

시스템엔지니어링 강화를 위한 임무보증 Framework 연구

김광해^{1)*} 조철훈¹⁾ 고정환¹⁾ 정의승¹⁾

1) 한국항공우주연구원

A Study on the Framework of Mission Assurance for SE

Kwang Hae Kim,^{1)*} Chul hoon Cho¹⁾, Jeong Hwan Ko¹⁾, Eui Seung Chung¹⁾

1) *Korea Aerospace Research Institute*

Abstract : In recent years, the United States have been several major failures of launch. As a result of these failures, activity of mission assurance valued. Mission assurance is defined as the application of systems engineering process towards the goal of achieving mission success. Therefore, mission assurance perform independent technical assessments throughout the concept and requirements definition, design, development, production, test, deployment, and operations phases. Space system program was emphasized the importance of the system engineering for that required huge cost and long term development. For this reason, independent review and verification of mission assurance is essential. Mission assurance gives us confidence to proceed with launch and best opportunity for mission success. In this study, framework of mission assurance is proposed by foreign case analysis.

Key Words : System Engineering, Mission Assurance, Core Process(CP), Support Process(SP), Aerospace, Framework, KSLV-II

* 교신저자 : mosmai@kari.re.kr

* This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

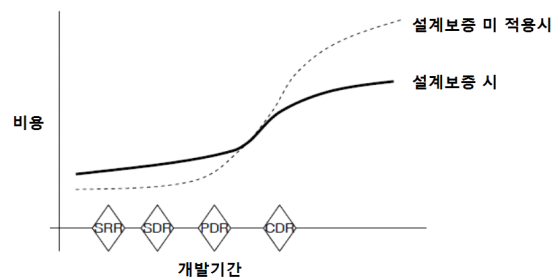
전 세계적으로 우주발사체 및 미사일 개발 기술을 보유한 국가에서는 연간 수차례에 걸쳐 상용 및 군사적인 목적으로 발사체가 발사되고 있다. 해외의 우주시스템 개발의 선두주자인 미국, 러시아, 유럽 연합에서는 1950년대부터 4,700번의 발사를 시도하였고 2004년까지 전 세계적으로 90% 수준의 발사 성공률을 보이고 있다. 그러나 끊임없는 기술 발전에도 불구하고 최근 발사 실패율이 증가하고 있는 추세이다.[5 appendix D.,8]

국내의 경우도 1990년 KSR-I을 시작으로 1997년 KSR-III를 발사하였으며 100kg급 소형위성 발사체 KSLV-I을 2013년 성공적으로 발사시켰다. 현재 국내 독자적인 기술로 한국형 발사체를 (KSLV-II) 개발 중에 있다. KSLV-II는 개념설계부터 시험평가를 거쳐 발사까지의 장기적인 개발 사이클로 많은 개발의 리스크를 가지고 있다. 이를 위해서는 체계적인 시스템 엔지니어링 프로세스 (System Engineering Process; SE)의 적용이 필수적이며 국내에서도 이미 항공분야의 경우 어느 정도 개발 경험으로 축적되어있다.

시스템 엔지니어링은 임무보증(Mission Assurance)을 달성하기 위해 필수적인 수단으로 임무보증은 시스템 엔지니어링의 모든 절차를 적용하여야 한다. 또한 시스템 엔지니어링은 임무보증의 중추적인 역할을 하여야 한다.

임무보증은 고객의 요구조건에 대해 성공적인 임무 (Mission)달성을 위해 개발 전순기간(Life-cycle) 동안 시스템 엔지니어링의 수단을 사용하여 독립적인 보증(Assurance)을 수행하는 분야이다.[2] 임무보증의 업무는 시스템 엔지니어링 프로세스에서 수행하는 업무 범위와 유사하며 다만 이를 독립적으로 검증하는 분야가 강화되었다. 임무보증은 해외 사례의 경우 주로 우주시스템 개발 분야에 적용된다. 이는 항공분야의 경우 시험비행을 통해 반복적인 검증이 가능한 것에 반하여 우주시스템 분야의 경우 막대한 예산과 일정이 투입되어 개발된 시스

