

우주발사체 개발사업에서 신뢰성공학의 시스템엔지니어링 인터페이스

System Engineering Interfaces of Reliability Engineering in Development of Launch Vehicle

신명호*, 조상연, 조미옥, 오승협, 정의승 (한국항공우주연구원)

1. 서 론

1760년의 산업혁명 이후 기하급수적인 기술 발전으로 인해 최근에 와서는 기술적으로 복잡하고 부가가치 높은 시스템이 사회적으로 강하게 요구되고 있다. 개발 조직은 개발하려는 시스템의 기술적 복잡성과 더불어 다양한 고객의 요구, 시스템 수명 단축 등의 시스템 개발 환경에 의해 사업 성공에 대한 많은 위험에 처해있다.

시스템 개발사업은 정해진 예산과 기간 내에 고객의 요구를 충족하는 시스템을 개발하고 인도하는 것이다. 따라서 개발사업의 성공은 비용, 일정, 품질이 모두가 기대를 만족하거나 그 이상이 되어야 한다. 과거 많은 시스템 개발사업이 수행되었으나 성공한 사례보다 실패한 경우가 더욱 많다. 국제시스템공학회(INCOSE)의 보고서와 미국에너지부(DOE)의 보고서에 의하면 미국에서 수행된 전체 개발사업의 16%만이 성공하였다고 보고하였다. 또한 일반적으로 산업계에서 수행하는 제품 개발사업의 성공률은 50% 미만이다. 국내에서 수행된 많은 개발사업의 경우도 미국의 경우와 크게 다르지 않다[1].

특히 대형 복합 시스템 개발사업은 사업 성공에 대한 불확실성이 매우 높다. 이러한 불확실한 시스템 개발사업에 영향을 줄 수 있는 모든 잠재적 위험을 사전 식별하고 식별된 위험에 대한 처리 계획을 수립 및 실행하여 사업 전반에 대한 위험수준을 최소화함으로써 개발사업의 성공 가능성을 높여야 한다. 이러한 활동을 위험관리라고 한다. 따라서 위험관리는 대형 복합 시스템 개발사업의 성공적 추진에 필수적이라 할 수 있다. 위험관리 활동은 개발사업 수행 초기부터 추진함으로써 그 효과를 극대화 할 수 있으므로 반드시 개발사업 초기부터 적용해야 한다.

본 연구는 전형적인 대형 복합 시스템 개발사업으로써 한국항공우주연구원에서 수행하고 있는 한국형 소형위성 발사체(KSLV-I; Korea Space Launch Vehicle-I) 사업에 적합한 위험관리 프로세스를 제안하고 적용하였다. 또한 본 연구는 제안한 위험관리 프로세스를 모델기반 시스템공학(MBSE; Model Based Systems Engineering) 소프트웨어 상에 구현하였다.

2. KSLV-I 사업의 위험관리 필요성

한국형 소형위성 발사체(KSLV-I) 사업은 국가우주

개발 중장기 계획의 일환으로 과학기술부의 지원 하에 한국항공우주연구원이 개발을 담당하고 있다. KSLV-I 사업을 통해 2007년 100kg급 과학위성을 지구저궤도에 투입시킬 수 있는 발사체 기술을 확보하고, KSLV-II 사업을 통해 1.5톤급 지구저궤도 소형 실용위성용 발사체 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있다[2].

현재 수행하고 있는 KSLV-I 사업에는 우주발사체 개발에 대한 경험 부족, 해외 선진기술 이전의 제약 존재, 국내에서 입증되지 않은 첨단 기술의 적용, 여러 형태의 다양한 기술적 인터페이스 내재 등으로 인해 많은 위험이 잠재되어 있다. 따라서 위험관리는 KSLV-I 사업의 성공적인 추진을 위해 필수적으로 수행되어야 한다.

3. KSLV-I 사업의 위험관리 프로세스

위험관리는 일반적으로 개발사업의 수명주기 동안 성능, 비용, 일정에 악영향을 줄 것으로 예상되는 위험을 식별, 분석, 처리계획, 감시 및 의사소통하는 모든 활동을 포함한다[3]. 본 연구는 일반적인 위험관리 프로세스를 KSLV-I 사업에 맞게 적용 조정하였고 표 1은 본 연구가 제안한 위험관리 프로세스를 보여준다.

