

우주 발사체 추진기관의 위험 관리

조상연* · 신명호** · 고정환*** · 오승협* · 박정주†

Risk Management of Launch Vehicle Propulsion System

Sangyeon Cho* · Myungho Shin** · Junghwan Ko* · Seunghyub Oh* · Jeongjoo Park†

ABSTRACT

Korea Aerospace Research Institute(KARI) has been developing the first civilian rocket, Korea space launch vehicle (KSLV-I), which can put the small size satellite into designated orbit. Developing launch vehicles contains a lot of uncertainty due to large scale, complexity, and technical difficulty. The uncertainty may become risk in the areas of business and technology which causes schedule delay, cost increase, and design changes of subsystems and components. This study describes the technical risk identification methods using FTA and procedures of planning and implementation of risk assessment and reduction of launch vehicle propulsion system.

초 록

한국항공우주연구원에서는 소형의 위성을 원하는 궤도에 투입할 수 있는 최초의 민간 로켓인 KSLV-I을 개발하고 있다. 우주 발사체의 개발에는 큰 스케일과 복잡성, 그리고 기술적 난점에 의한 수 많은 불확실성이 존재한다. 이러한 불확실성은 사업적 측면에서는 일정의 차질, 비용의 증가등을 야기 하고 기술적 측면에서는 서브시스템이나 부품단위의 설계 변경등을 가져오게 된다. 이 연구는 발사체 추진기관에 있어서 fault tree analysis (FTA)를 이용한 기술적 위험 식별과 위험 분석 및 완화의 과정을 보여주고자 한다.

Key Words: Launch vehicle (우주발사체), risk management (위험관리), KSLV-I, fault tree analysis

1. 서 론

한국항공우주연구원(KARI)에서는 현재 100kg

급 소형 위성 발사체인 KSLV-I을 러시아와 합작으로 공동 개발하고 있다. KSLV-I은 2단형의 발사체로 1단은 러시아의 기술이 적용되었으나 2단 및 페이로드인 위성체는 순수 국내 기술로 개발중이다. KARI는 이미 지난 2002년 국내 최초의 민간 액체 로켓 엔진을 장착한 과학로켓인 KSR-III의 발사를 성공시킨 바 있으며 이러한 경험을 바탕으로 이번 KSLV-I을 개발하고, 중장기

* 한국항공우주연구원 추진기관체제팀

** 한국항공우주연구원 체계종합팀

*** 한국항공우주연구원 임무설계팀

† 한국항공우주연구원 우주발사체 체제실
연락처자, E-mail: chosamgy@kari.re.kr

적으로는 1.5ton급의 위성 발사체를 개발할 계획을 가지고 있다. 우주발사체 개발은 그 규모와 복잡성, 기술적 난이도 등으로 인해 많은 불확실성을 포함하고 있으며 이러한 불확실성은 사업적이거나 기술적인 위험요소로 나타나서 개발에 예기치 못한 일정 지연과 비용증가, 서브시스템 및 컴포넌트의 설계 변경을 발생시키는 원인이 된다.

따라서 우주발사체 체계실에서는 신뢰성, 성능, 품질, 생산성, 운영, 안전 등의 기술적인 분야에서 위험요소를 식별하고 완화시키는 업무에 집중하여 체계적인 기술적 위험관리를 재구성하고 이를 전산화하였다.[1]

본 연구에서는 현재 우주 발사체 사업단에서 수행중인 위험관리 중 기술적 위험관리가 추진 기관에 대하여 어떻게 적용이 되고있는지에 대하여 설명하고자 한다.

2. 기술적 위험 관리 시스템

21 기술적 위험 관리의 내용과 대상

발사체 사업에 있어서의 기술적 위험 관리는 몇 가지 핵심적인 활동으로 구분될 수 있다. 전체 위험 관리 활동은 위험 계획, 위험 식별, 위험 분석, 위험 완화 및 통제로 구성된다. 그 중 위험 계획과 위험 식별 작업이 기술적 위험 관리 시스템의 주요 내용을 포함하고 있다.