템이 반복적인 시험발사를 통해 검증하기 어려운 것에 있다고 판단된다. 따라서 개발과정에 시스템 엔지니어링 프로세스를 강화하고 임무보증을 통하여 독립적인 검증으로 발사의 성공률을 높일 수 있다. 또한 임무보증을 수행함으로써 개발기간 대비 비용의 절감 효과 볼 수 있다는 것을 그림1의 설계 보증(Design Assurance) 적용 유무의 예시에서 보여주고 있다



[Figure 1] MA Effect of Development Period vs. Cost [7, Appendix F]

개발초기에는 임무보증을 위한 인력과 인프라가 투입되어 비용이 증가하는 추세이지만 기본설계가 확정됨에 따라 설계 보증 활동으로 상세설계에서의 설계 변경 및 요구조건 검증에 대한 리스크가 감소하여 상대적으로 비용이 감소하는 효과를 볼 수 있다. 이와 같이 임무보증 전체 활동 대한 개념도 동일하다고 판단된다.

한국형 발사체 개발 사업은 소형 위성발사체 (KSLV-I) 개발의 후속 사업으로 진행되고 있다. 또한 KSLV-I 사업 및 선행연구를 통해 습득한 기술로 핵심기술인 고추력 액체엔진의 개발 능력을 확보하여 독자적으로 개발하는 사업이다. 연구개발 목적은 1.5톤급 실용위성을 지구저궤도에 투입할 수 있는 3단형 발사체 개발 및 발사를 통한 우주 발사체 기술을 확보하는데 있다.

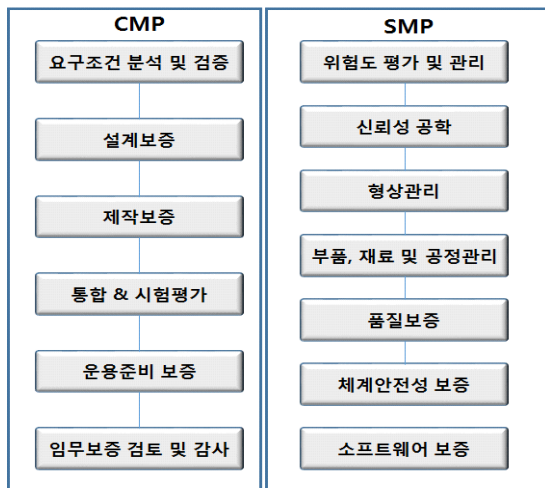
본 연구에서는 미 항공우주관제청 NASA에서 제시하는 System Engineering Handbook과 미국의 우주개발 프로그램의 기술적 지원과 임무보증을 수행하는 Aerospace Corporation사에서 제시하는 임무보증 업무 기준의 사례를 통해 한국형 발사체

사업에 임무보증 업무의 필요성과 앞으로의 방향을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 임무보증 Framework

임무보증은 시스템 엔지니어링 프로세스 활동의 일환으로 임무(Mission)의 성공 달성을 위하여 독립적인 입장에서 개념정의, 요구도 정의, 개발, 시험, 생산, 운용단계의 전순기간에 걸쳐 시스템 엔지니어링, 품질 및 관리의 응용분야중 하나로 임무보증의 Framework은 크게 Core Mission Assurance Process(이하 CMP)와 Support Mission Assurance Process(이하 SMP)로 구분할 수 있다. CMP는 임무성공을 위하여 독립적으로 수행하는 임무보증의 핵심적인 업무 프로세스이며 SMP는 검증·검토 기능(Function)의 일부분으로 수행하는 프로세스이다. 상기의 13개 MA Process에 대한 각각의 세부적인 내용은 아래와 같다. [1]