표 1. 위험관리 프로세스

활 동	업 무	수행주체	산출물
위험 식별	• KSLV-I 개발 과정에서 발생이 예상되는 위험을 식별하여 위험 내역을 작성한다.	• 모든 연구원	위험관리내역서
위험 분석	• 식별된 위험 내역을 분석하여 위험의 타당성을 결정할 후 위험의 심각도와 발생확률을 결정한다.	• 해당 연구원 • 위험관리팀	위험관리내역서
위험 등급화	• 각 위험의 심각도와 발생확률을 곱해 위험지수를 구하고 위험등급을 결정한다.	• 위험관리팀	위험 목록
위험완화계획 수립	• 식별된 위험을 제거하거나 경감할 수 있는 위험완화계획을 수립한다.	• 해당 연구원	위험관리내역서
위험대처계획 수립	• 1등급의 위험에 대해서는 위험대처계획을 수립하고 계획된 위험대처계획의 실행조건을 식별한다.	• 해당 연구원	위험관리내역서
위험완화계획 수행	• 위험완화계획을 실행한다.	• 해당 연구원	위험관리내역서
위험 감시	• 주기적 또는 어떤 사건이 발생하였을 때마다 식별된 위험의 현황을 수집, 분석하여, 보고한다.	• 위험관리팀	위험 목록
위험대처계획 수행	• 1등급 위험 발생시 위험대처계획 실행조건을 만족하면 위험대처계획을 실행한다.	• 해당 연구원	위험관리내역서
위험관리 종결	• 식별된 위험에 대하여 위험완화활동을 수행하여 나온 결과를 분석하여 최종적으로 종결한다.	• 위험관리팀	위험관리보고서

위험관리 프로세스를 개발사업 조직에 적용하기 위해서는 적절한 위험관리 조직의 구성과 책임과 권한의 부여가 필요하다. 현재 KSLV-I 사업단은 개별 기술개발그룹과 Working Group, SEIT(Systems Engineering, Integration and Test) IPT(Integrated Product Team)와 시스템 IPT로 구성되어 있다. 본 연구는 이러한 조직 구조를 고려하여 본 연구가 제안한 프로세스가 수행될 수 있도록 그림 2와 같이 제안하였다. 먼저 사업단 내 조직들 모두 위험을 식별하고, 시스템 IPT는 식별된 위험을 분석하는 활동을 수행하도록 한다. 즉 시스템 IPT가 위험관리팀의 역할을 수행한다. 이는 제안된 위험관리 프로세스를 전담하여 수행하는 별도의 조직이 필요하지만 별도의 위험관리팀 구성으로 초래되는 조직상의 혼돈을 막고, 시스템 IPT의 의장인 사업책임자가 위험관리 책임자를 겸하게 함으로써 위험관리 수행의 효율성을 높이기 위함이다. 다만 위험관리담당자를 지정하여 사업책임자가 위험관리를 통하여 의사결정하는 활동을 지원하도록 하였다.

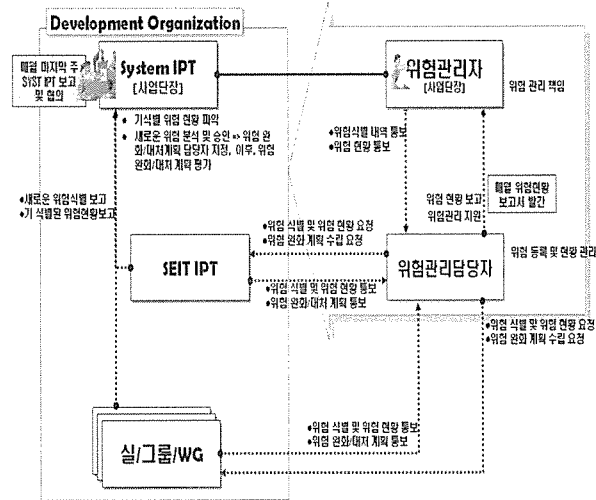


그림 2. 위험관리 수행조직과 역할

본 연구는 제안한 위험관리 프로세스에서 제시되는 모든 위험 관련 정보를 그림 3의 KSLV-I 위험관리내역서에 기록되도록 하였다. 초기 위험식별자는 그림의 ①번 부분에 위험 내역과 식별자 관점에서 위험의 심각도와 발생확률을 결정하고 위험등급을 구분하여 기록한다. 위험의 심각도와 발생확률의 기준은 표 2를 고려하여 결정한다. 위험 심각도의 경우 기술, 비용 및 일정 영향 중 최악의 경우를 반영하는 것을 원칙으로 한다. 하지만 반드시 이 기준표만을 고려하여 결정하지 않는다. 위험등급은 그림 3의 위험분석 부분에 제시된 위험등급행렬을 기준으로 결정한다. 이후 위험관리팀인 시스템 IPT는 그림의 ②번 부분에 사업단 관점에서 위험을 분석하여 위험관리 대상 여부를 결정하고 각 위험의 등급을 최종 결정한다. 더불어 위험의 완화계획 수립 및 이의 수행 활동을 수행할 위험 수행담당자를 결정한다. 지정된 위험 수행 담당자는 그림의 ③번에 위험 완화계획을 수립하여 위험관리내역서의 위험완화계획 부분에 기록하여야 한다. 위험 수행담당자는 위험전략을 복합적으로 사용할 수 있다. 위