기술적 위험 요소는 다양한 품목과 작업에서 발견될 수 있으나, 일정, 비용, 임무에 영향을 미칠 정도로 심각한 요소들은 다음과 같은 항목과 관련이 있다.[2]

- 개발 및 검증 (시험평가, 분석, 검사 등)의 전 프로세스에서 발생하는 중요 고장, 요구조건 부적합, 시험 실패
- 형상관리 과정에서 발생하는 중요 설계 변경
- FMEA, FHA 등을 통해 선정된 신뢰성 및 안전 중요 고장모드
- EEE 컴포넌트 중 중요 품목으로 선정되어 집중적인 관리가 필요한 소자

- 기계적인 부품과 재료 중 임무에 큰 영향을 미치는 품목
- 개발품의 성능과 신뢰성에 큰 영향을 미치는 중요 제작 공정
- 개발, 인증, 수락, 운영, 비행 시험 등의 계획, 절차, 방법 등에서 발생하는 문제점
- 자세제어, 임무수행, 비행안전 등에 영향을 미치는 사건

22 기술적 위험 관리 절차

기술적 위험 관리 절차는 기술적 위험 요소를 식별하고 등록하는 절차와 등록된 기술적 위험 요소를 감소시키기 위한 완화 대책의 진행 상황을 점검하고 업데이트 시키는 절차로 구분된다.[3]

23 추진기관 관련 위험요소의 체계적 식별

기술적 위험요소의 체계적 식별은 top-down 방식의 식별 방법으로 현재까지의 해외 발사체 실패 사례들로부터 Fault tree analysis (FTA)와 같은 분석법을 이용해서 더 기본적인 단위의 위험요소를 식별해내는 방법이다. [4]

표 1. 비행 주요 단계별 발사체 반응모드 목록

1단 추진 구간	정상 궤도에서의 비정상 추력 종료
	궤도 이탈
	발사체 파괴
2단 추진 전 항행 구간	발사체 폭발
	정상 궤도에서의 비정상 추력 종료
2단 추진 구간	발사체 파괴
	정상 궤도에서의 비정상 추력 종료
	궤도 이탈
	발사체 파괴

발사체 임무설계팀에서는 비행안전 분석을 통해 비행의 주요 단계별로 안전 문제를 일으킬 수 있는 요소들을 정리하였으며 이러한 각각의 반응 모드들에 대하여 주요 서브시스템 수준까지 FTA를 수행하였다. 표 1은 발사체 반응모드

들을 비행의 주요 단계에 대하여 정리한 결과들이며 아래의 Fig. 1, 2는 이중 KARI가 담당하고 있는 2단 추진기관 관련 내용이 된다.

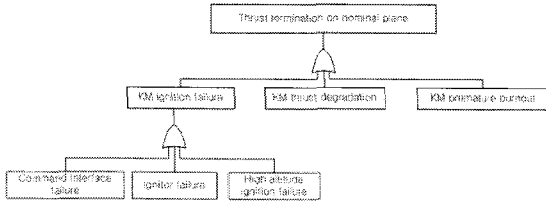


Fig. 1 2단 추진기관에서 정상궤도에서의 비정상 추력종료에 대한 FTA

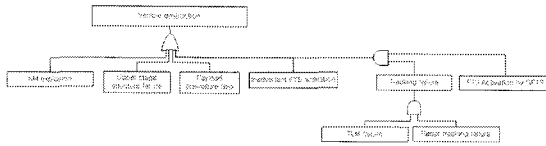


Fig. 2 2단 추진기관에서 발사체 파기에 대한 FTA

위의 분석을 통해 얻어진 2단 추진기관 관련 하위 event들을 정리하면 다음과 같다.

