

위성 탑재체 제품보증에 대한 고찰

김일영^{1,†}, 권재욱¹, 문상만¹, 석병석¹

¹한국항공우주연구원 달탐사사업단

Product Assurance for the Payload of the Satellite System

Il-Young Kim^{1,†}, Jai-Wook Kwon¹, Sang-Man Moon¹, Byong-Seok Seok¹

¹Lunar Exploration Program Office, Korea Aerospace Research Institute

Abstract

This paper is concerned with product assurance for the secondary payload, which is used for technology and science research, in the satellite system, which consists primarily of the spacecraft and the primary payload (a high-resolution optical camera). The Korean satellite development program has successfully insured the safety of the spacecraft and primary payload. However, given the limits of budget and schedule, it is very important to establish adequate product assurance for the secondary payload, which has a lower priority than the spacecraft or primary payload. This paper studies the concept of product assurance for the secondary payload of technological and scientific equipment.

초 록

본 고찰은 위성시스템을 구성하는 본체, 고해상도 카메라로 대표되는 주탑재체 및 과학임무용으로 사용되는 과학 목적 및 기술검증용 탑재체 중 본체와 주탑재체를 제외한 탑재체에 대한 제품보증 방안에 관한 것이다. 현재까지 우리나라는 위성 개발 프로그램을 통해 위성 본체 및 주탑재체에 대한 제품보증을 성공적으로 수행하여 왔다고 할 수 있다. 다만, 모든 위성 개발 프로그램에서 개발예산과 기간에 제한이 있음을 고려할 때, 본체나 주탑재체와 비교시 그 중요도가 상대적으로 낮다고 할 수 있는 과학 및 기술검증용 탑재체에 대한 적절한 제품보증 수준을 결정하는 것은 매우 중요하다. 본 고찰은 이러한 관점에서 과학 및 기술검증용 탑재체에 대한 제품보증 방향을 모색하기 위한 것이다.

Key Words : Product Assurance(제품보증), Primary Payload(주탑재체), Secondary Payload(부탑재체), Risk Classification(위험도수준), EEE Parts(전기전자부품)

1. 서 론

우리나라가 개발하여 현재 지구궤도를 돌고 있는 주요 위성의 대부분은 모두 위성 본체와 주 임무 목표를 수행하는 고해상도카메라를 중심으로 개발한 것이며 제품보증 또한 이를 중심으로 수행되어 왔다. 지금까지 성공적으로 각 위성들에 부과된 임무가 수행되어 왔음을

볼 때, 기존에 적용하였던 제품보증 수준 및 방법은 매우 적절하였다고 판단할 수 있다.

반면 현재 국가적인 관심을 가지고 추진하고 있는 달 탐사 개발사업의 경우 기존 인공위성 개발과 비교 시 달까지 380,000km 이상을 이동해서 달 궤도에 안착해야 한다는 큰 차이점이 있으며, 달 궤도선 또한 달 본체, 주탑재체인 고해상도카메라, 과학탑재체인 월면평판카메라, 자기장측정기, 감마선분광기, 그리고 기술검증탑재체인 우주인터넷으로 복잡하게 구성되어 있다는 특성이 있다. 또한 기존의 위성은 1개의 주관

Received: Oct 31, 2016 Revised: Mar 10, 2017 Accepted: Apr 4, 2017

† Corresponding Author

Tel: +82-42-860-2521, E-mail: IYKIM@kari.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

기관이 직접 개발을 수행하였지만 달 궤도선의 경우 과학 목적 및 기술검증용 탑재체 4종을 서로 다른 4개의 기관이 각각 개발하여 주관기관에 납품하게 되는 구조인데, 이러한 탑재체 개발기관은 제한된 예산과 기간 내에서 정해진 성능을 발휘할 수 있는 탑재체를 개발해야 한다는 과제를 안고 있다.

따라서 과학 및 기술검증 탑재체에 대한 제품보증은 더욱 관심을 가지고 수행하여야 하는 타당성이 있다고 할 수 있으나 반면, 달 탐사 개발사업에 기대하는 주요 목표와 총 개발 예산을 고려할 때, 이러한 탑재체에 대하여 달 궤도선 본체 및 주탑재체에 요구하는 수준의 제품보증을 수행하는 것이 적절할지에 대한 의문도 있다고 할 수 있다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 미국의 NASA 사례를 중심으로 우주 프로젝트에 적용된 위성 및 그 탑재체의 관리 및 제품보증 수준을 조사하고 이를 토대로 과학 목적 및 기술검증용의 탑재체에 대한 제품보증 수준을 고찰하고자 한다.

