

통신해양기상위성의 Ka 통신탑재체 개발 제품보증 연구

정철오* · 이성팔**

A study on Product Assurance for development of Ka band Communication Payload System of COMS

Cheol-Oh Jeong* · Seung-Pal Lee**

ABSTRACT

It is anticipated that quality assurance for the Ka band Communication Payload System(COPS) development program of the Communication, Ocean & Meteorological Satellite(COMS) may be a core technical factor to be concerned in order to avoid any failure, and to assure its performance during the mission lifetime in space. Those can be managed and verified and assessed by performing the Quality Assurance (QA) and risk management which helps to prevent and reduce the critical fails.

This paper introduces the Product Assurance (PA) system and procedures for Ka band Communication Payload System which was established and performed during the Qualification Model (QM) manufacturing phase. In this paper, we present detailed process for the products manufactured by local companies according to PA procedures operated through whole phases from design to test of equipment. Also this paper shows Quality Assurance (QA) procedures and detailed their processes for assured the product quality manufactured by local companies.

Key Words: 제품보증, 형상관리, 품질보증, 부품, 자재 및 공정관리, 오염관리, 부계약자 품질보증

1. 서 론

제품보증(Product Assurance, PA)은 위성 프로그램을 성공적으로 완수하기 위해 설계, 제작, 조립 및 시험의 모든 단계에서 제반 공정 및 최종 성능을 검증하는 것으로, PA 조직관리, 형상관리, 신뢰성, HW 및 SW 품질보증(QA), 안전관리, 부품/자재 및 공정관리, 오염관리, 그

리고 실패관리 등 주요 활동을 수행한다. 한국 전자통신연구원은 국내참여업체와 함께 2003년부터 통신해양기상위성 Ka 대역 통신탑재체 개발을 수행 중에 있다. 개발품의 지상검증을 위한 Qualification Model(QM)부품 개발과 Flight Model (FM) 부품 개발이 종료되었고, 현재는 BUS에 통신탑재체 AIT가 항공우주연구원 청정실에서 진행 중에 있다. 본고에서는 Ka 대역 통신탑재체 부품 개발 시 적용한 제품보증 체계 및 절차와 국내 참여업체에 대해 수행된 부계약자 품질보증 절차의 주요사항에 대해 기술하였다.

* 정회원, 한국전자통신연구원

** 정회원, 한국전자통신연구원
연락처, E-mail: cojeong@etri.re.kr

2. 시스템 개발 및 제품보증 개요

Ka 대역 통신탑재체시스템(COPS)은 2009년 발사 예정인 통신해양기상위성에 탑재될 3개의 탑재체 중 하나로, 시스템의 구성은 Figure 1.과 같이 1개의 중계기와 2개의 안테나로 구성되어 있다.

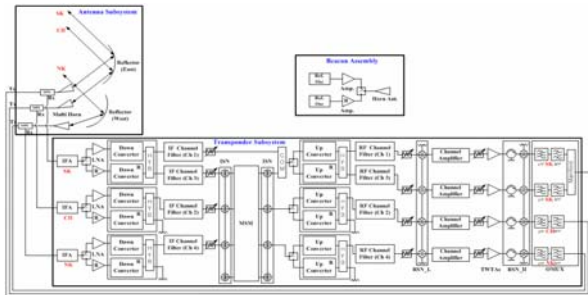


Fig 1. Ka 대역 통신탑재체 구성도

Ka대역 COPS의 서비스 수명은 7.7년이며, 한반도를 대상으로 통신서비스를 수행하는 정지궤도 통신위성이다.

Ka대역 COPS는 국내 개발업체와의 공동 개발로 수행되고 있으며, 참여분야는 능동부품, 수동부품, 안테나 급전부품 및 반사판 등의 부품개발 분야와 중계기 및 안테나 조립 분야가 있다. 성공적인 부품개발을 위해서 참여업체에 대한 제품보증 수행을 위한 품질보증 체계 및 절차가 수립 및 운영이 요구되며, 이에 따라 Fig. 2 및 Fig 3.과 같이 Ka 대역 COPS 개발 제품보증 체계 및 절차를 수립하여 적용하였다.