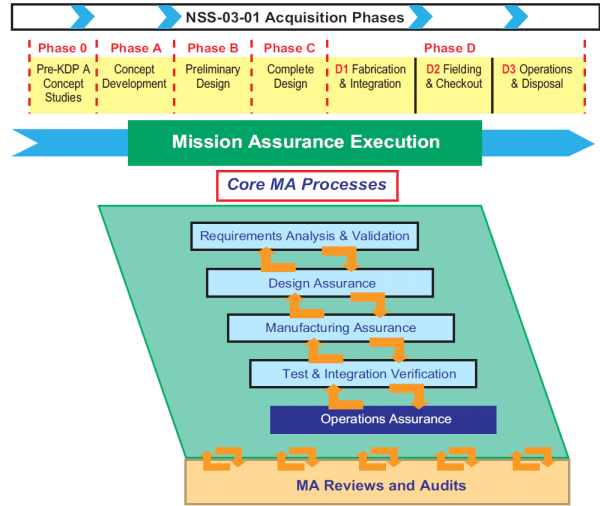


[Figure 2] MA Framework

2.2 Core MA Process (CMP)

CMP는 임무보증의 핵심적인 주요 업무로서 총6개의 Framework로 구성되어있다. 개발단계별로 요구되는 업무는 순차적으로 수행되며 이는 유기적으로 설계과정의 루프와 함께 진행된다.

시스템 획득 단계에 따른 CMP 업무는 그림3과 같다. [2]



[Figure 3] Framework of CMP

- 0~A: 임무/시스템 성능 목표, 요구사항 및 규격서의 정의가 구현가능하고 시험과 검증이 기술적으로 일정/비용을 고려하여 설정되었는지를 검토하는 과정
- A~C: 개발된 기본설계와 상세설계에 대해 요구사항과 규격서의 충족여부를 검증하고 확인하는 과정 (설계의 기능, 인터페이스, 성능요구사항뿐만 아니라 신뢰성, 가용성, 정비성, 안전성 및 보안성 측면에서도 검토되어야함)
- D1: 제작 및 조립과정으로 제작성, 소프트웨어, 조립 및 시험에 대해 품질과정을 검증하는 단계
- D2~D3: 시스템 단위 시험과 점검 및 운용되는 단계

핵심적 업무 중 개념설계를 통한 요구조건 정의부터 시작하여 검증까지 수행하는 업무로서 요구조건 분석 및 검증 (Requirement Analysis and Verification)이 있으며 이는 요구조건 완성도와 분석을 위한 기반을 검증하고 요구조건 검증 방법 및 결과 확인하기 위해 하기와 같은 업무를 수행한다.

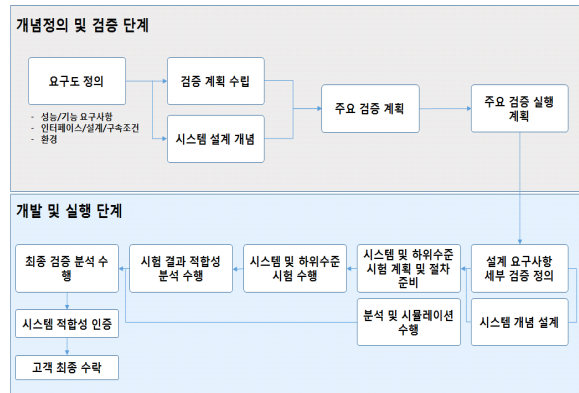
- 요구조건 추적성 독립적 평가
- 비용 및 일정 요소 평가

- 임무분석 검증
- 요구조건 검증 모델 및 시뮬레이션 평가

요구조건 분석(Requirement Analysis)의 목적은 사용자(고객)의 니즈에 대한 면밀한 분석을 바탕으로 최적의 요구사항으로 정립하는데 있다. 최적이란 비용 혹은 예산을 고려한 설계 (Design to Cost)와 같이 획득전략이 고려된 것을 의미한다. 요구도 분석은 아키텍처 개념, 모델, 시뮬레이션, 요구사항의 기능 및 성능, 순기비용(Life cycle cost), 일정과 리스크가 포함된 니즈로 변환된다. 시스템 요구사항의 기준은 정부기관, 설계 및 제작 과정, 설계통합 및 시험과정, 운용자들로부터 받은 피드백에 의해 반복적으로 조율되는 내/외부 인터페이스 요구사항을 포함한다.

