(SQTM)을 이용하여 발사 시나리오에 따른 추진제 공급능력을 입증한 후 KSR-III의 비행시험을 성공적으로 수행하였다. 수행된 연구결과는 향후 우주발사체용 기반설비의 설계의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 오승협 외, 액체로켓 추진기관 시험설비 및 시험평가 기술연구, 한국항공우주연구원, 2002.10.
2. 한국항공우주연구원, 3단형 과학로켓 개발사업(V) 최종연구보고서, 과학기술부, 2003.
3. NIICHIMMASH, Development of the recommendations on organization and realization of the flight tests of KSR-III propulsion system, KARI, 2001.
4. NSS 1740.15, Guidelines for oxygen system design, materials selection, operation, storage, and transportation, NASA, Jan. 1996.