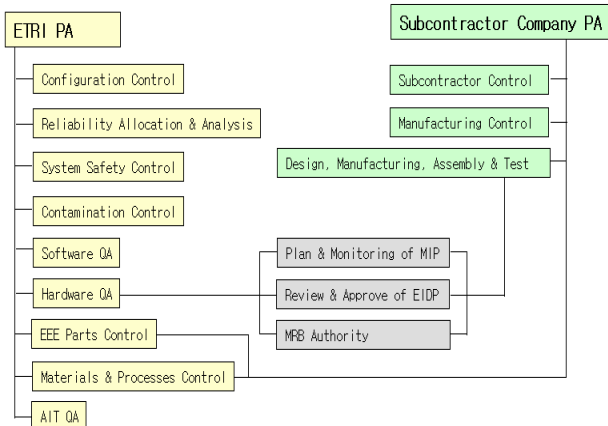


Fig 2. 제품 보증 체계

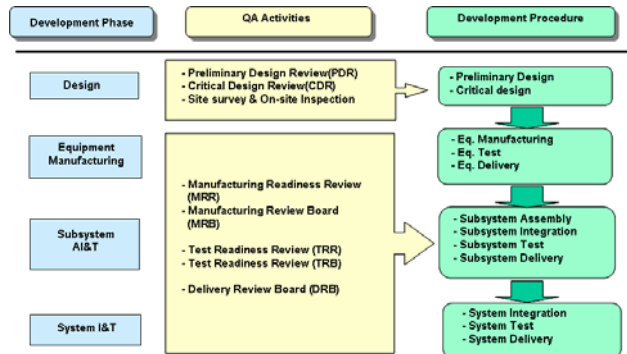


Fig 3. 제품보증 절차

3. 제품보증 관리 체계 및 절차

제품보증은 위성개발 프로그램 개발 초기인 규격설정, 설계, 시험, 종합화, 최종 시험 및 납품에 이르기까지 모든 개발단계에서 적용된다.[5] Table 1.은 Ka대역 COPS 개발 사업에 적용한 제품보증 업무를 기술하였다.

Table 1. 제품보증 분야별 수행업무 내역

세부 계획	주요 내용
형상관리 계획	- 형상항목 식별 및 관리 / 형상변경 관리 및 이행 - 형상관리위원회 (DCB) 운영 / 부계약자 형상관리 - 형상현황기록유지 및 관리
EEE 부품 관리 계획	- 부품인증, 저장관리, 부품 선별검사, Burn-in 및 인수시험 - 표준 전자전기기계(EEE) 부품 선정, 비 표준부품관리 - 부품 식별, 관리 및 구입을 위한 규격 및 표준의 선정 - 사업승인 부품 및 자재 목록(PAPL, PAML) 관리
자재 / 공정관리 계획	- 자재 및 공정 선정, 적용 및 인증 관리 - 자재의 환경영향 평가 및 보호 / 금지 자재관리 - 오염도 분석 수행 및 관리
신뢰도 분석 계획	- 신뢰도 모델 개발, 분석해석 및 유지관리 - 불합격 모드, 영향 및 중요도 분석 (FMECA) - 단일점 불합격 목록 식별 및 관리 - 중요품목 식별 및 관리
안전/오염 관리 계획	- 시스템 안전/위험분석 - 시스템 안전 점검목록 준비 및 관리 - 부품 / 조립체 저장소 안전분석 - 안전순환 및 인증 수행
하드웨어 품질관리 계획	- 시험 및 검사, 구입 및 제작 보증, 일습제 - 품질 기록 및 추적, 인도 검토 - 비 일처 자재 검토회의, 품질 진도보고 - 취급, 저장, 보관, 마킹, 포장, 수송 및 선적 - 사용자 품질 인터페이스
부계약자 품질관리 계획	- 부계약자 품질보증 요구사항 작성 - 부계약자 품질보증계획 검토 및 승인 - 시험 및 검사 수행 / 주기적 품질 검사 수행 - QA 검토회의, 설계검토회의, 제작검토회의 등 참가