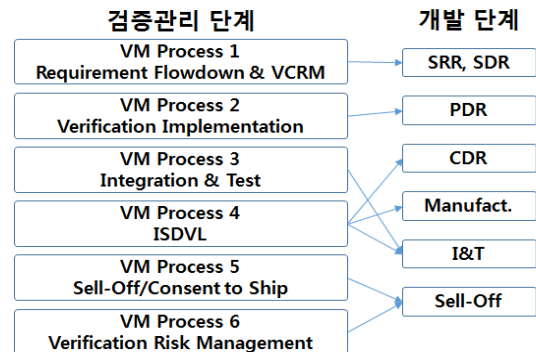
한국형 발사체 KSLV-II의 요구도 체계는 업무 분할구조(WBS) 수준별로 Mission, System, Segment, Element, Subsystem, Assembly, Subassembly로 Flow-down 되어있다. 최상위 요구조건인 사업 목표의 임무부터 시스템단위인 발사체, 지상시스템, 위성 등으로 분할되어 Element별로 1단, 2단 3단 및 탑재부의 Subsystem 수준인 구조, 추진, 엔진, 제어, 전자분야로 요구조건이 하향식 구조로 되어있다.

요구조건 검증(Requirement Verification)은 정의된 요구조건이 상위에서 하위수준으로 적절하게 할당되었는지 내용과 수준을 분석한 후 검증에 대한 계획 수립과 실행이 요구된다. 검증 단계는 그림 4와 같이 크게 개념정의와 개발 즉 설계단계로 구분할 수 있다.



[Figure 4] Verification Process

개념정의는 개념 및 기본설계 단계에 해당되어 성능/기능의 각각의 요구조건에 대하여 검증방법 명기하고 이에 따른 주요 검증 계획을 수립한다. 개발 초기에는 시험평가 기본계획 (TEMP)으로 결과물이 도출된다. 개발(설계) 단계에서는 계획된 기본계획을 보다 상세하게 실행할 수 있는 세부 시험평가 계획과 실질적인 시험평가 수행 및 최종 검증 결과 분석을 수행한다. 그림5은 개발단계의 검토회의 별로 검증단계를 구분한 것이다.[5]

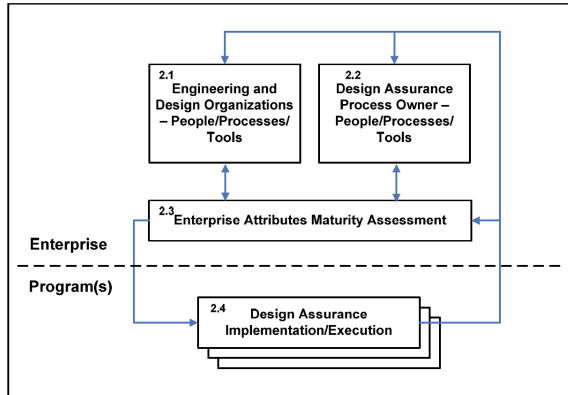


[Figure 5] Phase of Verification Management [5]

* ISDVL(Individual Specification Dedicated Verification Ledger)

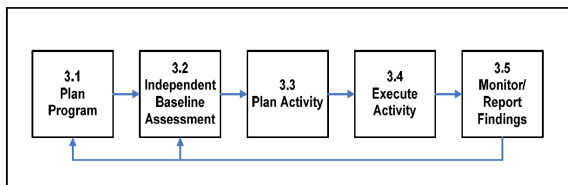
설계보증(Design Assurance) 업무는 Aerospace사의 보고서인 “Design Assurance Guide”를 통해 독립적인 활동 및 절차를 제시하고 있다. 설계 보증은 요구조건에 따라 의도한 기능이 설계에 반영되었는지를 평가하며 또한 제품 보증 및 제작과 시험을 통한 평가도 연계하여 수행한다. 설계보증의 세

부적인 Framework은 그림 6과 같다.



