

리스크 기반의 위성 제품보증 및 테일러링 분석

송수아¹ · 장영근^{2,†}

¹한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

²한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

Study on Risk-based Satellite Product Assurance and Tailoring

Sua Song¹ and Young-Keun Chang^{2,†}

¹Dept. of Aerospace and Mechanical Engineering, Graduate School, Korea Aerospace University

²School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University

Abstract

Space agencies such as NASA, ESA, and the US military provide guidelines and standards for PA(product assurance) requirements and plans. In recent years, major satellite manufacturers around the world have been mitigating PA requirements and processes by tailoring. PA tailoring has been implemented to improve the cost and schedule efficiency. PA tailoring can be accomplished based on various factors such as mission, classification of mission risk, complexity, development cost, life cycle, etc. In this study, PA tasks according to the mission risk classification proposed by NASA are investigated, and the tailoring method is suggested for the optimization of the development cost and schedule. In particular, the classification of mission risk for the satellites under development or operation in Korea is performed, and PA characteristics in accordance with mission risk are analyzed.

초 록

미 항공우주국(NASA), 유럽우주기구(ESA) 등의 우주기관 및 미국 군에서는 제품보증 수행에 대한 요구조건 및 계획 등에 대한 가이드라인 또는 표준서를 제시하고 있다. 최근 들어, 세계의 주요 위성제작사는 테일러링(tailoring)을 통해 과도한 제품보증 요구조건 및 프로세스를 완화하고 있다. 비용 및 일정의 효율성을 증진시키기 위한 테일러링을 수행한다는 의미이다. 제품보증 테일러링은 임무, 임무 리스크의 유형, 복잡도, 개발비용 및 수명주기 등의 다양한 인자를 기준으로 수행될 수 있다. 본 연구에서는 NASA에서 제안된 임무 리스크(mission risk) 분류에 따른 제품보증 업무를 조사하고, 개발비용 및 일정의 최적화를 위한 테일러링 방안을 제시한다. 특히, 국내에서 개발하여 운용 중이거나 개발 중인 위성에 대한 임무 리스크 유형을 정의하고 이들에 대한 제품보증 특성을 비교 분석한다.

Key Words : Product Assurance(제품보증), Tailoring(테일러링), Mission Risk(임무 리스크), Parts, Materials & Processes(소자, 소재 및 공정), Reliability(신뢰성), Quality Assurance(품질인증)

1. 서 론

제품보증(product assurance)은 위성의 임무성공을

보증하기 위한 시스템 활동이다. 과거 수십 년 동안 기술, 임무성능, 수명 그리고 전송 데이터 등의 복잡성의 증가와 함께 위성은 임무를 성공적으로 완수할 필요성이 대두되어 왔다. 이러한 점이 제품보증이 단순한 검사차원에서 벗어나 복잡한 시스템엔지니어링으로 발전된 이유이다.

우주산업의 역사적 추세는 보다 낮은 비용으로 보다

Received: Sep. 20, 2018 Revised: Oct. 23, 2018 Accepted: Oct. 25, 2018

† Corresponding Author

Tel: +82-2-300-0286, E-mail: ykchang@kau.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

나은 효율성 획득을 목표로 하고 있으나, 이는 위성의 임무성공을 보증하는 제품보증 측면에서 비용 투자가 동반되기 때문에 상반되는 입장에 위치한다. 예를 들어, 프로그램의 비용을 현저히 낮추면서 어떻게 보다 나은 임무성공을 보장하는가의 문제이다. 비용을 낮추기 위해서는 제품보증 활동의 수준을 낮추어야 하는데 이는 임무성공 확률의 감소와 맞물려 있기 때문이다.

지난 30여년 동안 제한된 예산에 직면한 세계 우주 개발기관들은 비용 투자의 효율성을 위해 새로운 전략을 개발했다. 이러한 전략은 통상적인 고비용의 위성 프로그램과 동시에 보다 저가의 소형경량위성 프로그램을 창출했다. NASA의 'Better, Faster, Cheaper' 임무와 ESA의 유연성 있는 임무 프로그램 개념이 제안되었다.

이러한 새로운 접근방법은 다음과 같은 세 가지 공통점을 공유한다. 첫째는, 도전적인 비용으로 복잡한 임무를 달성하도록 하며, 비용에서 상당한 절약이 가능하도록 한다. 둘째는, 개발일정이 이전보다 훨씬 짧도록 한다. 이러한 일정단축은 비용감소를 유도한다. 셋째는, 새로운 접근방법의 임무성공 요구조건은 이전의 임무성공 요구조건과 유사해야 한다. 이를 위해서는 우주프로젝트의 개발에서 채용되는 재정 및 인적재원을 현저하게 감소시켜야 한다. 결과적으로 제품보증 재원은 유사한 양만큼 줄여야 한다. 이러한 새로운 도전은 위성 제품보증에 대해서도 적용되며, 핵심은 “제품보증에 대한 조건이 현저하게 감소될 경우에도 어떻게 동일한 임무성공 확률을 확신하는가?”이다.

물론 이러한 제품보증 도전에 대해 단일의 간단한 해법은 없는 것이 현실이다. 해법은 혁신적인 사고 및 관리, 엔지니어링 그리고 제품보증 절차에 적용되는 실용적인 방법의 조합에 있을 것이다.

지난 수십 년 동안 우주개발에 의해 얻어진 경험과 성숙도(maturity)는 개발계획의 일체화, 기존의 인증 및 비행경험을 갖는 구성품의 재사용, 설계도구 수단에 의한 설계단계의 단축 및 설계 빌딩블록의 재사용 등을 가능하게 한다. 이들은 명확하게 예상되는 프로젝트 비용 및 일정 단축에 기여하는 중요 요소이다.

최근 대부분의 위성운영 중에 발생된 실패 또는 오작동의 원인을 분석한 결과, 비용을 절감하기 위한 방법으로 제품보증을 희생한 결과라고 판명되어 미국

NASA와 주요 위성제작사에서는 임무성공을 위한 별도의 검증 프로그램을 매 위성 프로그램마다 적용한다.

제품보증 수행을 위해서는 별도의 조직 및 활동이 필요하다. 통상적으로 대형 프로젝트의 경우 제품보증 그룹을 별도로 만들어 프로젝트 산하가 아닌 별도의 조직으로 객관적인 입장에서 제품보증 업무를 수행하나, 소형 프로젝트의 경우 프로그램 관리의 한 조직으로 테일러링된 업무를 수행할 수 있다. NASA[1], ESA[2] 등의 우주기관에서는 제품보증 수행에 대한 가이드라인 또는 표준을 제시하고 있으며, 각 위성제작사는 이들 가이드라인을 기반으로 각 사의 경험을 반영하여 비용 및 일정의 효율성을 극대화하는 테일러링된 독자적인 제품보증 프로그램 요구조건 및 계획을 정립하고 수행한다.

본 논문에서는 국내에서 개발 중이거나 운용 중인 위성의 임무 리스크를 분류하고, 이에 따른 제품보증 업무를 분석하여 어떻게 테일러링을 수행하였는지 분석하고 후속 위성 프로그램을 위한 테일러링 방안을 제시하고자 한다.