3.1. 제품보증 요구사항 분석 및 수행계획 수립

제품보증 수행은 개발순기 모든 단계 적용을 위해 주계약자로부터 사용자 요구사항인 제품보증 요구사항(PAR, Product Assurance Requirement)을 접수하여 이를 근간으로 위성 프로그램에 적용하는 제품보증 수행계획(PAPP, Product Assurance Program Plan, PAPP)을 수립하는 것으로부터

진행된다. 또한 공동개발 업체로 참여하는 부계약자에 대해서는 부계약자 제품보증 요구사항(SPAP, Sub-contractor PAR)을 제시하고 이를 근간으로 수립된 부계약자 제품보증 수행계획(SPAPP)에 따라 위성개발 사업이 수행되게 된다. Ka대역 COPS 개발은 Fig 4.의 제품보증 요구사항 분석 및 수행계획 수립 절차에 따라 수행되었다.[6,8]

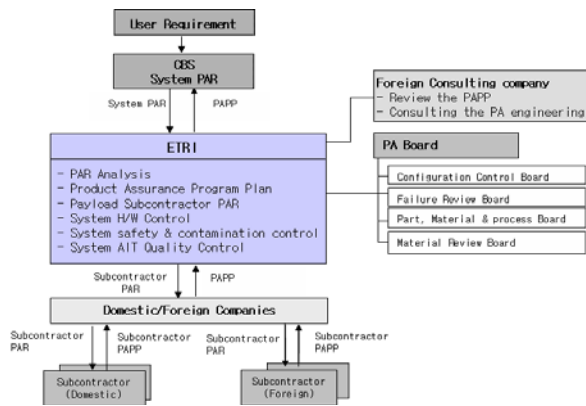


Fig 4. PAR 분석 및 PAPP 수립 절차

3.2 형상관리 (Configuration control)

형상관리는 시스템 개발 설계검토회의 (DR;Design Review)에서 확정된 형상관리 대상인 문서, 도면, 기록 등 산출물 승인 및 형상변경에 대한 원칙, 책임과 절차를 규정하고 관리하는 것으로, 주된 목적은 산출물에 대한 추적성(traceability) 확보를 통한 개발형상 간의 일치성을 확보하는 것이다. 이를 위해 형상관리 번호체계를 수립하여 적용함으로써 산출물에 대한 고유성 및 유효성을 보장하고 있다.[6,8] Fig 5.는 Ka대역 COPS 개발사업에 적용된 형상관리 체계를 보여주고 있다.

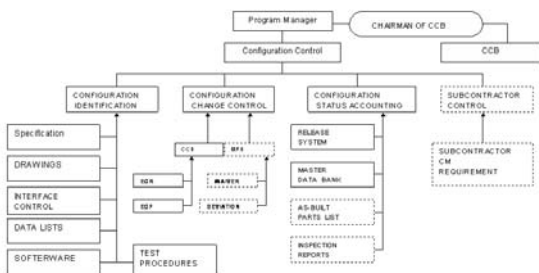


Fig 5. 형상관리 체계

3.3. EEE(Electrical, Electronic, Electromechanical) part control

위성 개발 프로그램에서 EEE parts관리는 위성개발의 성공을 좌우하는 중요한 활동으로 위성 설계 단계 및 제작단계에 걸쳐 수행된다.[4,5] Fig 6은 위성용 부품 확보를 위한 전반적인 절차 및 기준을 보여주고 있다.