표 2. 추진기관 관련 하위 event

서브시스템 레벨2-1	서브시스템 레벨2-2
KM 초기 점화	
KM 점화 실패	점화 명령 인터페이스 결함
	점화기 고장
	고고도 점화 실패
KM 추력 손실	
KM 조기 연료 소진	
KM 폭발	

추진기관체팀은 여기에서 얻어진 event들을 최종 event로 한 하위 FTA를 수행하여 추진기관 관련 위험 요소들을 식별하였다.

아래의 Fig.3은 수행된 FTA의 대표적인 예를 나타낸 것이다.

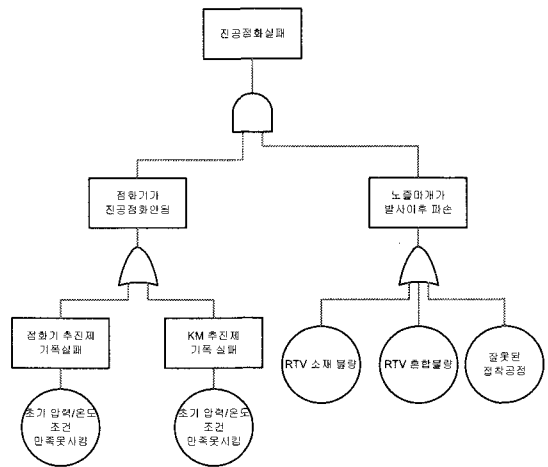


Fig. 3 추진기관 관련 FTA 예

위의 분석을 통해 얻어진 최하위 event들은 추진기관의 잠재적 위험 요소라 판단할 수 있다.

24 기술적 위험 기준과 양식

아래와 같이 식별된 위험 요소들에 대하여 심각도와 빈도를 평가하고 주요 위험요소를 판단하는 작업이 그다음 단계에 이루어진다. 앞서 얻어진 위험 요소들은 가능한 모든 위험 요소를 나열하는 작업이었다면 여기서는 위험을 평가하고 분류하는 작업을 수행한다.

표 3. 위험의 심각도 기준

심각도	기술 영향	비용 영향	일정 영향
하	1 극미하거나 중요하지 않은 결과	예산의 초과는 없으나 일부 계정 전환	사업에 무시할 만한 영향. 가용한 일정 여유를 사용해 약간의 개발 일정 변경 보정.
중하	2 기술 성능의 약간 감소	2천만원 이하의 추가 비용 소요	1달이하의 일정 지연. 마일스톤 상의 일부 조정 필요
중	3 기술 성능의 주요한 감소	3억원 이하의 추가 비용소요	1달에서 2달 이하의 적은 일정 지연
중상	4 기술 성능의 심각한 저하	10억원 이하의 추가 비용소요	2달을 초과하는 일정 지연
상	5 기술적 목표 달성 실패	10억원을 초과 하는 추가 비용 소요	마일스톤에 영향을 주는 상당한 일정 지연

우주발사체 개발 체계에서 적용하고 있는 위험도 기준은 표 1과 같다. 이 위험도 기준에 따른 평가 행렬은 아래의 표 2에 나타나 있다.

표 2. 위험 평가 행렬

발생 확률 \ 심각도	상 (4)	중상 (3)	중하 (2)	하 (1)
상 (5)	1등급	1등급	2등급	2등급
중상 (4)	1등급	2등급	2등급	2등급
중 (3)	2등급	2등급	3등급	3등급
중하 (2)	3등급	3등급	3등급	3등급
하 (1)	3등급	3등급	3등급	3등급

위의 기준에 따라 위험 관리 회의인 Minor, Major RMB (risk management board)를 통해 위험 항목으로의 등록 여부를 결정하게 되며 등록이 결정된 위험 요소는 완화 계획등이 포함된 Fig. 4의 보고서 형태로 정리되어 부적합 사항등과 함께 전산 등록되게 된다. [5][6]

