

技術論文

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2011.39.11.1077>

우리나라 우주개발사업에서 이해당사자(Stakeholder)의 기대조건

이창진*

Stakeholder's Expectations in the National Space Exploration Enterprise

Changjin Lee*

ABSTRACT

Various stakeholder's expectations and constraints are to be efficiently resolved into a program consensus prior to the beginning of its substantial design processes. This study focuses on the analysis of the stakeholder's expectations in determining the design requirements at the initial stage of space exploration programs including Naro launcher and currently on-going KSLV-II program. Naro program seems to unilaterally account for the government expectations of accelerating program phase speed without making any efforts to converge various expectations from related sectors. The planning of Naro launcher is also found lack of the concept of operations (ConOps), which is of critical importance by envisaging the operational applications of end products. Similarities are found in KSLV-II program regarding the lack of implementation for stakeholder's expectations. Moreover, the government plan for KSLV-II disclosed without considering all expectations and other comments. The increase in design conflicts and program uncertainties would be unavoidable, if the government plan for KSLV-II would be insisted. It is required to modify the government plan and to establish the ConOps with the convergence of stakeholder's expectations at this early stage of the program.

초 록

우주시스템 개발은 많은 이해당사자(stakeholder)의 다양한 기대조건(expectations)을 효율적으로 반영하여 개발 요구조건을 확정하는 것은 매우 중요하다. 나로호 개발에서 이해당사자의 기대조건의 반영여부를 분석하고 현재 진행 중인 한국형발사체 사업의 기획도 분석하였다. 나로호 개발은 조기 개발을 원하는 정부의 의지가 일방적으로 반영되었으며 연구기관, 대학교, 참여업체 등이 제시할 수 있는 기술적 제한요소, 활용가능성, 발전계획 등의 주제가 제외되었다. 또한 개발이 완료된 후에 발사체를 어떻게 운영할 것인가를 정의하는 운영개념(ConOps)도 확정되지 않았다. 한국형 우주발사체(KSLV-II)개발 기획도 정부와 항공우주연구원을 비롯한 이해당사자 기대조건을 함께 반영하고 기술적 제한조건과 비-기술적 요소들을 고려하는 과정이 부족했던 것으로 보인다. 한편 KSLV-II 사업의 최근 정부 개발 방안은 개발 목표의 불확실성과 이해당사자들의 의견 불일치 등이 예상되어 시급한 보완이 필요하며, 개발 초기에 설계 요건을 재검토하고 운영개념(ConOps)을 정립할 수 있는 방안이 요구된다.

Key Words : Space Exploration(우주개발), Stakeholder's expectation(이해당사자 기대조건), KSLV-I(나로호 발사체), KSLV-II(한국형 우주발사체), ConOps(운영개념)

† 2011년 7월 25일 접수 ~ 2011년 10월 19일 심사완료

* 정회원, 건국대학교 항공우주공학과
교신저자, E-mail : cjlee@konkuk.ac.kr
서울시 광진구 화양동 1번지

1. 우리나라 우주개발 현황

우리나라의 우주개발은 1996년 수립된 "우주개발중장기 기본계획"에 따라 본격적인 시작을 하였다. 2011년 현재 4기의 위성이(다목적실용위성 3호·3A호·5호, 과학기술위성 3호)개발 중에 있다. 특히 2010년 국내에서 개발한 정지궤도위성 천리안 위성이 성공적으로 발사되어 현재 기상, 해양 관측과 방송통신용으로 운영 중에 있다. 저궤도 위성 뿐 아니라 정지궤도를 개발할 수 있는 능력

도 갖추게 되었다. 표 1은 위성개발의 성과를 요약하였다.

한편 발사체는 과학로켓 및 우주발사체 개발을 성공적으로 수행하였으며 고체추진제를 사용하는 1단형 과학로켓(KSR-I, '93), 2단형 중형과학로켓(KSR-II, '98)개발·발사하였다. 2002년에는 액체추진제의 과학로켓 KSR-III를 개발하여 발사하였으며 러시아와 국제협력을 통해 100kg급 소형위성을 지구 저궤도에 진입시킬 수 있는 나로호(KSLV-I)를 개발하여 2009년 8월과 2010년 6월에 각각 발사하였다.

표 1. 우리나라 위성 개발성과 요약

구분	개발기간	궤도	중량	탑재체	임무	비고	
다목적실용위성	1호	1995~1999	685km	470kg	흑백 영상, 해양 관측	지상관측 해양관측, 과학관측	임무종료
	2호	1999~2006	685km	800kg	칼라 및 흑백 영상	지상관측	운영 중
	3호	2004~2010	685km	800kg	고해상도 카메라	지상관측	개발 중
	3A	2006~2013	450~890km	1ton	흑백 적외선	적외선 지구관측	개발 중
	5호	2005~2009	저궤도	1.4ton	영상레이더	전천후 지상관측	개발 중
과학기술위성	1호	1998~2003	800km, 태양동기궤도	106kg	원자외선분광기, 방사능영향 측정기, 고에너지입자검출기	우주환경측정	임무종료
	2호	2002~2009	300~1500km	99.2kg	레이저반사경	우주과학연구	개발완료
	3호	2006~2012	저궤도	150kg	적외선 영상시스템	선행기술시험 등	개발 중
천리안 (정지궤도 위성)	2003~2010	정지궤도	2.5ton	통신탑재체, 기상탑재체 해양탑재체	공공통신망구축 기상해양 관측	운영 중	