2. NASA의 탑재체 분류 및 관리

2.1 개발 프로젝트별 분류 기준

NASA의 NPR 7120.5E에 따르면 NASA의 개발 프로젝트는 다음의 기준에 따라 카테고리 1, 2 및 3으로 분류된다[1].

- 수명기간에 따른 예산, 심각한 방사능 물질 포함 및 유인우주선 여부로서 Table 1의 행 판단기준이 된다.
- 우선순위(Priority), 국제협력 규모, 신기술 또는 미 입증 기술로 인한 불확실성, 우주비행선/탑재체 개발에 대한 위험도 수준(Risk Classification)으로서 Table 1의 열 판단기준이 된다.

아래 표는 이러한 기준을 도표화하여 카테고리를 분류한 것으로 프로젝트에 대해 설정된 카테고리에 따라 검토, 승인 및 결정 등의 범위를 다르게 적용하고 있다.

2.2 탑재체의 위험도 등급 기준

위에서 명시한 바와 같이 프로젝트별 카테고리에 따라 관리 범위가 달라지므로 가급적 프로젝트 수행

Table 1 NASA Project Categorization

| Priority Level | LCC<\$250M | \$250M≤LCC ≤\$1B | LCC>\$1B |
|----------------|------------|------------------|------------|
| High | Category 2 | Category 2 | Category 1 |
| Medium | Category 3 | Category 2 | Category 1 |
| Low | Category 3 | Category 2 | Category 1 |

LCC : Life-Cycle Cost

초기에 수락 가능한 위험도 수준을 설정하여야 하는데 NASA의 NPR 8705.4에 따르면 대략적으로 PDR(Preliminary Design Review) 이전까지는 공식 확정하는 것으로 파악된다[2]. Table 2에서는 탑재체를 Class A로부터 Class D까지로 분류하는 NASA의 기준으로서 Class A급의 위성체가 Class A부터 Class D까지의 탑재체를 포함할 수도 있다고 명시하고 있다. NASA에서는 이러한 구분에 따라 설계 및 관리에 대한 통제, 체계종합 프로세스, 임무보증 요구조건 및 위험 관리 프로세스를 정의하여 적용하도록 규정하고 있다.

Table 2 Classification Considerations for NASA Class A-D Payloads

| 구분 | Class A | Class B | Class C | Class D |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 우선순위 (Priority) | 높음 | 높음 | 중간 | 낮음 |
| 중요도 | 매우 높음 | 높음 | 중간 | 낮음에서 중간 |
| 복잡도 | 매우 높음~높음 | 높음~중간 | 중간~ 낮음 | 중간~ 낮음 |
| 임무수명 (주임무기준) | 5년 초과 | 2-5년 | 2년 미만 | 2년 미만 |
| 예산 | 높음 | 높음에서 중간 | 중간에서 낮음 | 낮음 |
| 비행중 정비 | N/A | 실행불가능 /어려움 | 실행 가능 | 실행가능 /계획됨 |
| 대체연구/ 재비행기회 | 없음 | 거의 없거나 없음 | 다소간의 기회 또는 거의 없음 | 많음 |
| 사례 | 허블망원경 (HST) 토성탐사선 (Cassini) | 화성탐사 로버(MER) 화성탐사선 (MRO) | 탐사선 탑재체 (Explorer Payload) | Tech' Demo' |

Table 2의 기준에 따라 판단한다면 본 논문에서 다루고자 하는 과학탐재체 및 기술검증 탐재체는 2년 미만의 임무 수명기간, 낮은 개발예산, 중간에서 낮은 수준의 복잡도를 가지고 있다고 간주되고 따라서 주로 NASA Class C 및 Class D에 해당하는 수준이라고 판단할 수 있다. 이를 토대로 Class C급 및 Class D급 탐재체에 적용되는 NASA의 제품보증관련 요건을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- Single Point Failures(SPFs) : Critical SPF는 허용될 수 있으나 고 신뢰도 부품의 사용, 추가 시험 또는 기타의 방법에 의하여 위험도를 최소화하여야 한다.
- QT(Qualification Test), AT(Acceptance Test), 및 ProtoFlight Test Program : Class C의 경우 안전에의 적합성 및 접속 호환성(Interface Compatibility)에 대한 검증시험 수행이 요구된다. Class D에 대해서는 안전에의 적합성 및 접속 호환성(Interface Compatibility)에 대한 검증시험을 수행하며, 치명적 성능인자(Critical Performance Parameter)에 대해서는 수락시험이 요구된다.
- Electrical, Electronic, Electro-mechanical(EEE) Part : Class C의 경우 Class A, Class B 또는 NPSL(NASA Part Selection List) Level 3 또는 Level 3와 동등한 SCDs(Source Control Documents)가 요구된다. Class D에 대해서는 Class A, Class B, 또는 Class C 요구조건이 적용된다.
- Materials : Class C의 경우 이미 시험을 완료하거나 비행에 사용된 재료를 사용하여야 하며, 구매재료에 대해서는 샘플 로트에 대한 수락시험을 수행하여야 한다. Class D에 대해서는 적용 안전기준에 따른 요구조건을 수립하고 재료의 사용 및 수명제한에 대해 평가하여야 한다.
- Quality Assurance : Class C의 경우 문제점 보고, 시정조치, 형상관리, 조사를 포함하여 공식적인 품질 보증 프로그램을 수행하여야 한다. Class D의 경우 문제점 보고, 시정조치, 형상관리, GIDEP (Government Industry Data Exchange Program) 프로그램을 적용하게 되며 기타 요구조건은 적용되는 안전기준에 따라 수립되어야 한다.