2. 임무 리스크에 따른 제품보증의 업무

제품보증의 업무범위는 위성개발 프로젝트의 임무 및 개발단계에 따라 달라지며[3], 특히 위성의 임무 리스크에 따라서도 제품보증의 업무는 테일러링이 가능하다. 본 장에서는 위성개발 프로젝트를 임무 리스크에 따라 분류하는 기준을 논의하고 이에 따른 제품보증 업무범위를 제시한다.

위성 특성인자들은 임무 리스크의 유형(Class)에 따라 다르게 정의될 수 있다. 특성인자들도 정지궤도위성(GEO)과 저궤도위성(LEO)에 따라 다른 특성을 가진다. 예를 들어, GEO 위성의 경우 최근 임무수명은 15년 이상 운용이 가능하나, LEO 위성의 경우 아직도 설계수명을 5~7년 정도로 할당하고 개발하는 추세이다. 임무수명을 5년 이하로 하는 GEO 통신위성은 거의 없다. 따라서 임무수명에 따른 Class를 구분할 때 GEO 위성과 LEO 위성은 구분이 있어야 한다. 또 다른 예로, 우주과학임무에서 Class A 위성은 임무성공이 비용보다 중요하나, Class D 위성의 경우는 비용이

임무성공보다 중요하다.

2.1 임무 리스크에 따른 Class A/B/C/D의 중요 특성

임무 리스크는 국가적 중요도, 임무성공 기준, 리스크 허용수준, 획득비용, 수명, 복잡성, 임무성공을 위한 PA 실행수준 등을 고려하여 Class A, B, C 및 D의 유형으로 분류될 수 있다. Table 1에서 특성 유형은 해당 임무 유형의 고려와 함께 주요 프로그램 및 임무 지표를 나타낸다[4]. Table 1은 행성탐사임무를 위한 위성을 주로 개발하는 미국 JPL(jet propulsion laboratory)이 제시한 임무 리스크의 정의를 기준으로 한다. 따라서 일반적인 정지궤도 및 저궤도의 지구궤도 위성(지구관측, 통신방송, 항법, 기상위성 등)에 대한 임무 리스크의 정의와는 차이가 존재한다.

Class A 임무는 임무성공을 위해 모든 실질적인 조치가 수행되는 임무 리스크가 가장 높은 유형이다. Class A 임무는 국가적 중요도가 매우 높거나 투자 규모가 크고 다른 임무로 대체가 불가능하다. 또한 위성체의 복잡성이 매우 높고 제약조건이 엄격하며, 통상 행성탐사위성의 경우 7년 이상의 장기간의 임무수명을 갖는다. 따라서 최소한의 리스크만 허용되며 임무 리스크가 큰 Class A의 임무성공을 위해 제품보증 업무는 검증된 사례를 통해 검증된 제품보증 프로세스(product assurance process)를 적용해야 한다. 이러한 제품보증 프로세스에서는 테일러링은 하지 않거나 최소한의 수준에서 이루어져야 한다. 주로 국가 프로

젝트로 개발되는 위성, 최고성능의 행성탐사위성, 대형 군사위성이 Class A 임무에 해당된다. 예를 들어, 허블우주망원경(HST; hubble space telescope), 제임스 웹우주망원경(JWST; James web space telescope), GPS 위성과 군 통신위성시스템인 MILSTAR 위성 등이 Class A에 해당한다.

Class B 임무는 임무성공을 위한 엄격한 제품보증 프로세스에서 적절한 테일러링이 수행되는 중요한 탐사 및 관측임무로 정의할 수 있다. Class B 임무는 투자 규모가 대규모에서 중간 사이이고 소수의 다른 임무로의 대체가 가능하다. Class B 임무는 대부분의 규격서와 표준서의 요구조건은 그대로 적용되나 낮은 위험 허용치를 바탕으로 비용 절감과 리스크 최소화 간의 절충을 통해 적절한 수준의 테일러링이 수행될 수 있다. 7년 이하의 임무수명을 갖는 고성능의 LEO 지구관측위성, Discovery, MRO(Mars reconnaissance orbiter) 임무 등이 Class B에 해당한다.

Class C 임무는 국가적 중요도가 낮고 투자 규모가 중간에서 작은 수준이며, 몇 가지의 다른 임무로 대체가 가능한 탐사 및 시험 임무로 정의할 수 있다. 그리고 중간 수준의 리스크 프로파일을 달성하기 위한 축소된 제품보증 프로세스가 적용된다. Class C 임무는 일반적으로 짧은 수명과 감소된 임무범위를 갖는 중간에서 낮은 수준의 복잡성을 가지는 LEO 위성 및 미공군의 Space Test Program에 따라 개발되는 위성 등이 Class C 임무에 해당된다.

Class D 임무는 임무실패 시 국가적인 목표에 영향

Table 1 Mission Risk Definition[4]

Characteristic	Class A	Class B	Class C	Class D
Risk Acceptance	Minimum Practical	Low Risk	Moderate Risk	Higher Risk
National Significance	Extremely Critical	Critical	Less Critical	Not Critical
Payload Type	Operational	Operational or Demo Operational	Exploratory or Experimental	Experimental
Acquisition Costs	Highest Life Cycle Cost	High Life Cycle Cost	Medium Life Cycle Cost	Lowest Life Cycle Cost
Complexity	Very high-High	High-Medium	Medium-Low	Low-Medium
Mission Life	> 7 years	≤ 7 years	≤ 4 years	≤ 1 years
Cost	High	High to Medium	Medium-Low	Low
Launch Constraints	Critical	Medium	Few	Few-None
Alternatives	None	Few	Some	Significant
Mission Success	All Practical measures	Stringent/minor compromises	Reduced mission assurance standards	Few mission assurance standards
Typical Contract Type	Cost Plus Award Fee	Cost Plus Award Fee – Firm Fixed Price	Cost Plus – Firm Fixed Price	Firm Fixed Price

이 거의 없으며 투자 규모가 낮고 대부분의 다른 임무로 대체가 가능하다. Class D 임무는 1년 안팎의 짧은 임무수명을 가지며 주로 제한된 비용으로 기술검증을 목적으로 한다. Class D 임무는 비용을 최소화하기 위해 높은 위험 허용치를 바탕으로 테일러링된 최소의 제품보증 규격서와 표준서가 적용된다. Class D 위성은 획득비용을 최소로 유지하도록 한다. 결국 질량, 크기, 전력 등에 대해 현저한 마진을 가질 수 있으며, 성능 요구조건에 대해서도 현저한 유연성을 가진다. 주로 대학교에서 개발하는 위성이나 저가소형위성 등이 Class D 임무에 해당한다.

Figure 1은 임무 리스크 Class(임무성공을 위한 활동 별)에 따른 오작동(고장) 발생의 수를 도식적으로 나타낸다. 이들 오작동(고장)은 설계에 의한 것과 작업도(workmanship)에 의한 것을 포함하며, Class D 위성에서 최대의 고장, 그리고 Class A 위성에서 최소의 고장 발생회수를 보여준다.

