

# 한국형발사체 추진기관개발에서의 제품보증활동

조상연\*† · 설우석\* · 고정환\*†

## Product Assurance of KSLV-II Propulsion System

Sang Yeon Cho\*† · Woo Seok Seol\* · Jeonghwan Ko\*

### ABSTRACT

Korea Aerospace Research Institute has been developing 3-stage launcher KSLV-II, which can inject 1.5-ton satellite into sun synchronous orbit (SSO). For development process, Test Launch Vehicle(TLV) adopting the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> stage of KSLV-II will be scheduled to launch in 2018. The propulsion system of TLV is composed of 2<sup>nd</sup> stage engine system (ground type) and propellant supply system including LOX, Kerosene tanks. Until now, system integration of engineering model of TLV and delivery of qualification model have been done. In this paper, the product assurance activities for propulsion system KSLV-II will be illustrated.

### 초 록

한국항공우주연구원에서는 1.5톤급의 실용위성을 태양동기궤도에 투입할 수 있는 3단형 발사체인 한국형발사체 KSLV-II를 개발하고 있다. 한국형발사체의 개발과정으로 2018년에는 2단과 3단으로 구성된 시험발사체(TLV)를 발사할 계획이며 여기에 사용되는 추진기관은 한국형발사체의 2단 엔진인 75톤급 엔진의 지상형 모델과 추진제 탱크, 공급 시스템이 적용되게 될 것이다. 현재 엔진시스템을 포함한 시험발사체 추진기관의 경우, 엔지니어링모델(EM)의 조립과 인증모델(QM)의 제작, 납품이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 한국형발사체 추진기관의 개발중 수행되고 있는 제품보증 활동에 대하여 설명하고자 한다.

Key Words: KSLV-II (한국형발사체), Test Launch Vehicle (시험발사체), Propulsion System (추진기관), Product Assurance(제품보증)

### 1. 서 론

한국항공우주연구원의 발사체개발사업본부에서는 2010년부터 1.5톤급의 실용위성을 700km

태양동기궤도에 투입 가능한 3단형의 우주발사체인 한국형발사체 일명, KSLV-II를 개발하고 있다. KSLV-II의 개발기간은 전체가 3단계로 구성되어 있으며 현재 진행 중인 2단계에서는 한국형발사체에 대한 상세설계완료와 75톤 액체엔진 개발, 그리고 2018년에 75톤 엔진의 비행시험 평

\* 한국항공우주연구원 한국형발사체개발사업본부

† 교신저자, E-mail: chosangy@kari.re.kr

가를 위하여 한국형발사체의 2/3단을 이용하여 구성한 시험발사체 (TLV)를 발사하는 것을 목표로 하고 있다.[1]

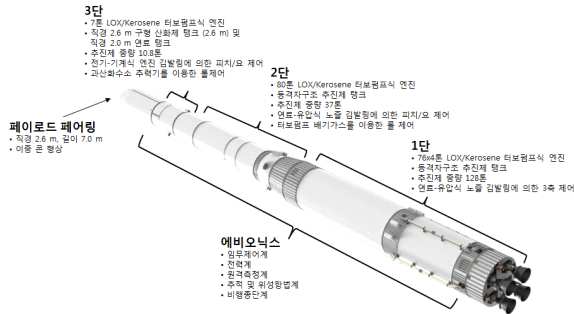


Fig. 1 Configuration of KSLV-II

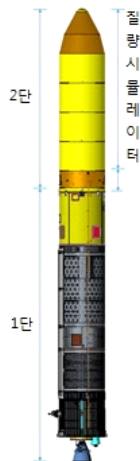


Fig. 2 Test Launch Vehicle (TLV)

KSLV-II를 개발하는 데에는 전체 사업기간에 걸쳐 약 2조원의 막대한 개발비가 소요되는데 여기에는 발사체 시스템의 개발뿐만 아니라 발사장 및 새로운 엔진을 개발하는데 요구되는 추진기관시험설비의 구축비용이 포함되어 있다.