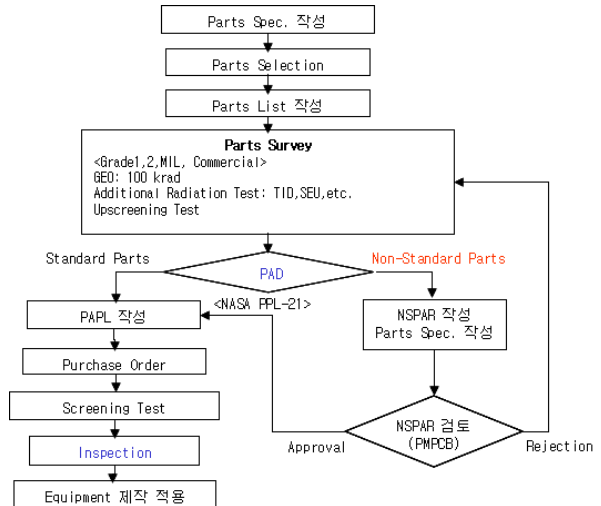


Fig 6. EEE parts 관리 절차

위성프로그램에 사용되는 모든 전자부품은 신뢰도 요구조건과 임무수행 기간을 고려하여 프로그램에 사용할 전자소자 등급이 결정되며, 우주에서 out-gassing발생과 radiation에 의한 고장 등 시스템 안전에 위험(Safety hazard)을 줄 수 있는 부품은 사용금지 부품으로 지정하여 부품개발에 사용하지 않는다. Ka대역 COPS 부품개발에 소요되는 전자소자의 조사, 선정, 구매 및 인수는 Fig 7.의 절차에 따라 진행되었으며, 프로그램의 신뢰성 요구조건과 임무 수행 기간이 고려되어 MIL-STD-975의 등급 1 및 Radiation 100k 이상인 소자를 선정하여 적용하였다. 위성 프로그램에 사용된 전자소자는 프로그램 전반에 걸쳐 관리하기 위해 DPL (Declared Part List) 를 작성 유지하고 있다.

3.4 자재 및 공정 관리

우주용 프로그램 개발에 적용하는 자재 및 공정은 과거 위성 프로그램에서 사용되었던 헤리

티지가 있는 자재 및 공정을 선정하게 된다.[4,5] 안전성 위험(Safety hazard)을 조성할 수도 있는 자재(예를 들어, 카드미늄, 리튬, 방사능 자재)는 원칙적으로 사용 금지 자재로 관리되나, 사전 승인을 득하는 경우 제한적으로 사용될 수 있다. 금속 자재의 기계적 및 물리적 특성, 스트레스 부식 크래킹(SCC; Stress Corrosion Cracking) 보호 마무리(protective finish), 상이한 금속(dissimilar metals) 등에 대한 요구규격에 적합한 자재를 선정하며, 비금속 자재는 설계 특성에 대한 고려를 우선적으로 하고, 총 질량 손실(TML; Total Mass Loss), 수집 휘발 응축 자재(Collected Volatile Condensable Materials) 등에 대한 요구기준에 적합한 자재를 선정한다. 수명에 민감한 자재는 요구되는 자재 특성이 유지될 수 있도록 관리한다.

우주용 제품 개발에 적용하는 공정은 과거 위성 프로그램에서 검증된 공정과 Space agency 또는 정부기관에서 사용조건에 따라 제시된 공정을 선정한다. 타 위성 프로그램의 헤리티지 공정은 위성개발 프로그램에 적용할 수 있는 공정인지 여부를 검증한 후 공정 수행능력 확인을 걸쳐 공정을 선정한다.

재료 및 공정 선정기준에 따라 Ka대역 COPS 개발 사업에 적용된 재료 및 공정을 선정하여 적용하였으며, 위성 개발 프로그램 중 사용되는 재료 및 공정 관리를 위해 DML(Declared Material List)와 DPRL(Declared Process List)를 작성 유지하고 있다.