험관리담당자는 위험관리자가 전체적인 위험의 현황을 파악할 수 있도록 식별된 위험을 등록하고 위험 현황을 감시하여 매월 위험관리자에게 보고한다.

KSLV-I 위험관리내역서																													
① 위험번호	소속	EMG	작성자	종결 등	작성일자	2004. 8. 10																							
② 위험 WBS/CI	WBS / XXXXX		위험구분	[사업, 계획, 기술, 기타, 미결정]																									
제목	KSLV-1XXXXXXXXXXXX 부제																												
③ 위험식별자/발 위험 내용 ④ 발생 및 저재분석	XXXXXXXXXXXX 부정적인 영향이 발생될 수 있다.																												
위험내용	XXXXXXXXXXXX 부정적인 영향이 발생될 수 있다.																												
일정지연	3M	위험승인상태	제안, 검토, 승인, 미결, 반려, 종료																										
위험분석	심각도	0.9	위험등급	2																									
	발생확률	0.1		<table border="1"> <tr> <td>발생확률</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>위험지수(심각도×발생확률)</td> <td>0.09</td> <td>0.18</td> <td>0.27</td> <td>0.36</td> <td>0.45</td> <td>0.54</td> <td>0.63</td> <td>0.72</td> <td>0.81</td> </tr> </table>						발생확률	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	위험지수(심각도×발생확률)	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81
	발생확률	0.1		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9																		
위험지수(심각도×발생확률)	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81																				
위험지수(심각도×발생확률)	0.09																												
⑤ 위험처리담당자/처리 방안 작성 및 수행	<ul style="list-style-type: none"> 위험 수행/계획 전략 XXXXXX 정책 검토 및 수립 XXXXXX 정책 구현 XXXXXX 인식 제고 및 교육 실시 																												
위험 완화계획	완화계획상태: 미제안, [제안], 승인, 미결, 반려																												
시작일자	2004. 8. 16	완료일자		담당자		EMG/기청수																							
위험 완화계획 수행	<ul style="list-style-type: none"> 2004. 8. 17 XXXXXX 정책(안) 수립 XXXXXX 교육 실시나 교육 																												
위험 완화수행상태	미수행, [수행], 완료(위험제거, 할당된 수준으로), 미완(위험상준)																												
위험 대처 계획	N/A																												
대처수행상태	(계획)[미제안], 제안, 승인, 미결, 반려(수행)미수행, 수행, 완료, 미완																												

그림 3. 위험관리내역서

표 2. 위험 심각도 및 확률 기준

심각도	기술 영향	비용 영향	일정 영향
0.1 하	극미하거나 중요하지 않은 결과	예산의 초과는 없으나 일부 일정 전환	사업에 무시할만한 영향. 가능한 일정 여유를 사용해 약간의 개발 일정 변경 보정.
0.3 중하	기술 성능의 약간 감소	예산의 1~3% 초과	1달이하의 일정 지연. 마일드스톤 상의 일부 조정 필요
0.5 중	기술 성능의 주요한 감소	예산의 5~20% 초과	1달에서 3달이하의 격은 일정 지연
0.7 중상	기술 성능의 심각한 저하	예산의 20~50% 초과	3달을 초과하는 일정 지연
0.9 상	기술적 목표 달성 실패	예산의 50% 초과	마일드스톤에 영향을 주는 상당한 일정 지연

발생확률	하	중하	중상	상	위험발생
	0 < P ≤ 10%	10 < P ≤ 40%	40 < P ≤ 90%	90 < P < 100%	100%

4. 위험관리와 시스템공학의 통합 구현

4.1 통합의 필요성

시스템 개발사업에서 시스템공학은 효과적이고 효율적인 설계 및 관리의 방법론으로 인정받고 있다. 사업기간 동안 시스템공학 프로세스에 의해 개발 시스템의 요구조건(Requirements) 및 기능(Functions), 시스템 아키텍처, PBS (Product Breakdown Structure)와 WBS (Work Breakdown Structure)가 체계적으로 설계 또는 계획된다[6]. 이러한 산출물들은 전체 사업의

성능, 비용, 일정에 영향을 주는 잠재 위험을 식별하는 토대가 된다. 특히, WBS는 개발사업을 완료하는 데 필요한 여러 업무들을 PBS를 중심으로 계층구조화시켜 추진하려는 기법이다. 모든 사업적 위험을 식별하는 방법으로써 WBS의 각 요소를 조사하여 위험을 식별하는 것이 매우 중요하다. 따라서 위험관리는 시스템공학과 사업 기간 동안 통합되어 수행되어야 한다.