2.3 Electrical, Electronic, Electromechanical (EEE) Part에 대한 제품보증

전기전자 부품은 제품보증 측면에서 많은 부분을 차지하고 있으며 NASA는 EEE-INST-002에서 EEE Part를 Level 1, Level 2 및 Level 3로 구분하여 관리하고 있다[3]. Level 1 EEE Part는 최고 신뢰성 수준 및 최저 위험수준을 요구하는 경우 사용되어야 한다. 통상 5년 이상의 임무기간을 가지는 경우에 적용된다. Level 2 Part는 중간 수준부터 낮은 수준까지의 위험을 요구하는 경우 사용할 수 있으며, 다만 제한된 예산과 임무 목표 간에 균형을 이루어야 한다. 통상 1년에서 5년까지의 임무기간을 가지는 경우에 적용된다. Level 3 Part의 경우에는 정형화된 신뢰성 평가, screening, qualification 부족으로 높거나 모르는 상태의 위험을 가질 수 있다. 통상 1년 내지 2년의 임무기간을 가지는 경우에 적용한다. 위의 각 Level별로 부품에 대한 정보가 부족한 경우에는 Radiation Hardness 평가 및 Radiation Testing이 필수적으로 요구된다. EEE Part에 적용되는 Level과 유사하게 MSFC-STD-3012 Grade 1, 2, 3 및 4로 구분하여 관리하는 방식도 있는데 기본적인 개념은 유사하다고 할 수 있다[4].

본 논문에서 다루고 있는 과학 및 기술검증용 탐재체가 Class C 내지 Class D에 속한다고 볼 때, 이러한 탐재체에 대해서는 Level 3(Grade 3 및 Grade 4에 해당한다고 볼 수 있음)에 해당하는 EEE Part의 사용이 허용될 수도 있을 것이다. 이때 Level 3의 EEE Part는 2년 이내의 기간 중에 우주용으로 부품을 공급하고 인증을 받은 이력이 있어야 하고, NASA 또는 ESA(European Space Agency)와 같은 우주기관의 구매 규격서((JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 Qualified Part List 또는 Qualified Material List 등)가 있어야 하며, GIDEP Alerts 또는 NASA Parts Advisories와 같은 심각한 문제 경향을 보이지 않은 제작자로부터 구매하는 것이 필요하다. 그리고 제작자가 생산한 일반적인 제품 대비 낮은 DPA(Destructive Physical Analysis) 결함율을 보여야 하고, 제품의 품질 및/또는 신뢰성에 기인한 심각한 결함이 없어야 한다.

과학 및 기술검증 탐재체용으로 Level 3의 EEE

Part가 허용된다고 하더라도 만약 본체 및 주탑재체와의 Interface로 인해 주 임무 수행에 영향을 미칠 수 있는 기능이나 구성품에 사용된다면 Level 2 이상의 EEE Part의 사용이 필수적이라고 할 수 있다.

3. 과학/기술검증 탑재체 제품보증 방안

주 개발자가 제품보증을 수행하기 위해서는 주 개발자에게 재료, 부품, 서비스를 제공하는 각 공급업자가 자신이 제공하는 재료, 부품, 서비스 등의 대한 제품을 스스로 보증하고 납품하도록 요구할 수 있는 계약적 근거가 필수적이다. 이러한 관점에서 볼 때, 계약적 근거가 미흡한 경우의 프로젝트를 가정한다면, 이때의 제품보증 요건은 위성 본체 및 주탑재체와 차별화하여 다음과 같이 요약할 수 있다. 다만 다음의 내용은 제품보증을 위한 최소한의 요건으로서 실제 제품보증 활동의 범위가 다음 내용으로 국한되어도 충분하다는 의미는 아니다.