이미 해외의 여러 사례들에서 확인할 수 있듯이 우주발사체의 발사 시 사고가 발생할 경우 그 결과가 인명과 재산의 손실과 같은 재난으로 이어질 수 있고 국민적 관심사로서 국가의 위신을 올리는 등 그 성공여부가 매우 중요하다고 할 수 있다. 이러한 발사 성공에 가장 크게 기여할 수 있는 것이 바로 제품보증활동이다.[2]

제품보증의 정의는 사업의 전 개발주기동안 제품이 만족할 만한 수준의 품질을 가질 수 있도록 계획하고 수행하는 모든 활동을 뜻하는 것으로 일반적으로는 신뢰성보증, 안전보증, 품질보증 활동 등을 통칭한다. 특히, 발사체와 같은 복잡한 시스템의 개발에 있어서 임무 성공을 위한 제품보증 활동의 중요성은 많은 사람들이 공감하는 바이다. 발사체는 비행중 수리가 불가능하고 지상에서 아무리 많은 시험을 수행하였어도 비행시험을 통해 확인하지 않는다면 알 수 없는 수많은 문제가 존재한다. 이 때문에 신뢰성관리를 통해 제품의 설계 안정성을 확보하고 품질관리를 통해 제작에서의 실수를 최소화하여 개발 위험(risk)을 줄이는 것이 필요하다. 이러한 이유로 NASA나 ESA, JAXA 등 발사체 개발 선진국의 주관 기관들은 관련 조직과 지침을 가지고 있다. [3]



Fig. 3 PA Structure in ECSS Standard

항우연의 발사체개발사업본부에서도 발사체의 제품보증활동을 총괄하는 주관부서인 발사체신뢰성안전품질보증단과 발사체보증팀을 두어 추진기관을 포함한 전체 발사체에 대하여 관련 업무를 수행하고 있다.

KSLV-II는 3단형 발사체로 1단은 75톤급 엔진을 4기 클러스터한 300톤의 진공 추력을 가지고 있고 2단은 75톤급 엔진 1기로 구성되어 있으며 3단은 7톤급 엔진 1기로 설계되었다.

7톤과 75톤급의 각각의 엔진은 모두 액체산소

와 케로신을 사용하는 액체엔진으로 가스발생기와 터보펌프를 사용하는 오픈사이클 엔진이다. 노즐은 연료의 재생냉각방식으로 냉각되며 추력 벡터제어기로 구동된다.

추진 공급시스템은 추진제 탱크를 포함할 경우, 발사체에서 가장 큰 부피를 차지하는 주요 시스템이다. 시험발사체(TLV)의 경우, 탱크내부의 추진제 질량은 전체 약 37톤이며 헬륨을 이용하여 가압하여 연료와 산화제를 터보펌프까지 공급하는 역할을 수행한다. 추진 공급시스템은 추진제 탱크 외에도 각종 밸브와 배관, 고압탱크 등을 포함하고 있다. 추진 공급시스템은 추진기관 시스템 혹은 기체 공급계라고 불리기도 한다. 본 논문의 제목에서 언급한 발사체 추진기관은 광의의 뜻으로 편의상 엔진시스템과 추진 공급시스템을 합하여 부르는 개념으로 표현하였다.

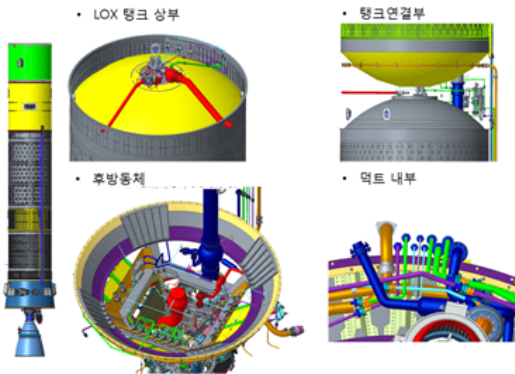


Fig. 4 Propulsion System of TLV

## 2. 제품보증 활동

### 2.1 품질 보증

KSLV-II 추진기관의 개발에 적용된 제품보증/품질보증 체계는 아래의 Fig. 5와 같다. [4] 가장 기본적으로 제품보증 요구조건(PAR)과 이에 근거한 제품보증 프로그램 계획(PAPP)을 작성하였고 제품보증 세부 항목인 신뢰성, 안전, 품질 등에 따라 PAPP를 별도의 세부계획으로 구성하였다. 품질파트의 경우, 품질보증 계획(QAP)을 수

립하였으며 품질과 관련있는 부품,재료,공정 관리계획(PMPCP)과 전기전자부품 관리계획(EEECP)을 수립하여 적용하였고 참여기업 품질보증 요구조건(SPAP)을 수립하여 참여기업이 이를 지키도록 요구하였다.[5]