4.2 정보모델 설계 및 구현

본 연구는 그림 4와 같은 시스템공학과 위험관리를 통합할 수 있는 정보모델을 설계하였다.

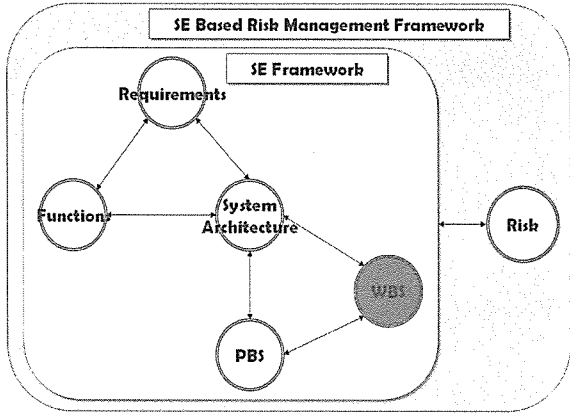


그림 4. 통합 정보모델

통합 정보모델을 MBSE 소프트웨어인 Cradle에 구현하기 위해 이 소프트웨어가 제공하는 기존 데이터 스키마에 KSLV-I 사업에 필요한 데이터를 표현하도록 확장하였다[7]. 본 연구에서는 WBS 개체형태를 새로 추가하였고 기존 Risk 개체형태의 속성을 추가하였

으며 이들 개체형태와 기존 개체형태간의 관계를 재설정하였다. 표 3은 Risk 개체형태와 WBS 개체형태의 추가 속성을 표현한다.

표 3. Risk 및 WBS 개체형태의 속성

개체형태	속성	설명
Risk	Originator	식별자
	Date Identified	식별일자
	WBS/CI	출처
	Risk Type	위험구분
	Item Status	위험 승인
	Impact	심각도
	Probability	발생확률
	Risk Index	위험지수(심각도 X 발생확률)
	Risk Level	위험등급(1등급, 2등급, 3등급)
WBS	WBS Purpose	목적
	WBS_Related WBS	관련 WBS 항목
	WBS_Deliverables	산출물
	WBS_ID	영문 ID
	Duration	기간
	Start Date	시작일자
	End Date	완료일자
	Responsible Team	담당부서

4.3 적용 결과

본 연구는 제안한 위험관리 프로세스를 KSLV-I 사업에 본격적으로 적용하기 이전 사전 검토를 위해 시범 적용하였다. 현재 KSLV-I 사업은 시스템 설계 단계이다. 사업 초기 모든 잠재 위험을 식별하기 위해 개발 초기부터 현재까지의 SEIT IPT 회의록을 검토하여 41개의 위험 대상을 도출하였고 위험관리팀에서 이를 분석하여 이중 7개를 위험으로 식별하였다. 또한 41개의 위험 대상 중 24개는 이미 위험이 발생되어 문제점으로 식별하였다. 식별된 위험들을 개발사업 기간

ID/WBS	Name	영문 명	업무부서	입력자	기간	시작일자	완료일자	Description	산출물	관련 WBS 항목
1	발사차	Launch Vehicle	KSLV	이준환	1월	2002-11-11 8:00	2002-11-11 17:00			
2	통합 조립 및 시험	Integration, assembly and test	GIS	이준환	1월	2002-11-11 8:00	2002-11-11 17:00			
3	소프트웨어	Software	GIS	이준환	1월	2002-11-11 8:00	2002-11-11 17:00			
4	시험	Test Stage	GIS	이준환	1월	2002-11-11 8:00	2002-11-11 17:00			
5	통합 조립 및 시험	Integration, Assembly and Test	GIS	이준환	1월	2002-11-11 8:00	2002-11-11 17:00			
6	인명장부 조립 및 시험	Interstage Section Assembly, Test Stage	GIS	이준환	1월	2002-11-11 8:00	2002-11-11 17:00			