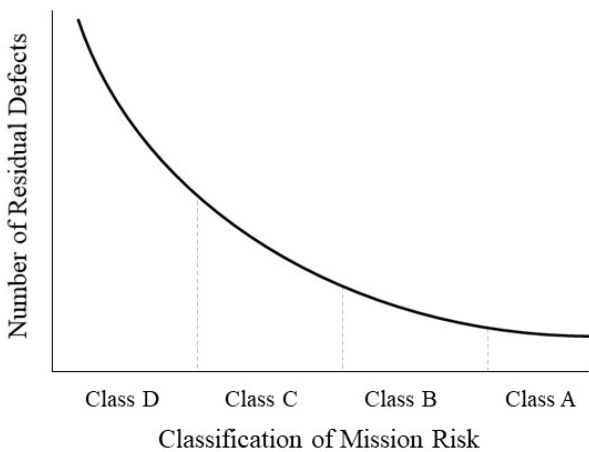


Fig. 1 Residual Defects according to Mission Risk Classes

2.2 제품보증 테스트 별 임무 리스크에 따른 업무 분석

제품보증 활동은 프로젝트의 준비단계에서부터 위성 설계 후 발사하여 운용하기까지 프로젝트의 모든 단계에서 수행되며, 제품보증 관리, 소자, 소재 및 공정관리, 오염관리, 신뢰성 관리, 안전관리, 형상제어, 품질보증, 협력업체 관리 등을 포함한다. Figure 2는 제품보증 업무의 구성을 보여준다.

본 절에서는 각각의 제품보증 업무 별로 임무 리스크에 따른 상세업무를 분석한다. 통상적으로 최고 성능을 지향하는 Class A 위성개발에서는 모든 제품보증 프로세스를 예외 없이 적용하며, Class B 및 Class C로 갈수록 제품보증의 테일러링을 통해 개발비용과 일정을 줄이도록 한다. 그만큼 리스크 허용 수준은 증가하게 된다. Class D 위성개발에서는 보통 완전한 제품보증을 수행하지 않고, 부분적으로 품질인증 및 소자 및 소재 선정 및 공급과 관련한 업무만 수행한다.

2.2.1 소자, 소재 및 공정관리 (PM&P; parts, materials and process management)

소자, 소재 및 공정관리는 소자, 소재 및 제작 공정이 특정 프로그램에서 정의된 성능, 품질 및 신뢰성 요구조건을 만족할 수 있도록 보증하기 위해 선정 절차를 통제하고 우주환경 하에서 성능을 보증할 수 있는 고 신뢰성 및 고 품질의 소자와 소재를 선정 및 관리하며 우주인증된 제작 공정을 적용하는 것이다.

소자의 선정은 임무 리스크가 Class A/B/C인 임무의 경우 각각 EEE-INST-002 Level/Grade 1, Level/Grade 2, Level/Grade 3 요구조건과 동등한 수준의 SCD(source control drawing)를 만족해야 한다. 임무 리스크가 Class D인 경우 별도의 임무 소자관리계획

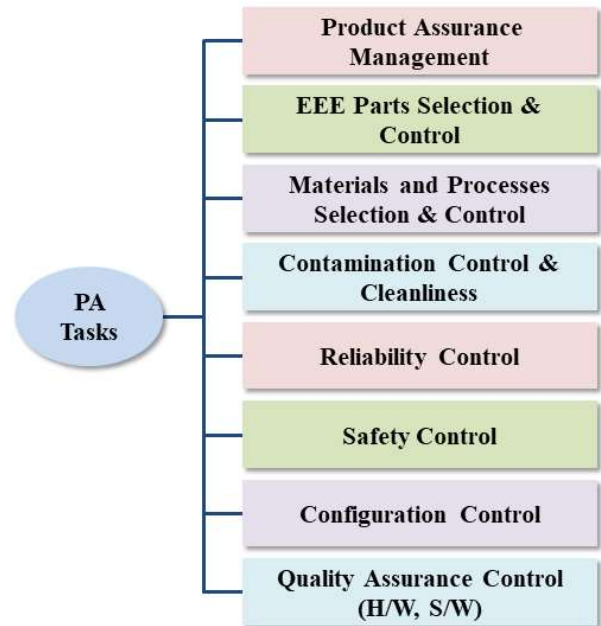


Fig. 2 Product Assurance Tasks

(part management plan)에 의해 선정된다.

소자의 스크리닝(screening)과 인증(qualification)은 임무 리스크가 Class A/B/C인 임무의 경우 소자의 선정과 동일하나, 임무 리스크가 Class D인 경우 소자의 스크리닝은 적합한 상용소자의 방식을 바탕으로 특성화 평가되어야 하며 소자 인증의 경우 수행하지 않을 수 있다.

소자의 파괴분석시험(DPA; destructive physical analysis)은 임무 리스크가 Class A인 경우 모든 소자에 대하여 MIL-STD-1580의 요구조건을 만족해야하고 금속표면에 금지된 재료의 포함 여부를 검증해야한다. Class B인 경우 모든 소자에 대하여 MIL-STD-883의 요구조건을 만족해야하며, Class C인 경우 중요 소자(critical parts)에 대하여 MIL-STD-883의 요구조건을 만족해야 한다. Class D인 경우 파괴분석시험을 수행하지 않고 설계, 작업도(workmanship), 제작 수준을 평가하도록 권장된다.

한편 임무 리스크 분류가 Class A/B/C인 경우 수명, 신뢰성, 성능, 비용 및 가용성에 대한 평가를 위한 PMPCB(parts, materials and processes control board)의 구성이 요구된다. 임무 리스크가 Class A인 경우 고객이 참여 결정권을 가지나 Class B인 경우 협상을 통해 변경될 수 있으며, Class C인 경우 고객의 참여 결정이 요구되지 않는다. Class D인 경우 소자관리계획에 따라 요구되어지는 경우 선택적으로 구성될 수 있다.

소자의 방사능 분석은 LEO 위성에 대해서 통상 Class A/B는 로트 데이터(lot data)가 가용한 경우 방사능설계마진(RDM; radiation design margin)의 2배를 적용하고 SEE(single event effects)에 대하여 80Mev/mg/cm² 미만을 만족해야하며, 로트 데이터가 가용하지 않은 경우 RDM의 4배를 적용하며 80Mev/mg/cm² 미만을 만족해야 한다. Class C의 경우 로트 데이터와 무관하게 RDM의 2배를 적용하며 40Mev/mg/cm² 미만을 만족해야하며, Class D의 경우 방사능 분석은 특정 중요 설계에 대하여 범위를 축소하여 선택적으로 수행할 수 있다. 방사능 분석 결과가 요구조건을 만족하지 못하는 경우 특성화 테스트(characterization test)가 대표 로트(lot)에 대해서 수행되어야 한다.

소재 및 공정 선정은 Class A/B/C의 경우 우선적으로 헤리티지에 따라 선정한다. Class A의 경우 헤리티지가 없다면 환경에 대한 모든 인증시험을 만족해야 하며 Class B의 경우 인증시험은 분석으로 대체될 수 있다. Class C의 경우 헤리티지가 없다면 환경에 대한 최소한의 분석을 만족해야 하며, Class D의 경우 헤리티지와 무관하게 모든 소재에 대해 PMPCB의 승인을 받도록 권장된다.

2.2.2 신뢰성 관리(reliability management)

신뢰성 관리의 주 목적은 설계 위험이 신뢰성 프로그램 요구조건 및 제한조건과 균형을 이루도록 확인하는 것이다. 제품 신뢰도를 평가하고 적시에 해결할 잠재적 문제를 강조하기 위해 구조화된 신뢰도 분석을 설계 프로세스의 필수 부분으로 수행하는 작업이 포함된다. 신뢰성 분석에는 다음 사항이 포함된다.