표 2. 우리나라 발사체 개발성과 요약

구분	로켓 종류					
과학로켓 KSR-I ('90~'93)	1단형 고체추진로켓					
단 분리형과학로켓 KSR-II ('93~'98)	2단형 고체추진로켓					
액체추진과학로켓 KSR-III('97~'03)	액체추진로켓					
소형위성 발사체 나로호 KSLV-I ('02~'09)	100kg급 위성 발사체 (1단: 액체, 2단: 고체)	길이(m)	6.7	11.1	14	33
		직경(m)	0.42	0.42	1	2.9
		무게(ton)	1.25	2	6	140
		비행거리(km)	101	124	79.5	2,750(1단)
		추력(tonf)	8.8	30.4	13	170

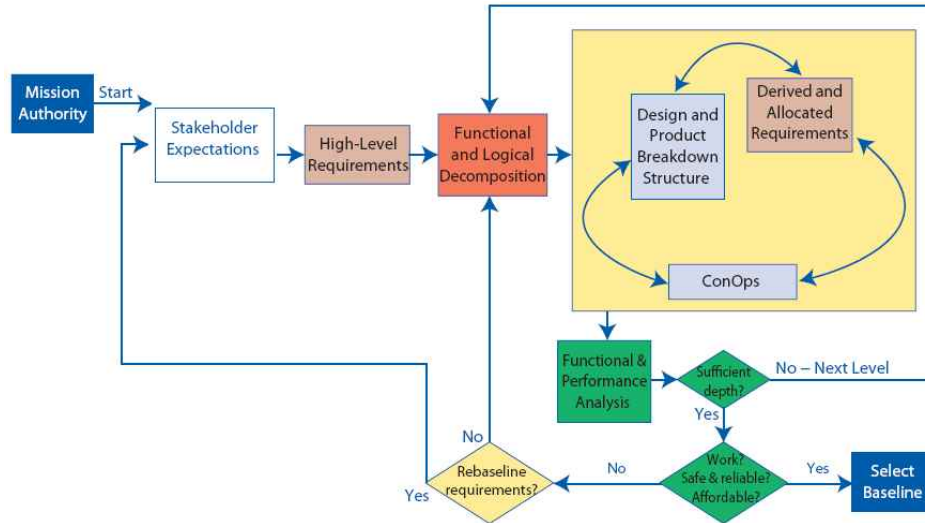


그림 1. 시스템 공학을 적용한 우주시스템 개발 도식도 [1]

II. 우주시스템 공학(space system engineering)에서 이해당사자 기대조건

시스템 공학은 주어진 요구 조건(requirements)을 해석하여 큰 틀(big picture)의 관점에서 원하는 시스템의 설계, 제작, 운영 등 제품의 전 주기(life cycle) 사용을 효율적으로 실천하도록 도와주는 학문이다. 특히 우주 발사체, 위성 등과 같이 거대하고 복잡한 시스템을 개발할 때는 아주 작은 요소부품뿐 아니라 다양한 부분조립품, 조립품, 시험설비, 그리고 소프트웨어 등을 동시에 개발하여야 하는 어려움이 있다. 이때 전체 시스템에 대한 요구조건, 설계 목표, 운영개념 등에 대한 확실한 이해가 없다면 각 설계 사이의 일관성 부족, 개발팀 사이의 갈등, 중복 개발, 또는 각 부품의 접합 과정에서 예기치 않은 일이 발생하여 상당한 예산 손실이나 일정 지연 등을 일으키게 된다. 따라서 큰 그림을 바탕으로 종합적이고 체계적이며 효율적인 우주시스템이 개발될 수 있도록 시스템 공학을 이용하는 것은 필수적이며 대부분의 우주개발 선진국 들은 시스템 공학적인 know-how를 적용하여 거대하고 복잡한 우주시스템을 개발하고 있다[1-2].

시스템 개발은 크게 나누면 두 단계로 구별된다. 첫 번째 단계는 국가 기관을 비롯한 연구기관, 학계 등의 다양한 이해당사자들의 기대조건(stakeholder's expectations)들과 기술적 제한요소, 국제협력, 예산 등의 비-기술적 요소들을 결합하여 개발 목표를 확정하고 최종 개발품의 운

영개념(concept of operations; ConOps)을 구성하는 단계이다. 두 번째 단계는 구체화된 개발목표와 제한요소들을 기술적으로 재구성(logical decomposition)하여 구체적인 기술적 개발 목표들로 변환하고 이를 실현하기 위하여 설계, 제작, 조립, 시험, 운영을 하는 단계이다. 그림 1은 시스템 공학적 관점에서 작성된 시스템 개발에 대한 개념도이다.