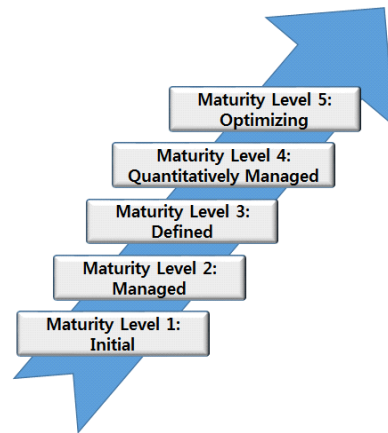
[Figure 6] Design Assurance Framework [1]

그림 6에서는 수행조직과 프로세스가 평가를 통해 성숙도를 높이고 설계보증을 실행하는 설계보증의 기능과 프로그램의 환경적인 인프라와 통합되는 것을 보여준다. 위와 같이 조직과 프로세스가 갖추어지면 그림 7과 같이 설계 보증에 대한 계획을 수립하고 독립적인 평가를 통해 계획된 활동을 통해 결과를 도출하고 지속적인 모니터링을 수행한다.



[Figure 7] Design Assurance Process [1]

설계보증은 개념설계부터 상세설계단계는 물론 시제작과 시험평가 단계에서 발생하는 설계 변경과정까지의 전 개발단계에 걸쳐 설계보증이 이루어지기 때문에 설계 단계별로 보증에 대한 성숙도를 달리 적용하여야 한다. 해외 사례(Aerospace Corporation)의 경우 5단계로 구분하여 설계 보증에 대한 성숙도를 높여가는 것 볼 수 있다.



[Figure 8] Design Assurance Process [3]

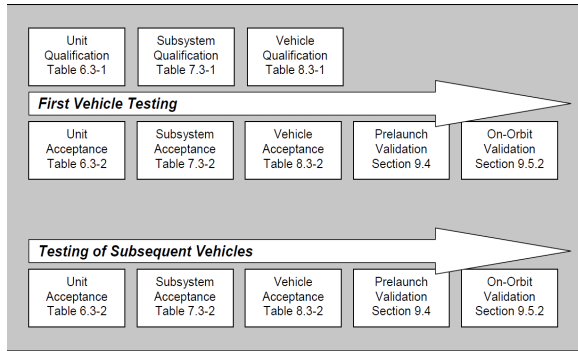
Mission Assurance Guide에서 제시한 내용에 따르면 CMP의 업무로는 제작보증 (Manufacture Assurance)으로 분류되어있다.

제작 보증(Manufacture Assurance)은 설계의 요구조건을 충족하는 제작 프로세스를 검증하고 신뢰성 있고 일정을 준수하며 오차 없이 제작될 수 있도록 보증하는 업무이다. 이를 위해서는 제작에 대한 계획을 수립하고 제작공정을 맵핑하며 제작하고 생산성 평가와 제작공정의 품질에 대하여 관리와 지속적인 모니터링을 수행한다. 또한 이를 뒷받침하는 보조업무(SMP)로는 하드웨어 제작 및 시험에 요구되는 부품과 재료 및 공정 (Parts, Materials and Processes; PMP)의 요구조건 충족여부를 확인하고 관리 감독의 역할이 필수적이다. 이를 위해 수행하는 업무는 하기와 같다.