- 신뢰성 예측 및 할당
- 고장 모드 및 효과 분석(FMECA; failure mode, effect and criticality analyses)
- 확률 위험 평가
- 전기, 기계 및 열 응력분석
- 최악경우해석(WCA; worst case analysis)
- FTA(fault tree analysis)
- 제한수명분석(limited life analysis)
- 주요품목평가해석(critical items assessment analysis)

신뢰성 예측은 Class A의 경우 실제 위험을 최소화하고, Class B는 낮은 위험도를 유지 및 지원, 그리고 Class C는 적절한 위험도를 유지 및 지원하며, Class D는 하드웨어와 작업자 안전을 보장하도록 한다. 한편, Class A, B, C의 경우 승인된 납품물로서 신뢰성 프로그램 계획서가 요구되나 Class D의 경우는 요구사항이 아닌 권장사항이다.

FMECA는 Class A 및 B의 경우 소자 수준부터 요구되나, Class C의 경우 구성품 수준의 인터페이스에서부터 기능적 FMECA가 요구되며, Class D의 경우 위성/탑재체 인터페이스 수준에서 기능적 FMECA가 권장된다. 소자응력해석(PSA; parts stress analysis)

은 Class A, B, C의 경우 승인된 경감율(derating) 기준을 사용해야 하며 Class D의 경우 권장되거나 요구되지는 않는다. 그리고 최악경우해석(WCA; worst case analysis)은 Class A의 경우 모든 회로에 대하여 완전한 WCA가 요구되며, Class B의 경우 임무수명 말에 성능저하를 유발할 수 있는 민감한 회로에 대하여 부분적 WCA가 요구된다. Class C의 경우 고 위험 설계에만 한정하여 부분적 WCA가 권장되며 Class D의 경우 요구되지 않는다.

FTA(fault tree analysis)는 Class A 및 B의 경우 임무 및 시스템 수준의 인증 FTA가 요구된다. Class C의 경우 필수적이지 않으나 권장되며 버스나 탑재체에 영향을 주지 않는지 확인해야 한다. Class D의 경우에는 요구되지 않는다. CICP(critical items control plan) 및 CIL(critical items list)은 Class A의 경우 SPFs(single point failures)를 제거해야 하며 Class B의 경우 최소화하고 완화해야 한다. Class C의 경우 CIL 목록 내에서 추적되며 Class D의 경우 위성 인터페이스의 CIL만 추적하도록 권장된다.

2.2.3 안전관리(safety management)

안전관리의 주 목적은 인원, 장비, 시스템, 환경 및 시설에 대한 잠재적 위험을 식별, 추적, 평가 및 제거하고, 관련 잔여 리스크를 허용수준 이하로 조절 또는 감소시키는 것이다. 안전관리는 안전한 시스템의 개발을 보장한다.

안전요구조건 식별, 할당 및 검증은 Class A/B/C/D 모두 프로그램, 통합 및 발사장 안전 요구조건을 평가하고 설계, 시험 및 운영 문서에 적절하게 통합해야 한다. 이는 임무수명 말을 포함하여 발사 전, 발사, 발사 후 및 운영을 포함한다.

안전관련 해석은 임무 리스크 유형에 따라 다음과 같이 수행된다. Class A의 경우 예비위험평가(PHA; preliminary hazards assessment), 서브시스템위험분석(SSHA; subsystem hazards analysis), 시스템위험분석(SHA; system hazards analysis), 소프트웨어 시스템분석(SSA; software system analysis), 운용 및 지원 위험분석(OSHA; operating and support hazards analysis), 궤도위험분석(on-orbit hazards analysis) 그리고 우주과편 분석 등을 포함한다. Class

B의 경우 PHA, SSHA 및 OSHA, 그리고 Class C 및 D의 경우 PHA 및 OSHA에 국한하여 수행할 수 있다.

안전위험평가(safety risk assessment)는 Class A/B/C/D 모두 위험요소(hazard)의 발생확률과 심각도에 대하여 수행되어야 한다. 사고 보고 및 조사(mishap reporting and investigation)는 Class A/B/C/D 모두 공식적으로 수행되어야 한다.

2.2.4 형상관리(configuration management)

형상관리의 주 목적은 위성의 수명주기 동안 위성의 성능, 기능 및 물리적 특성과 요구조건, 설계 및 운영 정보를 유지하는 것이다. 형상관리계획에는 다음과 같은 내용이 포함된다.

- 형상제어의 정의
- 형상 항목과 데이터의 식별 및 관리
- 프로젝트의 기준 계획과 관리
- 형상 감사와 상태 장부(status accounting) 계획

형상관리계획에서 Class A 및 B의 경우 개발자는 형상관리에 관한 과정과 업무로서 계획된 프로그램이 기술된 형상관리계획을 생성하고, 고객은 계획을 검토하고 승인한다. Class C의 경우 형상관리프로그램에 의해 계획된 대로 형상관리를 실행하며 관련 기관은 계획 승인이 아닌 요구조건 관련하여 참여한다. Class D의 경우 형상관리계획은 반드시 요구되는 것은 아니다.

형상식별(configuration identification)에서 Class A 및 B의 경우 형상, 적합성 또는 기능에 영향을 줄 수 있는 변경사항에 대해 품목 식별, 제품 정보, 구조 및 문서 식별을 수행한다. Class C의 경우 Class A/B와 유사하지만 고객은 형상관리에 대해 최소한의 감독만 수행한다.

프로그램 변경을 포함한 형상변경제어(configuration change control)에서 Class A 및 B의 경우 제품 기준, 설계, 조립 과정 또는 소프트웨어 코드를 포함한 변경사항은 체계적인 변경과정을 따른다. 요구조건을 포함한 주요 변경사항에 대해 형상변경위원회(CCB; configuration control board)에서 변경사항을 검토한다. 고객이 검토 및 승인 과정에 참여하고 모든 Class

I(major) 변경사항(양식, 적합성, 기능)에 대해서는 승인이 요구된다. Class II(minor)의 변경사항은 고객에게 단순 보고만 하면 된다. Class C의 경우 모든 Class II 변경사항은 고객에게 보고되지 않지만 검토가 가능하다. Class D의 경우 최소한의 변경사항만 검토하고 중요사항에 대해서는 세부 검토가 이루어진다.

기능적/물리적 형상감사를 포함한 형상검증/감사에서 Class A의 경우 제품 설계와 요구조건을 만족하는 제품 제작을 위해 정기적인 감사가 수행되며 보통 고객이 관찰한다. Class B의 경우 고객 개입이 적은 점을 제외하고 Class A와 동일하다. Class C의 경우 고객이 개입하지 않고 형상감사 빈도가 낮은 점을 제외하고 Class A와 동일하다. Class D의 경우 형상감사는 일반적으로 수행되지 않는다.

2.2.5 품질인증(quality assurance)

위성의 품질인증 목적은 개발 위험성을 낮추고 적절한 예산 범위 내에서 임무성능을 획득하도록 하는 것이다. 품질인증은 크게 하드웨어(위성체 조립 및 시험 포함) 및 소프트웨어에 대해 수행된다.