3.5. 신뢰도 분석

위성개발 프로그램에서 신뢰도 분석은 위성과 같이 경제적 및 전략적 중요성이 크고, 궤도 내 운용 중 유지보수가 실질적으로 불가능한 위성시스템의 비행 보증(flight assurance)을 하는 주요한 부분이다. 시스템 개념설계부터 상세설계까지 수행되는 주요업무는 다음과 같다.[2, 3]

- Reliability modeling & allocation
 - Reliability prediction
 - FMECA(Failure mode, effect & criticality analysis)
 - Critical Item, Single Point Failure Item
 - Derating guideline
 - Part stress analysis & worst case analysis
- 위성 프로그램에서 수행하고 있는 개발단계별 신뢰도 분석 절차는 Fig 7.과 같다.

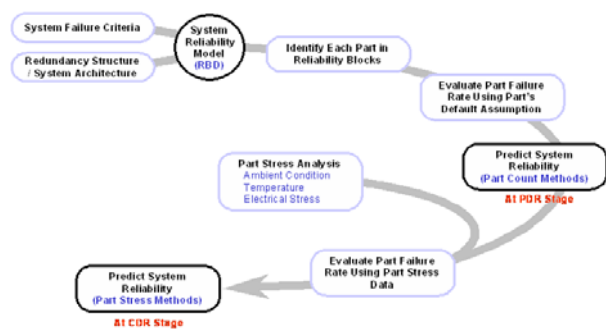


Fig 7. 개발단계별 신뢰도 분석 절차

Fig 8.의 절차에 따라 Ka대역 COPS의 신뢰도 분석이 수행되었으며, 특히 FMECA의 경우 버스와 COPS간의 interface 관점에서의 고장형태, 고장영향 및 전파, 그리고 고장의 치명도에 대한 분석이 함께 수행되었다.

3.6. 안전 및 오염관리

시스템 안전성은 인명 및 자원(spacecraft, missile, facility)에 영향을 주는 위험요소의 식별 및 관리를 통해 인명 및 자원이 위험요소에 노출되지 않도록 관리하는 것이다. 안전 프로그램은 위성의 제작, 시험, 취급, 저장 및 수송 뿐만 아니라 발사활동에 적용된다. 위성 발사장에서는 발사장의 안정성 요구조건을 제시하고 있으며, 이를 고려하여 발사장의 요구조건을 만족하도록 시스템 설계단계부터 고려하고 있다.[4,5] 안전성과 관련하여 시스템 차원에서 수행되어야 할 주요 업무들은 다음과 같다.

- 보호 되어야 할 자원(resources) 정의
- 위험요소(hazard) 식별
- 위험요소 전과 상태 및 위험도 정의
- 위험요소 현실화에 대한 요인 정의
- 발사장 요구조건과의 적합성 검토

오염관리는 오염에 민감한 표면에 오염물질의 축적량이 허용치를 넘는지 여부를 결정하고 만약에 특정 부위의 표면이 허용 오염물질 축적량을 초과했을 경우 해당 설계를 변경하거나, 오염원의 농도를 줄일 수 있는 조치를 취할 수 있는 절차 수립과 관리를 한다.[4,5] 부품개발 시 오염관리는 다음과 같이 수행된다.

- 오염물질 방출이 적은 자재 사용
- 조립 및 제작단계에서 세척 요구조건 규정
- 오염물질 잔류 방지
- 육안 검사에 의한 오염물질 세척
- 조립 및 시험 시 표면 청정도 유지
- 부품 특성별 bake-out 요구규정 및 수행
- 운송 및 보관 시 오염방지 요구조건 규정

Ka대역 COPS 부품개발 안전 및 오염관리 절차를 수립하여 부품 개발 전 기간에 걸쳐 적용하였으며, Ka 대역 COPS 안전 및 오염도가 버스에 미치는 영향 분석이 수행되었다.