이해당사자의 기대조건(stakeholder's expectation)을 바탕으로 요구조건에 대한 분석은 개발 사업을 시작하는 데 가장 중요하게 다루어져야 한다. 그러나 기대조건은 대부분 애매한 개념이거나 추상적인 설명이며 기술적 실현 가능성이나, 기술 수준 등의 제한요소는 고려되지 않는다. 요구조건 분석(requirements analysis) 결과로부터 기술적 제한 요인들을 종합하여 “어떤 기능을 갖춘 시스템을 개발할 것인가”에 대한 기능 분석(functional analysis)을 하게 된다. 분석된 기능을 바탕으로 설계 단계(design synthesis)를 거치면서 시스템을 개발하기 위한 구체적인 기술적 요구조건으로 변화하게 된다. 이때 끊임없는 반복을 통하여 요구조건이나 기능 분석, 그리고 설계 단계 사이의 개발 일관성이 유지될 수 있도록 분석과 조정을 하게 되며 동시에 개발된 시스템이 어떤 기능을 갖추고 운영될 것인가를 나타내는 운영개념(ConOps; concept of operation)을 제시하게 된다. 만일 작성된 ConOps가 이해당사자의 기대조건과 일치하지 않는다면 반복적인 재분석과 설계 변경을 통하여 개발대상 시스템이 요구

조건을 만족할 수 있도록 하여야 한다.

일반시스템을 개발하려 하는 경우에는 고객이나 발주자 또는 최종 사용자 등이 개발 요구조건이나 기능 요구조건을 명확하게 제시하지만 우주시스템은 다양한 이해당사자가 관련된 국가적인 개발 사업이며 그들의 기대조건이 다양하고 스펙트럼이 너무 넓어서 개발 주체가 어떤 조건을 선택하느냐에 따라 전혀 다른 특징을 갖는 우주시스템이 개발 될 수 있다.

이해당사자(stakeholder)란 목적을 달성하기 위하여 진행되는 개발 사업에 영향을 미치거나 혹은 영향을 받는 다양한 집단 즉, 사람, 기관, 기업 등의 모든 주체를 일컫는 말이다[3]. 이해당사자는 개발 사업에 필요한 예산, 기술, 인력 등을 지원하는 주체이며 궁극적으로는 모든 개발행위를 직접 또는 간접적으로 관장한다. 예를 들어 지난 해 발사하였던 우주발사체 나로호를 개발하는 과정에서 직접 또는 간접적으로 관계되는 이해당사자를 열거한다면 다음과 같다.

- 정부기관: 국회, 청와대, 교육과학기술부, 기획재정부 등
- 연구기관: 항공우주연구원, 천문연구원, 카이스트 인공위성 센터, 한국연구재단 등
- 참여기업: 나로호 개발에 참여했던 모든 기업
- 대학교: 각 대학교 항공우주 관련학과 교수
- 언론기관: 각 신문-방송사 과학담당기자, 과학잡지 전문기자 등

나로호 개발에 대한 이해당사자의 기대조건을 가정하여 보자. 정부의 기대조건은 국가적인 위상을 높일 수 있고 실용위성 발사가 가능한 발사체를 확보하는 것이라고 할 수 있다. 연구기관은 우주과학 연구를 실질적으로 증진시킬 수 있는 위성을 확보하고 궤도에 진입시키는 연구 환경의 발전적 변화를 기대를 하였을 것이다. 또한 대학교는 기초연구에 대한 지원이 확대되어 지속적인 연구 환경이 조성되는 것과 배출된 인력이 안정적으로 일할 수 있는 일자리가 더 많이 창출되는 것을 기대한다. 참여기업은 안정적인 투자가 이루어져 예측 가능한 인력운영과 자원 배분으로 적절한 이윤을 확보하며 기업의 기술력과 대외적인 이미지 제고에 기여할 수 있기를 기대한다.

이처럼 이해당사자의 기대조건들은 매우 다양하며 그 중요도가 서로 다르기 때문에 이를 모두 수용하여 최종적인 개발 요구조건으로 수렴하기란 매우 어려운 일이므로 적절하고 합리적인 방법을 사용하여 이해당사자의 기대조건을 도출하

는 과정이 필요하다. 그러나 우주개발 역사가 일천한 우리는 이해당사자의 기대조건을 체계적이고 합리적인 방법으로 수렴하기 보다는 공청회나 간담회 같은 일방적인 의견 전달방식을 이용하여 형식적인 의견 수렴과정을 거치고 있다.

나로호 개발은 러시아가 개발한 1단 액체 엔진을 사용하고 상단 고체 로켓은 우리가 독자적으로 개발하여 조립하는 방식으로 진행되었다. 지난 2년 동안 2번 발사된 나로호 발사가 모두 실패하였고 그 원인에 대한 분석이 러시아와 우리나라 사이에 현재 진행되고 있다. 한편, 나로호 발사의 실패원인과는 별도로 아직도 나로호 개발 사업 자체에 대한 근본적인 의문을 제기하는 의견이 있다. 이러한 의견을 정리하면

“1단 액체엔진에 대한 접근이 원천적으로 불가능한 상태에서 개발한 나로호를 우리가 개발한 우주발사체라 할 수 있는가?” 또한 “1차 발사에서 위성을 궤도에 진입시키지 못한 것은 명백한 발사 실패임에도 불구하고 절반의 성공이라고 말하는 것이 합당한가?”

등으로 요약할 수 있다. 이러한 의문에 대한 논리적인 답은 나로호 개발 사업을 시작할 때 이해당사자들의 요구조건이 무엇이었나를 살펴보면 명확하게 얻을 수 있을 것으로 보인다[5].