하드웨어 품질인증(hardware quality assurance)

하드웨어 품질인증은 위성개발을 위해 일정 수준에서 요구되며 프로그램 수명주기 동안 수행된다. 품질인증 프로세스는 모든 위성시스템에 적용 가능하며 탑재체, 플랫폼(Platform) 또는 기타 관련 제품을 포함할 수 있다. 개발자는 개발 프로그램의 위험도에 상응하는 하드웨어 품질 프로그램(HQP; hardware quality program)을 구현할 책임이 있다.

계약자의 하드웨어 품질 프로그램의 주요 목적은 프로그램을 위해 구축된 하드웨어가 계약상의 요구조건을 충족시키는지 확인하는 것이다. 하드웨어 품질 프로그램에는 계약자의 품질 프로그램이 고객의 품질 요구조건을 충족하는지 보증하는 프로그램이 포함된다.

지속적인 품질향상을 위해 Class A 및 B의 경우 품질향상 프로그램 모니터링을 통해 품질과 생산성이 지속적으로 개선되도록 보장해야 한다. 즉 제품/프로세스를 개선하고 문제 발생 시 해결책을 포함해야 한다. Class C와 Class D의 경우 품질은 발생된 문제를 해결하기 위해 체계적인 개선을 보장해야 한다.

제품 확인(적합성, 검사, 검증)에서 Class A 및 B의 경우 외부에서 생산된 제품 및 서비스에 대해 품질검사를 받아야 하며, 덜 중요한 항목의 경우 품질은 공급자가 제출한 객관적인 품질 증거를 사용할 수 있다. 조립 시작부터 시험단계까지 계약자의 품질 조직은 계약, 도면 및 요구조건을 충족하며 생산되었는지 등을 확인해야 한다. 또한 고객은 제작 시 핵심적인 특성들에 대한 검증을 수행한다. Class C의 경우 하드웨어 품질은 수령 시 생산 검증은 내부 조직에 의해 최소한으로 수행한다. Class D의 경우 하드웨어 품질은 최소한의 유효성 검사만을 수행한다.

소프트웨어 품질인증(software quality assurance)

소프트웨어 품질인증의 주요 목적은 제공되는 소프트웨어가 안전성, 유지 보수성, 가용성, 보안, 지원 가능성 및 유용성 요구조건을 포함한 모든 기능, 성능 및 인터페이스 요구조건을 충족시키는지 확인하는 것이다. 소프트웨어 품질인증(SQA; software quality assurance)은 모든 유형의 소프트웨어 개발 및 구매에 대해 제 단계에서의 참여를 요구한다. 소프트웨어 품질인증은 신뢰성과 안전성으로 세분화된다. 소프트웨어 신뢰성은 의도된 응용 프로그램에 대해 안전성 및 완성도를 측정하여 신뢰성 증가를 보증하여야 한다.

소프트웨어 품질인증(SQA) 계획 수립에서 Class A 및 B의 경우 계약자는 소프트웨어 개발프로세스, 제품 및 소프트웨어 서비스에 대해 독립적이고 지속적인 평가가 수행되어야 한다. 또한 모든 소프트웨어 품질보증 활동 및 문서화 평가, 해결책은 검토를 위해 고객에게 제공된다. Class C의 경우 계약자는 소프트웨어 품질인증 제품 및 프로세스 평가에 적용이 가능한지 판단한다. Class D의 경우 고객은 일반적으로 관여하지 않는다.

소프트웨어 신뢰성 평가에서 Class A의 경우 오류 감지 및 제거, 신뢰성 향상을 위한 작업, 소프트웨어 엔지니어링 결함 분류 프로세스, SQA 수집 및 피드백을 통한 안전성 통계 분석이 수행된다. Class B의 경우 Class A의 내용을 필요한 경우에만 수행한다. Class C의 경우 점진적인 수정과 제어로 기준에 사용되었던 소프트웨어의 신뢰성을 극대화하고 Class D의 경우 수행되지 않는다.

3. 국내 위성의 임무 리스크 유형 및 제품보증의 특성

Table 2는 국내에서 개발된 주요 위성을 임무 리스크에 따른 분류를 수행하고, 각각의 위성에 대해 임무 리스크에 따른 제품보증 업무의 특성을 보여준다. 등급을 나눌 때의 기준은 각국 및 기관에 따라 차이가 있으며, Table 1과 Table 2의 Class 요구사항이 조금씩 다른 이유이다.

장기간의 임무수명, 고 신뢰성 및 Grade 1 수준의 EEE Parts를 요구하는 정지궤도위성인 무궁화통신방송위성과 정지궤도복합위성 등이 Class A에 해당된다. 고 성능 및 고 신뢰성의 저궤도위성인 다목적실용위성 및 개발 추진 중인 군 정찰위성은 5년 정도의 운용수명을 요구하고 최소한의 테일러링을 요구하기 때문에 Class B 기반의 품질 및 신뢰성에 Class A급의 품질과 신뢰성을 요구하여 이들 특성을 혼합한 Class A/B급의 위성으로 분류할 수 있다.

차세대중형위성(CAS500)은 국내 공공분야 위성수요 충족과 위성 수출산업화를 위해 가격 경쟁력을 갖춘 표준 플랫폼을 개발하여 고성능의 중저가 위성을 개발하고자 하는 것이 목표이다. 일단 표준 플랫폼 개발을 통해 단가를 절감하고 개발기간을 단축할 수 있다. 최고 사양 및 품질을 갖는 다목적실용위성 개발에는 장기간이 소요되지만, 표준 플랫폼을 사용하는 CAS500 위성개발에서는 기간을 단축할 수 있다. 다목적실용위성에서는 최소 Level 2 이상의 소자를 채택하지만, CAS500 위성에서는 비용절감을 위해 Level 3급의 소자(Class M 또는 JANTX) 등을 사용할 수 있다. 그리고 CAS500 위성의 경우 방사능에 대한 강화를 위해 SEE(single event effect)에 대해 LET(least energy transfer) 기준을 80Mev/mg/cm²에서 60Mev/mg/cm²으로 요구조건을 낮추었다. 따라서 CAS500 위성은 임무 리스크 Class B와 C의 특성을 혼합한 위성으로 추정할 수 있다. 한편 CAS500 위성에서는 비용을 절감하기 위해 플랫폼과 탑재체의 서브시스템 수준에서 여분(redundancy)의 구성품을 탑재하지 않아 다목적실용위성에 비해 신뢰성은 낮은 형상으로 알려져 있다.

인공위성연구소에서 개발하는 차세대 소형위성, 발

사체 검증위성 그리고 국내 대학에서 개발하는 교육용 위성(CubeSat, NanoSat 등) 등은 Class D에 해당하며, 저비용으로 단기간에 개발할 수 있는 위성으로서 품질 및 신뢰성 등에서 상당한 제한이 따른다. 차세대 소형위성의 경우 차세대 소형위성 제품보증 요구조건(PAR; product assurance requirements) 문서가 생성되어 있다[5]. 하지만, 실제 US Military의 제품보증 표준서 및 규격서를 참고문서로 기술하였으나, 이를 구체적으로 어떻게 테일러링 했는지 그리고 테일러링에 따른 위험이 어떤지 명시되어 있지 않다. 안전관리, 소자, 소재 및 공정관리, 신뢰성, 오염관리, 형상관리, 그리고 품질인증 등에 대한 요구사항이 분명하지 않아 보인다. 특히 신뢰성 요구조건이 제시되어 있지만, 소형위성에 적용되기 어려운 엄격한 신뢰도 모델과 신뢰도 예측을 수행하는 대신 위험항목들을 나열하도록 되어 있다. 그리고 Class A/B/C 위성에 요구되는 신뢰성 관련 해석(FMECA, FTA, WCA, parts stress analyses 등) 수행 요구조건도 명시되어 있지 않다. 한편 하드웨어, 소프트웨어 및 협력업체에 대한 품질인증 요구조건도 구체화되어 있지 않아 Class D 수준의 위성으로 분류될 수 있다. 대학에서 주로 개발되는 CubeSat과 NanoSat은 교육용이고 학생들이 개발자라는 한계 때문에 일부의 품질보증과 소자 및 소재 선정 등의 업무를 제외하고는 대부분의 제품보증 업무를 수행하지 않는다. Table 2의 Class 분류는 국내에서 개발한 정지궤도 복합위성, 다목적실용위성 및 차세대 중형위성의 PAR 및 PAPP에 기반하여 도출한 것이다.