- Subcontractor의 역량 평가 및 납품 Product의 요구조건 만족여부 확인
- PMP 이슈에 대한 정기적 회의
- Worst case 분석 검증
- 부품 고장률 검증

통합 및 시험평가 (Integration and Test & Evaluation)는 하위수준의 컴퍼넌트에서 최종 어셈블리 단계까지의 구성된 시스템에 대하여 시험과

평가를 수행하게 된다(그림 9 참조). 시스템의 조합이 통합되는 과정에서 단순 검사 (Inspection)에서부터 시작하여 검사/시험장비의 보정과 물리적, 전기적 인터페이스 점검, 전자기 적합성 점검 (EMI/EMC) 및 기능점검을 수행할 수 있다. [6]



[Figure 9] Strategy for Qualification Test [6]

통합 및 시험평가는 정의된 요구조건 및 설계에 대한 검증단계로서 임무보증의 업무중 가장 중요하고 집중하여야 되는 업무로 판단되며 주요 수행하는 업무는 하기와 같다.

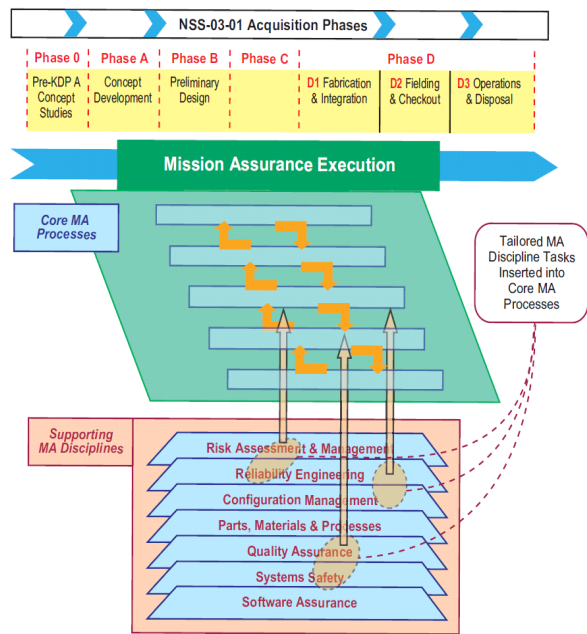
- 시험평가 계획에 따른 계약사항 검토 및 평가
- 시험평가 계획(과거 시험프로그램 기록, 비용, 임무 성공 경향 등)에 대한 독립적 평가
- 요구조건 및 규격서 만족여부에 대한 자료 평가
- 시험과 시물레이션에 영향을 줄 수 있는 시스템 개념과 새로운 기술 평가
- 통합과 시험시설에 대한 이슈 식별
- 시험 요구조건에 대한 분석 및 검증 등

이외 시스템의 이송, 저장, 접근, 이동, 시험(운용)에 대한 운용준비 보증(Operational Readiness Assurance)의 업무가 있으며 단계별 설계 검토회의 (예: SRR, SDR, PDR, CDR, TRR, PRR, SVR 등)검토와 기능적 형상 감사(Functional Configuration Audit)와 물리적 형상 감사 (PCA), 개발 단계별 감사(PDA, CDA)등의 감사에 대한 업무가 있다. 독립적 평가 범위는 기술, 일정, 품질과

설계 전반에 대해 수행하며 진척도, 리스크 평가, 잠재된 문제점 및 이슈 식별, 결정사항에 대한 체계적인 검토를 수행하게 된다.

2.3 Support MA Process (SMP)

핵심 프로세스(CMP)를 지원하는 보조프로세스 (SMP)는 제품 또는 프로세스 무결성을 증명하기 위하여 수행하는 영역 내에서 실행되는 검증 프로세스 및 업무를 의미한다.



[Figure 10] Framework of SMP with CMP

Aerospace Corporation에서 제시하는 업무보고서에서 총 7개의 보조 프로세스로 정의하고 있다.