본 논문에서는 나로호 개발에서 이해당사자의 기대조건이 어떻게 반영되었는지를 분석하고 현재 진행 중에 있는 한국형발사체 사업의 기획내용도 분석하여 이해당사자의 요구조건이 어떻게 반영되었는지 확인하는 것을 목표로 하였다. 동시에 앞으로 진행될 다양한 우주개발사업을 효율적으로 추진하기 위하여 기획단계에서 이해당사자의 요구조건을 합리적으로 반영할 수 있는 방법을 모색하였다.

III. 나로호 개발 배경과 요구조건

1998년 8월 말, 갑자기 이루어진 북한의 대포동 미사일 발사는 국내외에 걸쳐 상당한 충격을 주었다. 이 당시 우리나라는 1997년부터 2003년까지 액체추진과학로켓(KSR-III)개발 사업을 진행하고 있었다. KSR-III는 위성을 탑재하기 위한 발사체보다는 액체엔진의 핵심 기술을 독자적으로 확보하기 위하여 진행된 과학 관측용 로켓이었다. 따라서 북한의 미사일 개발에 적절하게 대응하고 동시에 우주발사체의 핵심기술을 얻을 수

있는 방안을 모색하였던 우리나라는 KSR-III를 개발하면서 발전시킬 것인지 아니면 새로운 고성능 발사체를 확보할 것인지 판단할 필요가 있었다.

나로호 개발은 이러한 배경에서부터 시작되었으며, 2000년 7월 과학기술부가 실시한 KSR-III 개발 사업에 대한 실무점검 결과에서는 기존의 발사체 개발 기본계획을 계속 유지한다면 터보펌프를 사용하는 고성능 액체추진로켓의 개발은 2010년 이후에나 가능한 것으로 판단하였다. 또한 기존의 “우주개발 중장기 기본계획”에서 확정된 100kg급 위성 발사체의 개발을 조기에 실행하려면 기본계획의 수정이 필요함을 확인하였다. 따라서 기본계획을 수정 보완하여 KSR-III 후속 사업으로 새로운 우주발사체(KSLV-I)를 조기에 확보하는 것을 목표로 하는 개발 사업을 기획, 확정하였다. 한편, 우리나라가 MTCR 협정에 가입한 이후에, 국제적인 개발환경이 우리에게 유리하게 변화되어 우주발사체 개발(KSLV-I)을 러시아와 공동으로 진행하게 되었다. 다음은 KSLV-I 개발기획 과정을 요약한 추진배경이다[5].

- 2000. 7 과학기술부 주관 하에 3단형 과학관측로켓 실무점검 실시
- 2000. 10 우주개발 중장기 기본계획 보완에 대한 공청회 개최
- 2000. 10 실무점검 결과 반영을 위한 저궤도 위성발사체(KSLV-I) 기획 착수 (위성발사능력 조기확보; 2010년→2005년)
- 2000. 12 우주개발 중장기 기본계획 수정보완
- 2001. 1 KSLV-I 개념설계 결과 보고
- 2001. 3 MTCR 정식 회원국으로 가입
- 2001. 5 KSLV-I 개념설계 검토 결과 보고

추진배경을 살펴보면 몇 가지 특이한 사항들을 발견할 수 있다. 나로호 개발은 원래 우주개발 기본계획에 있던 100kg 위성의 독자 발사능력 확보 목표를 조기에 달성하고자 하는 시도에서 출발하였다. 그 과정에서 이해당사자들의 다양한 기대조건을 적절하게 수렴하여 결정되어야 하는 개발 요구조건의 결정 과정이 대부분 생략되었고 단지 정부의 조기 개발 의지만이 개발 사업에 그대로 반영되었다는 점이다[2]. 여기서, 미국의 아폴로 프로그램을 예를 들어 이해당사자들의 다양한 요구조건이 어떻게 반영되어 개발 범위가 결정되었는지 살펴보자.

필요조건(Need): 소련의 군사적 위협에 대응하

는 수단 확보

- 목적(Goal): 미국 우주기술의 우월성 입증
- 목표(Objective): 우주정복을 위한 확고한 포석
- 임무(Mission): 인간을 안전하게 달로 보내고 귀환시키는 것
- 운영개념(ConOps): 다단계 로켓으로 우주인을 달궤도 진입, 달 착륙선을 이용하여 달 착륙, 임무 종료 후 우주인들은 달 궤도에 있는 귀환선과 랑데부, 지구로 귀환하여 바다에 착륙.
- 제한조건(Constraints): 10년 안에 모두 달성하여야 함. 미국에서 설계 제작되어야 함
- 참여기관(Authority): NASA가 모든 책임을 지고 진행함

나로호 개발을 위하여 작성된 기획보고서 또는 개발계획서에 개발 요구조건이 명확하게 제시된 적은 없지만 지금까지 알려진 사실을 바탕으로 나로호 개발에 반영된 이해당사자들의 기대조건을 유추하여 정리해보면 다음과 같다[5].