4. 제품보증 테일러링 방안

4.1 제품보증 테일러링에 대한 필요성

전술한 바와 같이 제품보증은 임무성공을 확인하고 보증하는 절차이다. 위성의 비행성능을 보증하기 위한 제품보증의 기본적인 활동은 설계, 제작, 조립 및 시험 등과 같은 엔지니어링 활동을 포함한다.

대부분의 위성개발기관(위성제작사 포함)은 고유의 제품보증 가이드라인을 보유하고 있다. 하지만, 통상적으로 특정 프로젝트의 제품보증 요구사항 및 계획은 비용 절감 및 일정 준수를 위해 기존의 제품보증 규격

Table 2 Mission Risk Class and Product Assurance Parameters of Satellites Developed in Korea

	GeoKOMPSAT Satellites	KOMPSAT/Military ISR Satellites	CAS(Compact Advanced Satellite)500	NEXTSat, Cubesat, Demonstration Satellite
Mission Risk Class	Class A	Class A/B	Class B/C	Class D
Architecture	<ul style="list-style-type: none"> - Dual string, cross-strapped architecture, - Few Single Point Failures - Graceful degradation 	<ul style="list-style-type: none"> - Dual string, Block-redundant, limited cross-strapped architecture, - Few Single Point Failures 	<ul style="list-style-type: none"> - Single string with selected block redundancy - Both required to meet mission success 	<ul style="list-style-type: none"> - Single string
Lifetime/Reliability/EEE Parts	<ul style="list-style-type: none"> - 10 years prime mission, 12 years extended mission (GEO SAT) - MIL Class S&V/JAN/Grade 1 parts, extensive parts qualification program - Full reliability analyses and review 	<ul style="list-style-type: none"> - 5 years prime mission, 1~3 years extended mission - MIL Class B+ &Q/JANTX/Grade 2 parts, full lifetime and environmental parts assessment - Full reliability analyses and review 	<ul style="list-style-type: none"> - 4 years prime mission, 1~2 years extended mission - MIL Class B&Q/JANTXV/Grade 2 or Grade 3 parts - Selected reliability analyses and review 	<ul style="list-style-type: none"> - 0.5~3 years prime mission - Mix of screened COTS and formal Radiation tolerant parts - Destructive SESE parts assessment &TID analysis and measurement - No reliability analyses and review
Space Environment & Test Verification	<ul style="list-style-type: none"> - GEO, high radiation (~100 krad TID) - Increased margins testing (thermal, lifetime) - Tests at assembly, subsystem and system-level 	<ul style="list-style-type: none"> - Daily deep thermal cycles - Significant component thermal cycle testing (thermal lifetime) - Test at assembly, subsystem and system-level - LOW TID radiation (<80 krad) 	<ul style="list-style-type: none"> - Earth orbital shallow thermal cycling - Limited component thermal cycle testing - Test at assembly (limited), subsystem and system-level - LOW TID radiation (<40 krad) - South Atlantic Anomaly 	<ul style="list-style-type: none"> - Deep space thermal cycle testing - Workmanship test at system-level - Board/system level TID assessment - Low TID radiation (<20 krad)
Heritage	<ul style="list-style-type: none"> - Much heritage - Extensive HQA presence at Contractor and Subcontractors, - Extensive MIPS program 	<ul style="list-style-type: none"> - Much heritage - Extensive HQA presence at Contractor and Subcontractors, - Extensive MIPS program 	<ul style="list-style-type: none"> - Significant heritage on Engineering hardware and software - Extensive HQA presence at Contractor and Subcontractors, - Reduced MIPS program 	<ul style="list-style-type: none"> - Some cubesat components inherited - Very limited HQA presence at Contractors, Subcontractors have some heritage, - No MIPS program

Table 3 Product Assurance Tailoring and Risk Analysis

제품보증 업무의 테일러링	프로젝트 환경 및 식별된 위험에 맞는 제품보증 활동 수행
위험 관련 리소스 할당	위험 및 위험 제거 조치에 따른 업무 정의 및 재원 할당
테일러링에 따른 위험 예측	성능, 비용 및 일정에 대한 위험 식별의 예측 작업
유연성을 갖는 제품보증 활동	특정 프로젝트 및 위험 포트폴리오(portfolio)의 진화에 따른 제품보증 활동 및 재원의 재할당

이나 가이드라인에 명시된 업무를 테일러링하도록 한다.

Table 3은 제품보증 업무의 테일러링 및 이에 따른 위험 분석을 요약한 것이다. 제품보증의 테일러링과 이에 따른 위험 예측, 그리고 이에 따른 재원(resources)의 할당을 제시하고 보다 유연성을 갖는 제품보증 활동을 수행하도록 한다.

위성개발 프로젝트의 제품보증 요구사항은 초기에 NASA 또는 ESA 등의 우주기관이나 미 국방부가 제시하는 가이드라인과 규격서를 주로 사용하였다. 제품보증 요구사항의 복잡도는 프로젝트의 특성 및 요구사항의 프로파일에 따라 결정되나, 이들 가이드라인과 규격서를 사용하는 경우 과도한 요구조건을 적용하게 되어 상당한 개발비용과 장기간의 일정이 소요되었다.

초과 개발비용과 개발일정 지연의 단점을 극복하기 위해 각 위성제작사는 이들 가이드라인을 기준으로 각사의 경험을 기반으로 비용 및 일정의 효율성을 극대화하는 테일러링된 독자적인 제품보증 프로그램을 계획하고 위성개발에 적용하고 있다. 국내에서도 이미 시리즈로 개발 중인 다목적실용위성 개발사업을 통해 제품보증 활동을 수행해 왔다. 여기서 적용하는 실용급 위성 제품보증 활동은 과거 미국의 TRW사로부터 전수해온 보수적인 기술이나, 개발에 따른 헤리티지의 확보를 통해 부분적으로 최소한의 테일러링을 수행하고 있다. 다음 절에서는 우리 실정에 맞는 비용 효율성을 고려한 제품보증체계 구축을 위해 제품보증 테일러링에 영향을 미치는 인자를 소개하고 테일러링 접근 방안을 제시한다.

4.2 제품보증 테일러링에 영향을 미치는 인자

제품보증 프로그램을 테일러링하기 위해 위성개발 프로젝트 시작 전에 임무, 시스템 기술 그리고 과학적, 기술적 요소 등의 프로젝트 고려사항을 평가해야 한다. 각 제품보증 프로그램은 다음과 같은 인자를 고려으로 테일러링 할 수 있다.