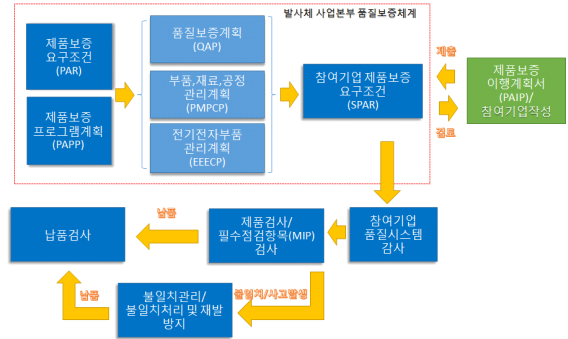


Fig. 5 Quality Assurance Flow

SPAR는 개발 사업에 적절한 수준의 제품보증 활동을 요구하는 것을 원칙으로 하여 작성되었다. KSLV-II 추진기관의 개발에 참여하고 있는 업체들은 대부분 ISO9001이나 AS9100과 같은 주요 품질시스템 인증을 받은 업체들로 SPAR에 근거하여 계약 후 2개월 이내에 제품보증 이행 계획서(PAIP)를 작성 제출하여야 한다.

실제적으로 수행되는 품질보증 활동은 참여기업에 대한 품질시스템 감사와 중요공정(MIP) 검사, 불일치 처리와 납품 검사 등을 들 수 있다. 엔진시스템과 추진 공급시스템의 경우, 연소기, 터보펌프, 가스발생기와 각종 밸브류, 배관류, 점화/시동장치, 터빈배기부, 엔진제어계측계 등에 대하여 각 제작 호기별로 중요공정을 선정하였으며 실제 제작시 항우연 담당자가 직접 참여하는 검사를 수행하여 시정사항을 전달하고 있다.

제품의 제작과 시험과정에서 발생할 수 있는 불일치(NC)의 처리 절차는 아래의 Fig. 6과 같이 설정되어 있다. 해당 절차에 따라 제작과정이나 시험시 부적합 혹은 불일치가 발생하면 이의 중요도를 파악하여 중대한 사안의 경우, 사업본부의 관련 보직자들로 이루어진 물자심의회의(MRB)를 개최하여 그 처리를 결정한다.

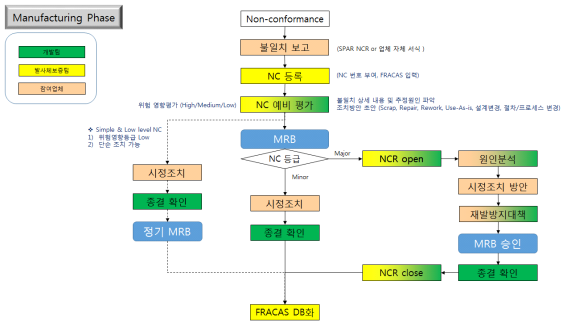


Fig. 6 Nonconformance(NC) Control Flow

현재 시험발사체 EM의 경우, 추진기관시스템에서 발생한 불일치 사항은 전체에서 대략 25% 정도를 차지하고 있다.

## 2.2 신뢰성 보증

발사체 추진기관의 신뢰성 보증 활동은 전체 기체에 대한 신뢰성보증계획(RAP)에 의거하여 이루어지고 있다. 한국형발사체의 신뢰도 요구조건은 0.9이며 이에 의거하여 주요 서브시스템에 대한 신뢰도 할당과 신뢰도 평가 방법을 수립하였다. 이에 따르면 엔진시스템의 경우 신뢰도의 할당은 0.995이며 신뢰도의 계산은 전체 시험횟수와 연소시간을 고려한 통계적 분석 기법을 이용하여 발사체시스템 상세설계검토까지 수행될 예정이며 추진 공급시스템은 밸브의 고장율과 같은 신뢰성 데이터를 이용하여 초기 예측을 수행한 후 시험결과를 반영하여 업데이트할 계획이다.