- 과학/기술검증탑재체 개발자는 자신이 개발하는 탑재체의 제품보증에 대한 모든 책임을 가져야 하며 이것이 가능하도록 체계를 구축하고 능력을 확보하여야 한다. 다만, 탑재체 개발자의 책임이라고 하더라도 주 개발자는 자신이 개발하는 최종제품의 품질을 보장한다는 측면에서 개발기관의 제품보증 활동을 적극적으로 지원하는 것이 필수적이다.
- 탑재체 개발자는 제품보증을 위하여 주개발자가 모든 국내외의 공급자에게 요구하는 공식적인 제품 보증 요구조건을 참조하여 각 개발자 및 그 제품의 특성에 적합한 제품보증 체계를 수립하고 이행하여야 한다.
- 탑재체 개발자는 구축하여 운영하고자 하는 제품 보증체계에 대해 주개발자의 승인 또는 확인을 받고 적용하여야 한다.
- 탑재체 개발자의 제품보증체계는 각 개발자가 이미 구축하고 있는 품질시스템, 제품보증계획서 등이 될 수 있으며, 이것이 주개발자의 제품보증 요구조건을 충족할 수 있음을 입증할 수 있어야 한다.
- 주개발자는 탑재체 개발자의 제품보증체계의 적절성 및 이행성에 대해 년 1회와 같이 정기적으로 확인하여야 하며 필요하다고 판단하는 경우에는 수시로

이를 확인할 수 있다.

- 탑재체 개발자는 주개발자의 정기/수시확인을 위한 시설 및 자료에의 접근을 허용하여야 하며, 또한 주 개발자의 확인업무를 적극적으로 지원하여야 한다.
- 위와 같은 요구조건에도 불구하고 각각의 탑재체를 구성하는 재료, 부품, 공정, 기능 등이 본체 및 주탑재체와의 인터페이스 등으로 인하여 주 임무목표 달성을 저해할 수 있다면 해당 재료, 부품, 공정, 기능 등에 대해서는 주개발자의 제품보증 요구조건을 완벽하게 적용하고 충족하여야 한다. 이때 탑재체 개발자는 본체 및 주탑재체와의 인터페이스로 인하여 주 임무목표 달성에 영향을 미칠 수 있는 재료, 부품, 공정, 기능 등에 대한 검토 결과를 우선적으로 제시하고 주개발자의 확인을 받아야 한다. 이러한 측면에서 인터페이스와 무관한 EEE Parts, Materials, Processes and Mechanical Parts 등의 경우에는 부탑재체 개발자는 Level 3 급의 부품이나 재료를 사용할 수 있고 이는 탑재체의 제품보증 하에 가능하다고 하겠다.
- 본체 및 주탑재체와 인터페이스 되는 재료, 부품, 공정, 기능 등에 대한 주개발자의 제품보증 요구조건의 적용은 통상 QM(Qualification Model) 및 FM(Flight Model) 설계/제작부터를 원칙으로 한다.
- 본체 및 주탑재체의 Reliability 계산 시 탑재체의 Reliability는 예외적으로 고려하지 않을 수 있다. 다만, 이는 탑재체의 고장이나 파손 등의 결함이 발생하더라도 이로 인하여 본체 및 주탑재체의 기능이나 임무 수행에 영향을 주지 않는다는 것을 전제로 한다.
- 탑재체 개발자는 어떠한 경우에도 주개발자가 제시하는 오염방지 요구조건을 반드시 충족하여야 한다.
- 탑재체 개발자는 정기적으로 자신이 수행한 제품보증 현황을 주개발자에게 보고하여야 한다.

4. 결론

지금까지 국내 개발 위성용 과학탑재체와 기술검증 탑재체에 대한 적정한 제품보증 적용 방안을 모색하기 위하여 NASA에서의 탑재체 분류 및 위험도 등급기준을 살펴보고 특히, Class C급 및 Class D급 탑재체를 중심으로 NASA의 Single Point Failure,

Qualification Test, EEE Part, Material, Quality Assurance 요건을 분석하였다. 그리고 그 결과를 기본으로 우리나라의 위성 및 탑재체 설계 개발 여건 하에서 적합한 제품보증을 보장하기 위한 방안을 제품 보증의 책임, 제품보증체계의 수립과 이행, 제품보증 체계에 대한 확인, 제품보증요건의 충족에 대한 입증, 주개발자에 대한 정기/수시확인, 재료/부품/공정 및 EEE Part의 확인, 제품보증 요구조건의 적용시점, 신뢰성 평가, 오염방지, 제품보증현황의 보고의 10가지 측면으로 구분하여 제시하였다.