- 프로젝트의 임무에 따른 유형
- 리스크 유형(risk classification); Class A/B/C/D
- 복잡도(complexity)
- 예산/비용(budget)
- 수명주기(life cycle), 등

4.3 테일러링 흐름도

Figure 3은 제품보증 테일러링의 흐름도(예)를 보여준다. 제품보증의 테일러링은 MIL/NASA/ESA와 같은 군 및 우주기관의 가이드라인을 바탕으로, 주관개발기관은 해당 프로젝트의 SOW(statement of work)을 작성하면서 테일러링된 제품보증 요구사항을 제시한다. 이후 주 계약자(prime contractor)는 테일러링된 요구조건을 만족하는 제품보증 프로그램 계획(PAPP; product assurance program plan)을 작성하여 제품보증 활동의 기본 계획서로 활용한다.

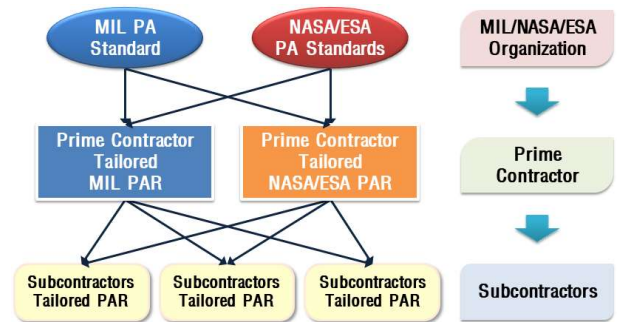


Fig. 3 Tailored Product Assurance Requirements Flow-Down

4.4 제품보증 테일러링 사례 분석

Figure 4는 제품보증 테일러링의 기본 개념을 보여준다. 프로젝트의 유형, 고객 요구사항 그리고 산업적 제한사항 등이 제품보증 요구사항 및 계획의 입력사항으로 들어가며, 테일러링 수행에 따른 위험분석을 통해 제품보증 프로세스가 강화되었는지, 일반적 수준인

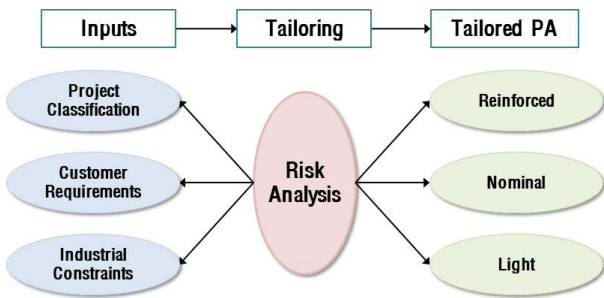


Fig. 4 Basic Concept of Product Assurance Tailoring

지, 아니면 최소화되었는지를 확인할 수 있다.

본 논문에서는 제품보증의 업무 중 대표적으로 신뢰성 및 EEE Parts 관리에 대한 테일러링 사례 분석 결과를 제시한다.

4.4.1 신뢰성의 테일러링

Figure 5는 신뢰성의 테일러링 절차를 보여준다. 신뢰성의 테일러링은 품질, 복잡성, 성숙도와 같은 제품 특성과 비용, 일정, 임무수명, 공차, 설계 및 성능과 같은 고객 요구사항을 고려하여 프로젝트의 중요도 순위를 결정하고 예비위험분석(PHA; preliminary hazards analysis)을 통해 중요도를 선정한다. 이를 통해 위험 포트폴리오를 수행하고 신뢰성 프로세스가 완전한지, 최적화 되었는지, 완료된 것인지, 아니면 최소화 되었는지 확인할 수 있다.

신뢰성 테일러링의 일반적인 선정 접근방법은 예비 위험분석, 중요도에 따른 노력에 대한 적응, 재사용 및 COTS(commercial-off-the shelf) 장비에 대한 특정 접근법 등이 있다. 예비위험분석은 실패의 기능적 결과와 제품의 복잡성, 공급자의 성숙도를 고려해야 하며, 중요도에 따른 노력에 대한 적응은 설계 원칙, 해석 그리고 해석의 깊이 등을 고려해야 한다. 재사용 및 COTS 장비에 대한 특정 접근법은 기존의 하드웨어로부터 출발하여 고장허용을 설계하고 구성품적절성 검토(ESR; equipment suitability review)를 수행하여 관련 정보로 제한된 문서에 대하여 질의 및 답변을 수행해야 한다.

한편, 오랜 기간 신뢰성 예측을 위해 MIL-HDBK-217과 같은 전통적인 신뢰성 예측방법을 사용해왔으나, 소자유형의 실패율 모델의 노후화, 기술의 진화 및 데이터베이스의 불완전성 등에 따라 제한되며, 비 랜

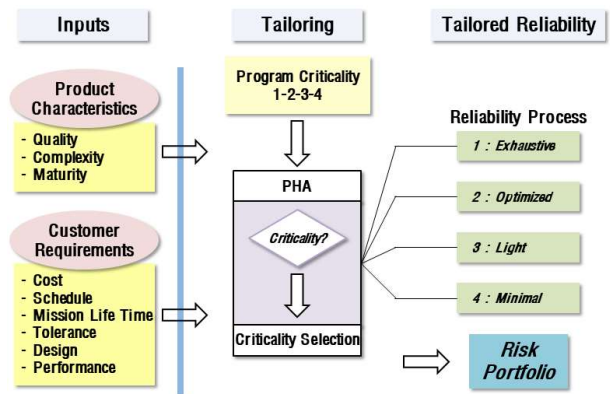


Fig. 5 Tailoring of Reliability Control

덤 고장에 기인한 대부분 궤도상에서의 이상현상이 커버되지 않는 한계가 있었다(예를 들어, 설계 및/또는 제작 관련 실패). 실제 궤도성능은 현재의 도구/방법/데이터 소스 등에 기반한 신뢰성 예측이 대부분 보수적이라는 것을 보여주며, 따라서 이들은 잠재적 초과 설계, 감소된 성능, 그리고 비용의 비효율성 등을 포함한다. 오래되고 제한된 MIL 핸드북에 기반한 현재의 신뢰성 예측의 고유한 한계를 극복하기 위해 위성시스템을 위한 새로운 신뢰성 예측 방법의 개발이 요구되었다. MIL-HDBK-217F는 부품 단위의 신뢰도 모델링만 가능하고 시스템 수준에서 단순 합(summation)을 통해 시스템 신뢰도를 산출하나, 217Plus는 부품 단위의 신뢰도 모델링 후 시스템 수준에서 신뢰도 모델링이 가능하도록 구성되어 있다. 따라서, 217Plus에서 다양한 인자들이 적용되어 보다 정확한 신뢰성 예측 구현이 가능해졌다[6]. 이는 신뢰성 관리의 테일러링 예로서 잠재적 초과 설계, 성능 감소 등을 막고 비용 효율성을 증진시킨다.

일반적으로 전통적인 217F 분석 결과가 217Plus 분석 결과보다 전반적으로 높은 고장률을 보여주고, 따라서 높은 위성시스템 수준의 신뢰성 수치를 얻기 위해 보다 고비용의 소자 및 여분 설계를 해야한다. 최근 들어, 유럽의 Airbus Defense & Space와 Thales Alenia Space, 그리고 이스라엘의 IAI 등의 위성개발업체에서는 전통적인 신뢰성 예측 대신에 217Plus에 기반한 새로운 신뢰성 예측을 주로 채택하고 있다.