NCR No.	Part Name	Function	Failure Mode	Failure Cause	Failure Observation Method	Failure Effects			Failure Detection Method
						Local	Next Higher	End	
23444	연소기	연소기 연소실 내부에 연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사
23445	연소기	연소기 연소실 내부에 연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사
23446	연소기	연소기 연소실 내부에 연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사
23447	연소기	연소기 연소실 내부에 연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사
23448	연소기	연소기 연소실 내부에 연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사
23449	연소기	연소기 연소실 내부에 연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사
23450	연소기	연소기 연소실 내부에 연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	연소실 벽면의 균열 발생	시각 검사

Fig. 7 FMEA for 75-ton-class Engine System

시스템의 신뢰성 확보를 위하여 Fig. 7과 같이 고장 모드 영향 분석(FMEA)을 수행하여 엔진시

스템/추진 공급시스템과 그 서브시스템 수준의 고장 메카니즘과 시스템에 미치는 영향, 대응 방법 등을 확인하였다. [6]

또한 FRACAS(Failure Report and Corrective Action Systems)를 구축하여 고장 정보의 수집과 분석을 체계적으로 수행할 수 있도록 하였다.

## 2.3 안전 보증

제품보증의 한 부분으로서의 안전보증은 주로 시스템 안전을 말하게 된다. 시스템 안전이란 위험 요소(hazard)를 식별, 평가, 제거 및 제어하여 위험도를 만족할 만한 수준으로 낮추는 각종 활동을 뜻한다.

발사체 추진기관 개발에 있어서의 안전 보증 활동 또한 한국형발사체 안전보증계획(SAP)에 의거하여 이루어지고 있다.[7]

우선 시스템의 위험요소 식별을 위하여 사전 위험요소분석 (PHA)를 수행하였으며 서브시스템 위험요소 분석(SSHA)을 전체 발사체 시스템에 대하여 수행하였다. 그 결과 발사체 추진기관에서 도출된 위험요소는 전체의 60% 이상을 차지하고 있음을 확인할 수 있었다.

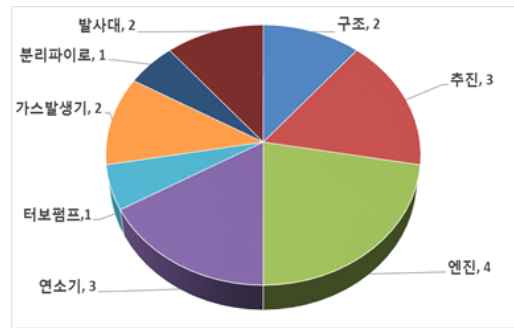


Fig. 8 SCIL for KSLV-II

이러한 분석을 통해 위험도 6이상의 건에 대하여 안전 중요 품목 목록(Safety Critical Items List; SCIL)을 구성하였고 이를 사업본부의 위험관리와 연계하여 지속적으로 관리하고 있다.

시스템 안전 외에도 안전 파트에서는 화재안전과 관련한 재료 화재안전 가연성 시험과 추진기관종합시험설비와 발사대에서의 폭발시 위험

분석, 화약류 사용에 따른 안전관리 등의 업무등을 수행하였으며 안전한 시험 및 발사 운용을 위한 노력을 지속하고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 한국형발사체의 추진기관 개발에서 수행중인 제품보증 활동들에 대하여 소개하였다. 제품보증활동은 크게 품질, 신뢰성, 안전보증 활동으로 정의할 수 있으며 우주 발사체의 추진기관과 같이 복잡한 시스템의 개발성공 가능성을 올리기 위해 반드시 필요한 업무이다. 한국형발사체 개발사업본부에서는 주관 부서를 구성하여 제품보증 활동을 적극적으로 수행중이며 발사체의 임무 성공을 위하여 최선의 노력을 다하고 있다.

### 참 고 문 헌

1. J. Ko and S. Y. Cho, "Space Launch

Vehicle Development in Korea Aerospace Research Institute", SpaceOps, 2016

2. 조상연, 고정환, 정의승 "한국형발사체 사업에서의 제품보증 활동 현황", 항공우주산업 기술동향, 제13권, 제1호, pp.166~170, 2015년 7월
3. IAASS Quality Assurance Course, "Quality Assurance for Space Projects," IAASS 2010
4. 조상연, 설우석, 고정환, "한국형발사체 개발사업 2단계에서의 제품보증 관리" 항공우주시스템공학회 2016 추계학술대회
5. KARI, L2-RQ-00063, "한국형발사체 참여업체 제품보증 요구조건", B.4, 2016
6. 신명호, 조상연, 김현우, "한국형발사체 75톤 엔진시스템의 기능구조/고장모드 분석과 신뢰도 모델링", 제46회 한국추진공학회 2016년 춘계학술대회
7. 김광해, 조상연, 설우석, "우주발사체 체계안전성 분석", 항공우주시스템공학회 2015년 추계학술대회