위성용 탑재체에 대한 제품보증은 실제 개발, 제작 및 시험 과정에서 발생할 수 있는 다양한 결함과 문제점을 고려하여야 하고 이러한 결함이나 문제점은 사소한 결함으로 보인다고 하더라도 관련 부품 등의 설계요건이나 임무 수행 중의 운영환경에 따라 매우 치명적인 결과를 초래할 수 있으며 결함을 초래하는 원인도 다양하므로 개발 초기에 제품보증 방침과 방안을 명확하고 철저하게 수립하고 이를 토대로 개발 중에 발생할 수 있는 다양한 제품보증 현안에 접근하면서 가장 정확한 판단과 보증을 내리고 그 결과를 다시 제품보증 방안 및 관련 활동에 피드백하고 개선하도록 노력하여야 한다. 이를 위해 향후 국내 위성용 탑재체에 대한 제품보증 시 개발과정의 경험을 반영하여 보다 구체적이고 실질적인 방침 및 방안을 수립하고 실제 보증 활동에 적용하여야 한다.

이를 통해 궁극적으로 제품보증 능력과 효율성이 제고될 수 있을 것으로 기대하며 우리나라가 우주사업 분야에서 소기의 목표를 달성하고 성과를 창출함은 물론 제품보증을 위한 국가 인프라가 확충될 수 있도록 제품 보증과 관련한 모든 경험과 자료를 지속적으로 공유하고 발전시키고자 한다.

후 기

본 논문은 달탐사개발사업 2차년도 과제의 일부로 작성되었습니다.

References

- Qualification Test, EEE Part, Material, Quality Assurance 요건을 분석하였다. 그리고 그 결과를 기본으로 우리나라의 위성 및 탑재체 설계 개발 여건 하에서 적합한 제품보증을 보장하기 위한 방안을 제품 보증의 책임, 제품보증체계의 수립과 이행, 제품보증 체계에 대한 확인, 제품보증요건의 충족에 대한 입증, 주개발자에 대한 정기/수시확인, 재료/부품/공정 및 EEE Part의 확인, 제품보증 요구조건의 적용시점, 신뢰성 평가, 오염방지, 제품보증현황의 보고의 10가지 측면으로 구분하여 제시하였다.
- 위성용 탑재체에 대한 제품보증은 실제 개발, 제작 및 시험 과정에서 발생할 수 있는 다양한 결함과 문제점을 고려하여야 하고 이러한 결함이나 문제점은 사소한 결함으로 보인다고 하더라도 관련 부품 등의 설계요건이나 임무 수행 중의 운영환경에 따라 매우 치명적인 결과를 초래할 수 있으며 결함을 초래하는 원인도 다양하므로 개발 초기에 제품보증 방침과 방안을 명확하고 철저하게 수립하고 이를 토대로 개발 중에 발생할 수 있는 다양한 제품보증 현안에 접근하면서 가장 정확한 판단과 보증을 내리고 그 결과를 다시 제품보증 방안 및 관련 활동에 피드백하고 개선하도록 노력하여야 한다. 이를 위해 향후 국내 위성용 탑재체에 대한 제품보증 시 개발과정의 경험을 반영하여 보다 구체적이고 실질적인 방침 및 방안을 수립하고 실제 보증 활동에 적용하여야 한다.
- 이를 통해 궁극적으로 제품보증 능력과 효율성이 제고될 수 있을 것으로 기대하며 우리나라가 우주사업 분야에서 소기의 목표를 달성하고 성과를 창출함은 물론 제품보증을 위한 국가 인프라가 확충될 수 있도록 제품 보증과 관련한 모든 경험과 자료를 지속적으로 공유하고 발전시키고자 한다.
- Payloads" Appendix B, pp. 10-11, June 2004. (<https://nodis3.gsfc.nasa.gov>)
- [3] "EEE-INST-002, Instructions for EEE Parts Selection, Screening, Qualification, and Derating" Chapter 6, pp. 11, April 2008. (<https://nepp.nasa.gov>)
- [4] "MSFC-STD-3012, Electrical, Electronic, and Electromechanical (EEE) Parts Management and Control Requirements for MSFC Space Flight Hardware" Chapter 4, pp. 23-24, February 2012. (<https://nepp.nasa.gov>)
- [1] "NASA NPR 7120.5E, NASA Space Flight Program and Project Management Requirements" Chapter 2.1.4, pp. 8, August 2012. (<https://nodis3.gsfc.nasa.gov>)
- [2] "NPR 8705.4, Risk Classification for NASA