4.4.2 소자(EEE Parts)의 테일러링

현재 많은 기업들이 신기술, 짧은 개발기간, 군사 및 우주시스템 비용 절감을 위해 COTS의 사용을 추구하고 있으며, 이는 합리적인 비용으로 최고의 성능을 달성하는 데 필수적이다. 현재 군사 및 우주급 소자는 전 세계시장 점유율의 1% 미만으로 상당히 제한적이다. 다음 항목은 COTS를 사용해야 하는 이유를 나타낸다.

- 군사/우주시장 축소
- 소자의 범위 확대
- COTS의 비용 효율성
- 축소된 QML(qualified manufacturer list)/ QPL(qualified parts list)

우주업계의 목표 및 과제는 우주시스템을 위한 COTS 초소형전자부품의 가용성 및 성능을 활용하면서 임무성공을 보장할 수 있는 충분한 방사능 내성과 신뢰성을 유지하는 것이다. NASA에서는 NEPP(NASA EEE parts and packaging) 프로그램을 수립하여 우주 시스템에의 활용을 촉진하기 위해 보다 진전되고 우수한 부품 및 패키징 기술을 평가하고 있다. 그리고 부품 및 패키징 평가, 선정 및 인증을 위한 새로운 방법 및 프로세스를 개발하며 새로 사용 가능한 COTS 소자 부품 및 패키징 기술의 신뢰성을 평가하고 있다.

고 신뢰성 소자는 넓은 운용온도 범위의 가용, 전기적 특성의 표준화, 번인(burn-in)의 표준화, 신뢰성 데이터 및 지원, 방사능 강화의 통상적 검증, 구성품 종류의 수량, 다양한 패키징 스타일, 밀봉된 봉합재(hermetic encapsulant), 긴 생산주기, 높은 단가, 로트 변경(lot changes) 가능, 가용성 제한 가능성 등의 특성을 가지며 COTS 소자는 제한된 운용온도의 범위를 가지고, 소량의 사용자에게 전기적 특성의 표준화와 신뢰성 데이터는 가용하지 않다. 번인의 표준화는 가용하지 않으며, 방사능 강화의 검증은 없다.

COTS 소자 사용 시 이러한 문제점을 해결하기 위하여 COTS 소자를 적절하게 선정하여 업스크리닝(up-screening)하고 프로그램에 따라 테일러링을 통해 소자를 스크리닝해야 한다.

4.5 제품보증 테일러링 접근 방안

Figure 6은 CPP(core PA process)와 SPD(supporting PA discipline)와의 상관관계를 나타낸다. CPP는 핵심 PA 프로세스로서 PA 목표를 지원하기 위해 정의되고 적용되는 시스템 엔지니어링 프로세스이고, SPD는 PA 과정 및 PA 프로그램 전체를 지원하기 위해 구체적으로 체계화된 엔지니어링 분야이다. 각 개별단계가 진행됨에 따라 SPD(소자, 재료 및 공정 관리, 신뢰성 관리, 안전관리, 형상관리, 품질보증 등)는 핵심 PA 프로세스에 맞게 테일러링을 한 후 각 해당하는 CPP에 적용된다.

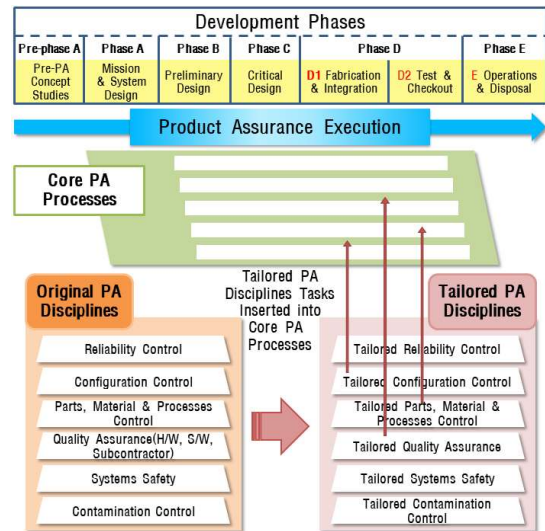


Fig. 6 Relationships between CPPs and SPDs

5. 결 론

최근 들어, 세계 각 국의 주요 위성 제작사는 US MIL/NASA/ESA의 제품보증 가이드라인 또는 표준서를 기반으로, 각 사의 경험을 반영하여 비용 및 일정의 효율성을 극대화하는 테일러링된 독자적인 제품보증 프로그램을 정립하여 활용하고 있다.

본 연구에서는 위성개발 프로젝트를 임무 리스크에 따라 분류하는 기준을 조사하고 이에 따른 제품보증의 업무 내역을 제시하였다. Class A 위성은 임무의 중요성에 기인하여 리스크의 허용수준이 최소가 되어야 하기 때문에, 임무성공을 위해 검증된 제품보증 프로세스를 적용한다. 따라서 테일러링을 하지 않거나 최소

의 수준에서 테일러링 된다. Class B 위성은 임무성공을 위한 제품보증 프로세스에서 적절한 테일러링을 요구하며, Class C 위성은 중간 수준의 리스크 프로파일을 달성하기 위해 축소된 제품보증 프로세스가 적용된다. Class D 임무는 소요비용 및 일정의 최소화를 위해 최소한의 제한된 제품보증 업무수행이 허용된다.

이들 기준을 기반으로 본 분석에서는 국내에서 개발하는 위성의 임무 리스크를 분류하였다. 특히, 제품보증 프로세스 및 테스트를 기반으로 다목적실용위성은 Class A와 Class B의 임무 리스크 수준을 통합한 Class A/B, 그리고 차세대중형위성은 Class C를 기반으로 Class B의 임무 리스크 특성을 혼합한 Class B/C 수준의 리스크 허용수준을 갖는 것으로 평가된다. 그리고 제품보증의 테일러링에 영향을 미치는 요소를 살펴보고, 제품보증 업무 중 소자 및 신뢰성에 대한 테일러링의 사례를 분석하여 제시하였다.

국내 우주개발기관과 위성제작사도 본 연구에서 제시한 리스크 기반의 테일러링 기준을 이용하고, 각 기관과 위성 임무 및 특성을 고려하여 독자적인 제품보증 프로그램을 구축함으로써 개발 비용과 소요일정을 최소화 하는 방안이 필요하다.

후 기

본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] NASA Langley Research Center, "Product Assurance Plan," LPR 5300.1, NASA, 2009.
- [2] ESA-ESTEC, "Space Product Assurance: Product Assurance Management," ECSS-Q-ST-10C, 2008
- [3] The Aerospace Corporation, "Mission Assurance Guide," Technical Operating Report TOR-2007(8546)-6018, REV. B, 2012.
- [4] Gail Johnson-Roth, "Mission Assurance Guidelines for A-D Mission Risk Classes," TOR-2011(8591)-21, The

Aerospace Corp., 2011.

- [5] Satellite Research Center, "Product Assurance Requirements for NEXTSat Program," KAIST, 2013.
- [6] Quanterion Solutions Incorporated, "Handbook of 217Plus: Reliability Prediction Models," HDBK-217Plus: 2015 Notice 1, 2017.