현재 이렇게 등록된 위험 관리 항목들은 지속적인 관리 및 확인 작업이 수행되고 있으며 심각도가 낮은 위험 요소중 품질 보증 (Quality assurance; QA) 활동과 관련이 있는 내용은 품질보증팀에 통보하여 관리할 수 있도록 업무가 이루어지고 있다. 또한 앞으로 위의 기법을 정량화하는 확률적 위험분석을 도입, 적용할 계획이다. [7]

3. 결 론

이상과 같이 KSLV-I 사업에 대하여 적용되고 있는 기술적 위험 관리 체계를 설명하고 추진기관에 적용한 예를 살펴보았다. 발사체와 같은 고위험 기구의 개발은 위험을 낮추기위한 적극적인 대응과 조치가 체계 차원에서 요구된다. 보다 효과적인 위험 관리를 위하여 추후 정량화 기법을 적용하고, 개발주체가 다른 KSLV-I 1단, 지상시스템 등에 대해서도 일관성 있게 체계적인 방법으로 확대시키는 등의 노력을 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. KSLV System, GD61442PA00000-0001: KSLV-I 기술적 위험관리 수행방안, KARI, 2006.
2. Department of Defense, Risk Management Guide for DOD Acquisition, 2001.
3. Technical Management Department, System Engineering Management Guide, DoD, 1989.
4. Walter E. Hammond, Design Methodologies for Space Transportation Systems, AIAA Inc., 2001.
5. 신명호, 조상연, 정의승, "Nonconformance control system for development of launch vehicle," KCOSE Symposium, Fall, 2006.
6. Relex Software, Relex FRACAS Management System User Manual Professional, 2004.
7. Probabilistic risk assessment-procedures guide for NASA managers and practitioners, NASA headquarters, Washington, 2002

Risk Report				
(0) No.	RIS-2006000	(0) Date Identified	2006. 09. 05	
(0) Item Name	KSP (Testing) Risk	(0) Item No.	1438	
(0) Originator	C/S/정민호	(0) Related Area	Control Area List	
(0) Classification	<input type="checkbox"/> Critical <input checked="" type="checkbox"/> Severity <input checked="" type="checkbox"/> Technology <input type="checkbox"/> Other			
(0) Risk	(0) Title	KSP의 우주유지 및 리턴 관련 위험 (KSP/TVG)에 대한 위험		
	(0) Cause	KSP의 우주유지 및 리턴 관련 위험 (KSP/TVG)에 대한 위험		
	(0) Consequence	KSP의 우주유지 및 리턴 관련 위험 (KSP/TVG)에 대한 위험		
(0) Risk Mitigation	(0) Severity	<input type="checkbox"/> Low <input checked="" type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High		
	(0) Likelihood	<input type="checkbox"/> Low <input checked="" type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High		
(0) Risk Mitigation	(0) Risk Index	2	(0) Risk Rank	1
	(0) Risk Mitigation Methods	(0) Risk Mitigation Methods (0) Action for Mitigation (0) Action for Mitigation (0) Action for Mitigation (0) Action for Mitigation (0) Action for Mitigation (0) Action for Mitigation		
	(0) Reported Risk Reduction Method			
	(0)3.3 Severity	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High		
	(0)3.3 Likelihood	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High		
(0)3.3 Risk Index	3	(0)3.3 Risk Rank	2	
(0)3.3 Action for Mitigation				
(0) Contingency Plan	현재는 문제가 발생하여 KSP/TVG에서 문제가 발생하여 기체가 파괴되는 경우 별도의 조치를 취할 수 있는 방안을 마련하여 관련 부서와 협의하고 있다.			
(0)4) Function	기능	그룹	그룹	
(0)4) Configuration	구성	그룹	그룹	
(0)4) Results of Risk Reduction	(0)4)1 Severity	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High		
	(0)4)2 Likelihood	<input type="checkbox"/> Low <input type="checkbox"/> Medium <input type="checkbox"/> High		
	(0)4)3 Risk Index			
	(0)4)4 Value of RFA			
(0)5) Records				
(0)6) Date of Risk Reduction Plan				

Fig. 4 Risk Report