3.7. HW 및 SW 품질관리

위성 개발 프로그램에서 HW 및 SW 제작 및 시험에 요구되는 품질관리요구조건은 NHB5300.4 및 MIL-Q-9858A가 적용되고 있다.[4] 개발자는 이러한 품질보증 요구조건을 만족시킬 수 있는 품질관리시스템을 보유하고 있어야 한다. 품질관리 시스템은 하드웨어 품질보증 매뉴얼(HQAM, Hardware Quality Assurance Manual), 품질인증 절차서(QAP, Quality Assurance Procedure) 및 작업지침서(WI, Work Instruction) 등으로 구성되며, 주요 내용은 다음과 같다.

- 구매 요구조건
- 원청업체 인수검사
- 제작, 조립 관리 및 검사

- 제작 및 검사 인력 교육
- 인장 관리 시스템
- 취급, 저장, 보존, 포장, 출하

품질보증 위원회를 구성하여 부품개발 및 시험 중 발생하는 제반 불일치 사항과 Deviation 및 Waiver 사항에 대한 경중을 결정하며 필요 시 심의결과를 형상관리위원회로 승인 요청하는 절차를 구축하여 운영하게 된다. 품질보증위원회 명칭이나 기능은 수행하는 위성프로그램에 따라 정의될 수 있으나, 위성개발 프로그램에서 반드시 구성하여 운영하는 품질보증 위원회는 Table 2.와 같다.[6]

Table 2. 품질보증위원회

구분	기능
형상관리위원회 (Configuration Control Board)	- 형상항목 승인 - 형상변경제한 검토 및 처리 - 부계약자 형상관리 계획의 검토 및 승인
자재검토위원회 (Material Review Board)	- 하드웨어 불일치 사항에 대한 검토, 조정 및 처리 - 부계약자 불일치 사항 처리 - 결정사항 : 면제 (waiver/deviation), 재작업 (rework), 수리 (repair), 사용 (use-as-is), 폐기 (scrap), 공급업체로의 반품 (return to vendor)
불합격검토위원회 (Failure Review Board)	- 시험 불일치 사항에 대한 검토 및 처리 - 이상상태에 대한 검토 및 처리 - 결정사항 : 면제, 재작업, 수리, 특채, 재시험, 조사 및 재 설계
부품, 자재 및 공정 검토위원회 (Part, Material, & Process Review Board)	- 표준 부품, 자재 및 공정에 대한 검토 및 승인 - 사업승인 부품목록 (PAPL), 자재목록 (PAML)의 검토 및 승인 - 비 표준 부품, 자재 및 공정에 대한 검토, 평가 및 승인 - 중요 요트의 시험결과에 대한 검토 - 결정사항 : 승인, 거부 및 특채
납품준비 검토위원회 (Delivery Review Board)	- 납품품목에 대한 식별, 손상 및 수량의 검사 - End Item Data Package(EIDP) 검토 - 인수레벨의 시험 완료 후 구성품에 대한 일치성 증명서 확인

Table 2.의 품질보증위원회가 Ka대역 COPS 부품개발 기간 중 구성되어 운영 되었으며, 제작 및 시험 중 발생하는 불일치 사항은 Fig 8.의 불일치 처리 절차에 따라 수행되었다.[1,6,8]

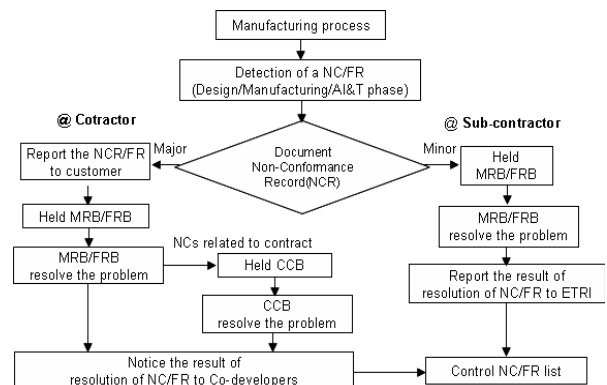


Fig 8. 불일치 사항 처리 절차

3.8. 부계약자 품질보증

부계약자에 대한 품질보증은 설계, 제작, AIT 및 인도단계로 수행되며, 품질보증 주요 내용은 다음과 같다.