- 필요조건(Need): 미래사회의 변화에 적극적으로 대응하는 수단
- 목적(Goal): 대한민국의 우주개발 본격화 과시
- 목표(Objective): 100kg급 저궤도위성을 독자적으로 발사하기 위한 한국형 우주발사체 개발
- 임무(Mission): 100kg급의 소형 위성을 300km x 150mm 타원궤도 진입
- 운영개념(ConOps): ? (정리불가)
- 제한조건(Constraints): 2005년까지 모두 달성하여야 함. 1단은 러시아가 설계 제작하여 공급하기로 함
- 참여기관(Authority): 러시아는 1단에 관한 모든 책임을, 상단 고체로켓은 한국이 모든 책임을 지고 개발함

물론 위의 개발 요구조건들은 가정한 것이므로 상세히 논의하는 것은 한계가 있으나 요구조건은 다른 문서에 언급된 사실을 인용하여 재구성하였다. 서로 다른 두 가지 우주개발사업의 요구조건을 비교하여 볼 때 나로호의 요구조건은 구체성이나 현실성이 논리적으로 현저하게 부족하다는 것을 알 수 있다. 우선 100kg급 소형위성 발사체 확보를 목표로 하고 있으나 우리나라가 개발하는 주력 위성은 대부분 1000kg~1500kg 급이므로 이에 해당되지는 않는다. 오히려 과학기

술위성이 100kg 급이므로 이에 해당되지만 과학 기술위성의 개발은 표 1에서 보듯이 2012년에 예정된 3호 발사로 일단 종료되며 그 이후의 구체적인 개발계획은 아직 확정된 바 없다. 나로호 발사가 성공하여 우주발사체를 확보하여도 독자적인 활용처가 아직 확정되지 않은 셈이다. 따라서 100kg 급 소형위성을 독자 발사할 수 있는 발사체를 확보한다는 개발목표는 우리의 현실에 비추어 실용적인 목표는 아니다. 오히려 발사체에 관한 시스템 기술을 확보하고 발사 및 단 분리, 위성의 궤도 진입을 위한 핵심 기술의 확보를 개발 목표로 제시하는 것이 타당하였다. 그럼에도 불구하고 나로호 발사는 100kg 급 소형위성을 우리나라 영토에서 독자 발사할 수 있는 발사체를 확보하는 것을 개발 목표로 제시하고 있다[2].

우주개발 사업의 개발 목표는 이해당사자들의 기대조건을 적절하게 반영하고 수립하여 결정되어야 한다. 그러나 나로호 개발은 다양한 의견을 수립하고 조정하는 과정을 거쳐서 개발목표가 결정되기 보다는 정부의 의견이 대부분 반영되고 연구기관, 대학교, 참여업체 등이 제시할 수 있는 기술적인 제한요소, 활용가능성, 기술 발전계획 등의 요소는 제외된 것으로 보인다.

그 외에도 나로호 개발이 완료된 후에 발사체를 어떻게 운영할 것인가를 정의하는 운영개념(ConOps)은 여러 종류의 기획보고서와 개발 계획서를 참고하였으나 찾을 수 없었다. 여기서 운영개념이란 개발의 최종 생산물이 어떻게 운영될 것인가를 개념적으로 정의한 문장을 말한다. 기획단계나 개발계획을 수립할 때 운영개념이 논의되지 못한 것은 앞서 언급하였듯이 이해당사자들의 기대조건을 반영하는 과정이 생략된 채 개발계획이 결정되었기 때문이다. 만약 아폴로 프로그램의 운영개념을 참고하여 나로호 개발에 대한 운영개념을 가정한다면 다음과 같다.

“우주발사체를 이용하여 100kg급 과학위성을 #기 발사하여 600-800km 저궤도에 진입시켜 위성을 운영한다. 동시에 러시아에서 제공한 1단 액체 엔진을 대체할 수 있는 엔진을 독자 개발하고 부족한 추력은 3단 엔진을 개발하여 사용한다. 최종적으로는 실용급 위성을 저궤도에 진입시킬 수 있는 독자적인 우주 발사체를 #년 안에 확보한다.”로 가정할 수 있다.

물론 위에선 언급하고 있는 운영개념이 최적화된 것은 아니며 이와는 다른 운영개념도 생각해 볼 수 있다. 그러나 운영개념을 기획단계에서 고려하여 확정하였다면 나로호 1차 발사, 2차 발

사의 성공과 실패를 판단할 수 있는 확실한 근거를 제시할 수 있을 뿐 아니라 발사체 개발에 관한 방향도 일관성 있게 유지할 수 있었을 것이다. 개발이 현재 진행 중인 한국형 우주발사체개발(KSLV-II) 사업은 이러한 연장선상에서 이해되어야 한다. 즉, 나로호 개발의 운영개념이 제시되었다면 그 연장에서 한국형 발사체개발 사업의 운영개념도 보다 발전된 방향으로 제시될 수 있을 것이다.

IV. 한국형 우주발사체(KSLV-II) 개발사업 요구조건

한국형 우주발사체 개발사업(KSLV-II)은 제2차 과학기술기본계획(2008-2012)에서 언급되었듯이 “국가 안위 확보와 국제사회에 기여하는 연구개발 강화”라는 추진 전략과 “거대과학 기술 기반 구축” 등을 달성하기 위한 추진과제이다. KSLV-II 사업은 우주개발진흥법에서 매 10년마다 수립하도록 규정하고 있는 우주개발진흥기본계획에 의하여 소형위성발사체 개발사업(나로호 개발 사업)의 후속사업으로 진행되고 있으며, 중량 1.5톤급 실용위성을 고도 700km 전후의 태양 동기궤도에 진입시킬 수 있는 우주발사체를 개발하는 것이다. 사업기간은 2010년에서 2021년이며 2011년부터 본격적 개발이 시작되었다. 한국형발사체 개발이 완료되면 우리나라는 다목적 실용위성을 자력으로 발사할 수 있는 능력을 보유하여 위성의 자력 발사·활용 능력을 확보하게 된다[6-7].