그림 5. WBS 입력 사례

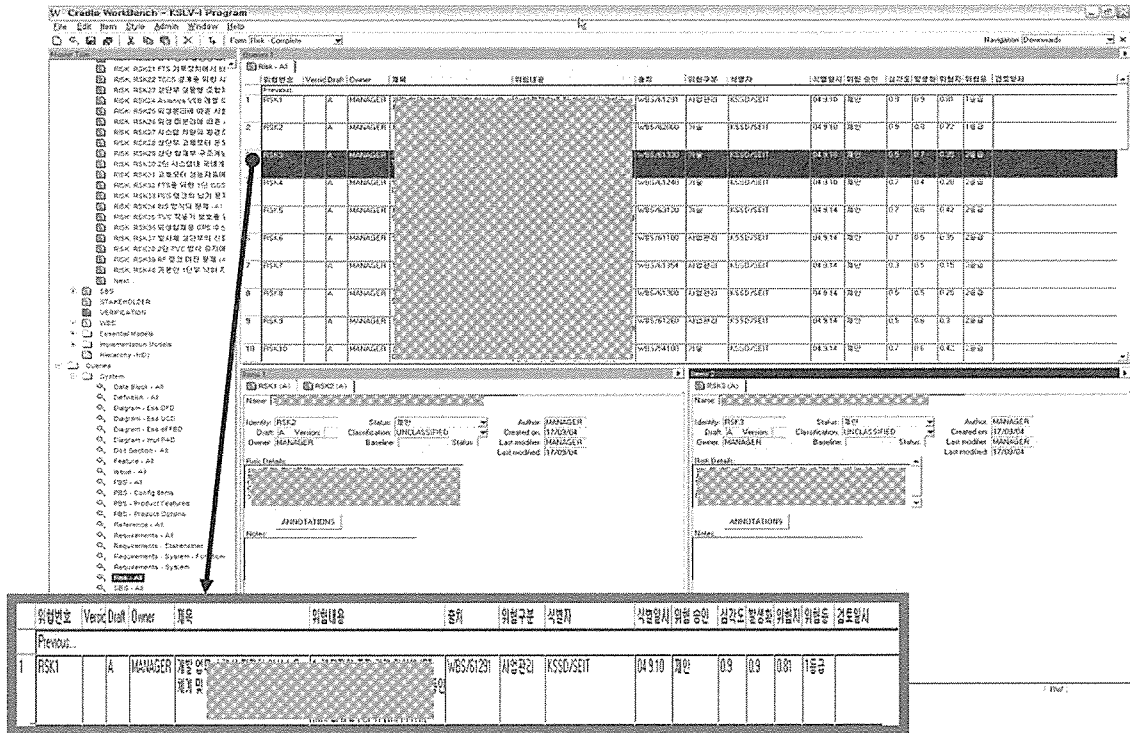


그림 6. Risk 입력 사례

동안 지속적으로 관리할 수 있도록 MBSE 소프트웨어인 Cradle에 DB화 하였다. 그림 5는 KSLV-I 사업의 WBS를 MBSE 소프트웨어인 Cradle에 입력한 예를 보여주고 그림 6은 식별된 위험이 입력된 예를 보여준다.

5. 결 론

위험관리는 대형 복합 시스템 개발사업에 필수적인 기술관리 활동이다. 하지만 위험관리는 효과적으로 수행하기 매우 어려운 기술관리 활동이다. 본 연구는 첫째, KSLV-I 사업에 적합한 위험관리 프로세스를 제안하고 시범 적용하였다. 둘째, 본 연구는 MBSE 소프트웨어인 Cradle의 스키마를 확장하여 MBSE 소프트웨어 상에서 위험관리를 쉽게 수행할 수 있는 방안을 제시하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 지원하는 “소형위성 발사체 (KSLV-I) 사업”의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이다.

참고문헌

[1] 유일상, “개발 프로젝트 시스템의 기술관리 설계 모델”, 박사학위논문, 아주대학교, 2003.
 [2] 전영두, 정의승, 박정주, 조광래, “우주발사체 시스

템의 검증관리”, 제5회 우주발사체기술 심포지엄, 한국과학기술원, 대전, pp. 413- 417, 2004.

[3] DAU, Systems Engineering Fundamentals, 2001.
 [4] Helm, J., “Teaching Continuous Risk Management Using A Requirement Management Tools”, 14th Annual INCOSE Symposium, 2004.
 [5] EIA/IS 731, Systems Engineering Capability Model, 1996.
 [6] NASA NASA Systems Engineering Handbook SP-6105, 1995.
 [7] Structured Software Systems Limited, Cradle Toolset User Guide, 2005.