- 위험도 평가 및 관리
- 신뢰성 공학
- 형상관리
- 부품, 재료 및 공정관리 (PMP)
- 품질보증
- 체계안전성 보증
- 소프트웨어 보증

2.4 한국형 우주발사체 임무보증 적용 방안

해외 우주발사체 개발사들의 사례를 통해 시스템 엔지니어링 프로세스에서 임무보증 적용 현황을 분석하였다. 분석결과 시스템엔지니어링 전 분야에 걸쳐 1,000여명 이상의 거대한 임무보증 조직으로 보증과 검증 업무를 수행하고 있다. 한국형우주발사체 개발사업은 과학로켓(KSR-III)과 나로호(KSLV-I)의 경험을 바탕으로 시스템엔지니어링 체계를 구축하였고 국내 최초로 별도의 독립된 임무보증 조직을 신설하였다. 조직의 구성은 CMP를 수행하는 임무보증과 SMP를 수행하는 품질보증으로 구분하였다. 해외사례와 같이 거대한 조직으로는 국내 개발 여건상 불가능하고 시스템엔지니어링 프로세스가 원활히 진행되고 조직이 구축된 기반위에서 실현이 가능하기 때문에 현실을 고려하여 필수적이고 주요한 일부 Framework으로 구성하여 수행중이다. 이외 보증 업무는 체계관련 조직에서 일부를 수행할 계획이다.

<Table 1> MA Framework of KSLV-II

CMP	SMP
<ul style="list-style-type: none"> • 요구조건 분석 및 검토 • 설계보증 • 시험평가(검증) 검토 • 운용준비 보증 (계획) 	<ul style="list-style-type: none"> • 신뢰성 공학 • 품질보증 • 체계 안전성 보증 • 화재 안전 • 소프트웨어 보증

SMP의 경우 기존에 수행하고 있는 체계 업무가 주를 이루고 있지만 CMP의 경우 Framework의 일부를 수행하여 개발 조직간의 요구조건 수준차이, 인터페이스, 검증 반영 여부를 임무보증 검토를 통해 조율될 것으로 기대한다.

3. 결론

현재 국내 독자개발 한국형 발사체 개발사업이 진행 중에 있고 기본설계 검토 단계중이다. 막대한 자원과 기간이 소요되고 비행시험을 통해 검증되고

설계에 반영되기 어려운 우주시스템 개발의 특성상 요구조건 설정단계부터 설계 및 시험평가에 대한 검증이 더욱 강화되어야 한다. 임무보증은 시스템 엔지니어링의 전 분야에 걸쳐 평가와 검증의 범위에 포함되어 시스템 엔지니어링의 강화라 표현하여도 무방할 것으로 판단된다. 그러나 기존 시스템엔지니어링 프로세스에서 별도의 독립적인 조직으로 검토되어야 하며 임무보증의 조직 또한 시스템엔지니어링 업무에 투입된 것만큼의 거대한 조직이 요구된다. 해외의 사례를 통해 우주발사체 임무보증의 핵심업무와 보조업무에 대하여 살펴보았고 이를 통해 한국형 발사체 개발 사업에 적합한 임무보증의 수행 업무와 앞으로 나아가갈 방향에 대해 제시하였다.

References

1. Mission Assurance Program Framework, Aerospace TOR-2010(8591)-18, June 30, 2010.
2. El Segundo, Mission Assurance Guide. Aerospace TOR-2007(8546)-6018 REV A, Aerospace Corporation, CA, 2007.
3. Pennell, L. W. and Shaw, B. E., 2005, Systems Engineering Requirements and Product, Aerospace Report TOR-2005(8583)-3, Revision. A.
4. Test Requirements for Launch, Upper-Stage, and Space Vehicles . Aerospace Report TOR-2004(8583)-1 REV. A
5. Nagano, S., Space System Verification Program and Management Process. Aerospace Report TOR-2006(8506)-4732 Rev A
6. Kim, K. H., Cho, C. H., Ko, J. H. and Chung, E. S., "Study on Requirements Analysis and Verification Process for Mission Assurance," KSAS Fall Conference, November, 2014
7. Joseph Aguilar, Segundo, Design Assurance Guide. Aerospace TOR-2009(8591)-11, Aerospace Corporation, CA, 2009.
8. Pawlikowski E. M, "Mission Assurance-A Key Part of Space Vehicle Launch Mission Success" , High Frontier, www.nro.gov/news/articles/2008/2008-05.pdf