그림 2는 KSLV-II 발사체 개발을 위한 기획연구 보고서에 언급된 단계별 업무를 논리 흐름으로 표현하고 있다[8]. 시스템공학 관점에서 작성되었으며 단계별 개발 업무를 잘 나타내고 있다. 개발 전 단계에는 발사체 개발 검토를 위하여 개념설정 및 검토 단계가 포함되어 있다. 이 부분은 발사체 개발을 시작하기 전에 반드시 거쳐야 하는 매우 중요한 단계로 주로 다양한 의견을 제시하는 이해당사자들의 기대조건을 바탕으로 기술적인 요구조건(requirements)으로 이끌어내는 단계이다. 또한 기술적 제한조건, 개발 환경적 요소 등을 반영하여 개발에 필요한 요구조건을 확정하며 최종 산출물인 발사체가 어떻게 운영될 것인지 규정하는 운영개념을 제시하는 단계이다.

KSLV-II 개발 기획보고서[6-8]를 비롯한 관련 문서에는 이해당사자의 기대조건을 언급하지 않

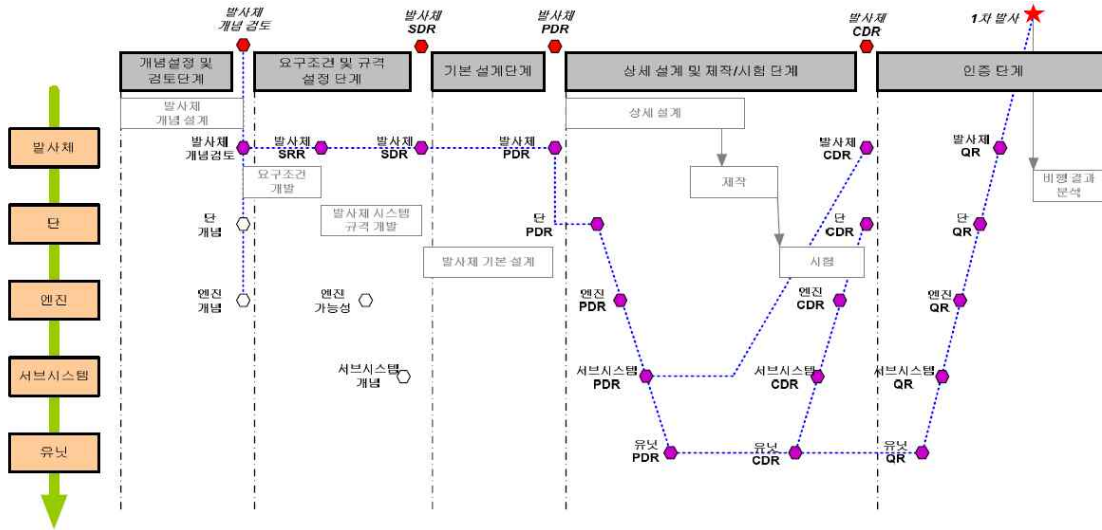


그림 2. KSLV-II 개발을 위한 단계별 업무 흐름도 [8]

있지만 정부의 기대조건은 우주개발진흥기본계획에 나와 있는 '발사체 기술개발자립'으로 국가 위상을 제고하여 우리나라가 세계 7위권의 우주 강국이 될 수 있는 기반을 구축하고, 향후에는 저궤도 실용 위성급 발사체의 상용 발사서비스 시장에 진입할 수 있도록 하는 것으로 볼 수 있다. 개발 주체인 항공우주연구원도 KSLV-II 개발 사업에 관하여 어떤 기대조건을 가지고 있는 지 구체적인 언급은 없으나 기획보고서에 언급되었듯이 중량 1.5톤급의 실용위성을 저궤도에 진입시킬 수 있는 능력을 갖춘 발사체를 독자 개발하는 것으로 가정할 수 있다.

이해당사자인 정부와 항공우주연구원의 기대조건을 반영하고 기술적 제한조건과 개발환경에 관한 요소들을 고려하여 KSLV-II 개발 요구조건(requirements)을 결정하여야 하지만 나로호개발사업과 흡사하게 이러한 과정은 생략된 것으로 보인다. 한국형발사체 개발사업 기획보고서에는 발사체의 임무와 시스템 요구조건에 대하여 자세히 언급되어 있다. 그 중에서 KSLV-II 각 단의 설계 요구조건은 다음과 같다[8].

- 국내 기술 수준으로 개발 및 시험 가능한 엔진 사용
- 단 구성 : 부스터가 없는 3단형 기본, 개발 대상 엔진종류 및 수를 최소화하는 구성
- 사용 추진제 : 액체산소/케로신
- 1단 엔진 : 1회 점화 가능한 터보펌프식, 진

공추력 75~80톤급 엔진

- 1단 구성 : 75~80톤급 엔진 4기를 조합하여 사용
- 2단 엔진 : 1단 엔진 노즐의 팽창비를 증가시켜 비추력 특성을 향상
- 2단 구성 : 75~80톤급 엔진을 1기 사용
- 3단 엔진 : 추력 10톤 이하의 가압식, 재점화 가능한 엔진
- 이륙 중량 : 200톤급, 이륙 시 추력은 260톤급

설계 요구조건은 개발 요구조건의 분석(requirements analysis), 시스템 기능 분석(functional analysis)을 바탕으로 설계 단계(design synthesis)를 거치면서 기술적으로 달성하여야 하는 구체적인 기술조건이다. 따라서 각 단이 갖추어야 하는 구체적 설계조건을 만족하는 발사체가 개발된다면 개념적으로 표현된 이해당사자의 기대조건도 만족시킬 수 있어야 한다. 그러나 각 단의 설계 요구조건을 만족하는 발사체를 개발하여도 이 발사체를 활용하여 이해당사자인 정부와 항공우주연구원의 기대조건을 만족시킬 수 있는가에 대한 논리적 인과 관계는 성립되지 않는다. 예를 들면, 실용위성 발사를 위한 발사체 확보 목표는 위성을 궤도에 진입시키는 것으로 실증되어야 한다. 그러나 어떤 위성을 대상으로 하고 있는 지 구체적 요구 조건은 나타나 있지 않다. 이와 연관되어 3단 엔진은 가압식, 재점화가 가능한 엔진으로 설정하였으나 발사대상 위성의 사양(specifications)이 불분명한 상태에서

3단 엔진의 성능이 설계 요구 조건으로 제시된 것이다. 2011년 2월에 실시된 KSLV-II의 SRR(system requirement review)에서는 다시 수정되어 터보펌프 식, 재점화 가능한 엔진으로 3단의 설계 요구조건 변경이 검토된 것으로 파악되었다.

실질적인 기술개발이 진행되기 전에 개념적으로 정리되어야 하는 이해당사자의 기대조건, 시스템 기능분석 등의 과정이 생략되었고 이를 바탕으로 작성된 발사체의 운영개념(ConOps)이 전혀 없는 상태에서는 설계 요구조건이 명확하게 결정되지 못하는 것이 당연하다. 특히 운영개념이 확립되었다면 발사 대상위성을 장착하고 궤도에 진입시키기 위한 구체적 기술 요구조건들이 제시되어야 하지만 기획보고서는 단지 발사체의 개발 조건만 언급하고 있다. 설계 요구 조건을 명확히 하고 개발을 일관성 있게 수행하기 위해서 반드시 이해당사자의 기대조건 분석, 기술 분석, 제한요소 분석 등을 포함한 의견 수렴이 이루어져야 하며 이를 바탕으로 기술적 설계 요구조건이 나올 수 있도록 보완이 이루어져야 한다. 아직도 한국형 우주발사체의 본격적인 설계가 이루어지지 않았으므로 이해당사자의 기대조건과 다양한 집단의 의견을 수렴하는 과정이 적극적으로 이루어져야 한다.

한편 KSLV-II 개발을 위한 2011년의 정부 개발 방안은 한국형발사체 개발 기획보고서의 개발 기획보다 더 많은 혼란을 야기할 수 있는 부분이 있어 커다란 우려가 된다. 정부의 개발 방안은 총 개발기간 10년을 3단계로 나누어 각 단계별로 다음과 같은 개발 목표를 제시하고 있다[9].

- 1단계 : 5~10톤급 액체엔진 개발 및 연소기 시험시설 구축
- 2단계 : 75톤급 액체엔진 개발 및 75톤급 발사체 시험발사
- 3단계 : 추진기관 종합시험 및 300톤급 한국형발사체 개발 및 발사

1단계 목표는 고고도용 3단 엔진의 개발과 시험설비 구축이며 2단계는 추력 75톤급 액체 엔진을 개발하여 비행시험을 위한 시험발사를 목표로 제시하고 있다. 이때 탑재체는 나노급 초소형 위성을 여러 개 동시에 탑재하여 궤도에 진입시키는 임무를 포함하고 있다. 3단계 목표는 실용급 위성을 발사할 수 있는 발사체 시스템의 종합시험과 발사로 이루어진다.

전술한 바와 같이 탑재 대상 위성에 대한 불

확실성과 발사체의 운영개념이 확정되지 않았으며 SRR이 완료된 시점에서도 3단 고고도용 엔진의 설계 요구 조건이 결정되지 않은 상태이다. 이런 상태에서 3단 엔진 개발을 초기단계의 개발 목표로 한다는 것은 개발의 실체가 없는 상태에서 발사체를 개발한다는 것이다. 또한 많은 전문가들이 동의하듯이 한국형발사체 개발에서 가장 핵심적인 부분은 75톤 추력의 액체엔진을 독자 개발하는 일이다. 75톤 추력의 액체엔진을 개발하는 것은 우리의 능력에 비추어 한계가 있는 부분이므로 개발 초기에서부터 집중적인 노력을 하여야 한다. 그럼에도 불구하고 정부의 안은 이러한 요소들을 배제한 채 고고도용 3단 엔진 개발을 1 단계 달성 목표로 하고 있어 개발의 불확실성을 가중시킬 뿐 아니라 성공적인 사업을 방해하는 요소로 판단된다.

정부의 개발 방안에서 2단계 개발 목표는 더 큰 부정적 요소를 포함하고 있다. 추력 75톤급 액체 엔진의 비행시험을 통한 시험 발사의 목적은 우리에게 부족한 고성능 액체 엔진 기술을 실증하는 것이다. 여기서는 비행시험을 통하여 문제점 여부를 파악하고 최종적인 기술 검증을 목표로 하는 단계이며 기술적인 불확실성이 아직도 존재하며 발사를 위한 최종적인 신뢰도를 얻지 못하였음을 의미한다. 이런 상황에서 나노위성을 탑재하여 발사한다는 것은 단계별 목적이 무엇인지 혼란스럽게 하는 부분이며 시스템 공학을 떠나서 이런 단계별 목표에 대한 타당성 여부는 좀 더 논의 될 여지가 많은 부분이다.

그 외에도 정부 안의 결정과정은 앞서 언급한 대로 항공우주연구원 등 다른 이해당사자의 기대조건이나 기술적인 제한조건을 고려하는 의견 수렴과정이 생략된 것으로 보인다. 따라서 정부의 개발 방안이 앞으로 수정, 보완 없이 계속 유지된다면 개발 목표의 불확실성과 다양한 종류의 이해당사자들의 의견 불일치가 나타날 수 있으며 이로 인하여 사업이 중대하게 지연되거나 차질을 일으킬 수 있다.

V. 요약 및 결론

우주시스템은 다양한 이해당사자가 관련된 국가적인 개발 사업이며 당사자들이 갖는 기대조건이 다양하고 스펙트럼이 너무 넓어서 개발 주체가 어떤 조건을 선택하느냐에 따라 전혀 다른 특징을 갖는 우주시스템이 개발 될 수 있다. 따라서 큰 틀(big picture)의 관점에서 각각의 의견을

수렴하고 기술적 제한요소와 예산, 국제협력 등의 비-기술적인 요소를 결합하여 종합적이고 체계적으로 우주시스템 개발이 이루어 질 수 있도록 시스템 공학을 이용하는 것은 필수적이다. 특히 기술적 설계 요구조건을 확정하기 위하여 이해당사자의 기대조건을 파악하고 기타 제한 요소를 고려하는 과정이 반드시 필요하다.

나로호 개발에서 이해당사자의 요구조건이 어떻게 반영되었는지를 분석하고 현재 진행 중에 있는 한국형발사체 사업의 기획연구도 분석하여 이해당사자의 요구조건이 어떻게 반영되었는지 확인하였다. 나로호 개발은 조기 개발을 원하는 정부의 의지가 일방적으로 반영되었으며 연구기관, 대학교, 참여업체 등이 제시할 수 있는 기술적인 제한요소, 활용가능성, 기술 발전계획 등의 다양한 주제는 제외된 것으로 보인다. 또한 나로호 개발이 완료된 후에 발사체를 어떻게 운영할 것인가를 정의하는 운영개념(ConOps)도 확정되지 못하였다.

한국형 우주발사체 개발 기획도 정부와 항공우주연구원 등의 이해당사자 기대조건을 반영하고 기술적 제한조건과 개발환경에 관한 비-기술적 요소들을 모두 고려하여 KSLV-II 개발 요구조건(requirements)을 결정하여야 하지만 나로호 개발과 흡사하게 이러한 과정은 생략된 것으로 보인다. 한편 KSLV-II 사업을 위한 정부의 최근 개발 방안을 살펴볼 때, 결정하는 과정에서 항공우주연구원등의 이해당사자 기대조건이나 기술적인 제한조건을 고려하는 의견 수렴이 이루어지지 않았기 때문에 개발과정에서 많은 어려움을 야기할 수 있다. 이러한 정부의 개발 방안이 수정 없이 계속 유지된다면 개발 목표의 불확실성과 이해당사자들의 의견 불일치가 나타날 가능성이 있으며 이로 인한 커다란 혼란을 초래할 수 있다.

한국형 우주발사체 개발 초기에 다양한 이해당사자의 기대조건을 합리적으로 반영할 수 있는 방법을 모색하여 현재 정립된 설계 요건을 재검토하는 것이 시급히 필요하다. 그 외에도 위성 개발과 같은 다양한 우주개발사업과 연계된 운영개념(ConOps)의 정립도 요구된다.

참고문헌

- 1) NASA System Engineering Handbook, NASA/SP-2007-6105, Rev.1, 2007
- 2) space system engineering website, <http://space.spacegrant.org/>
- 3) R. E. Freeman, Strategic Management: A stakeholder approach, Boston, Pitman Publishing, 1984.
- 4) E. S. Rebentisch, E. F. Crawley, G. Loureiro, J. Q. Dickmann, and S. N. Catanzaro, "Using Stakeholder Value Analysis to Build Exploration Sustainability." 1st Space Exploration Conference, AIAA-2005-2553, Orlando, Florida, 2005.
- 5) 홍창선, 한국형 저궤도위성발사체(KSLV-I) 개발을 위한 조사 분석연구, 한국과학기술원, 2001.
- 6) 박승오, 실용위성 발사체(KSLV-II) 개발사업을 위한 조사 분석연구, 한국과학기술원, 2006.
- 7) 한국형발사체(KSLV-II)개발사업, 2008년도 예비타당성조사보고서, 한국과학기술기획평가원, 2008.
- 8) 이창진, 한국형발사체(KSLV-II) 개발을 위한 2단계 상세기획연구, 한국연구재단, 2010.
- 9) 교육과학기술부 공고 제 2011-254호, 한국형발사체개발 (1단계) 사업단장공모, <http://www.nrf.re.kr/>