- 부계약자 품질보증 요구사항 작성
- 부계약자 품질보증계획 검토 및 승인
- 부계약자 제작 환경(시설/작업자/품질보증 시스템) 인증
- 시험 및 검사 수행/주기적 품질감사 수행
- QA 검토회의, 설계, 제작, 시험검토 회의

부계약자의 우주용 제품 개발 능력의 보유 여부에 대한 검증을 위한 On-site inspection과 부품개발 및 시험 착수 전 제작 준비 검토회의(MRR, Manufacturing Readiness Review)과 시험 준비 검토회의(TRR, Test Readiness Review) 및 시험결과 검토위원회(TRB, Test Review Board) 개최를 통해 부계약자의 제작 및 시험단계의 품보증을 수행한다.[4], 제작 및 시험이 완료된 제품은 납품검토회의(DRB, Delivery Review Board)를 통해 납품 준비 상태를 확인하고 납품 여부를 결정하게 된다. Fig 9.는 Ka대역 COPS 개발사업체 참여한 부계약자 품질보증 수행 시 적용한 품질보증 절차를 나타내고 있다.[1,6,8]

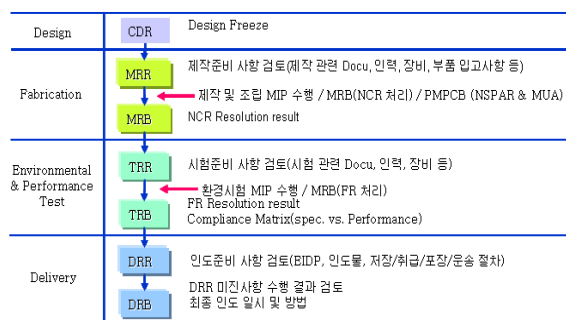


Fig 9. 부계약자 품질보증 절차

4. 결론

본고에서는 Ka대역 COPS 개발 시 적용한 제품 보증 체계 및 절차에 대해 기술하였다. ETRI는 통신탑재체 시스템 개발 품질보증 체계 및 절차를 수립하여 본 사업 기간 중 국외기술자문기관인 Detecon(독) 및 Telesat canada(캐)사로부터

국내 참여업체를 포함한 우주 제품개발에 적합한 체계 및 절차로 인증 받았으며, 이를 근간으로 우주비행용 부품 개발 제품보증의 성공적으로 수행되었다. 현재는 위성체 종합화가 진행 중으로 통신탑재체 조립 및 시험이 진행 중에 있다.

후 기

본 연구는 방송통신위원회/정보통신연구진흥원의 R&D 사업 지원으로 수행되었습니다.

[2005-S-301-03, Development of Satellite Communication System for Communications, Ocean and Meteorological Satellite]

참 고 문 헌

- [1] JW Eun, CO Jeong, SP Lee, A Study on Quality Assurance for the Development of CBS Payload System, 통권2003호, JCSAT, 2003, pp. 59-56
- [2] R. Ramakumar, Engineering Reliability Fundamentals and Applications, 1st Ed., Prentice-Hall, New Jersey, 1993
- [3] Michael Pecht, Product Reliability, Maintainability and Supportability Handbook, 1st Ed., CRC press, Florida, 1995
- [4] ESA, Space Product Assurance, ECSS-Q-20B, 2002
- [5] 장 영근, 인공위성 시스템, 경문사, 1999
- [6] 정철오, 은종원, 이성팔, “통신위성탑재체 개발 프로그램에서의 품질보증 체계 및 절차” 대한산업공학회/한국경영학회 춘계학술 발표대회, 2004, pp. 60-69
- [7] 정철오, 은종원, 이성팔, “통신방송위성(CBS) 탑재체 개발 품질보증 연구”, 전자정보통신학술대회, 2003, [11-5]
- [8] 정철오, 은종원, 이성팔, “통신위성 탑재체 품질보증 체계 및 절차”, 품질혁신연구소 논문집, 제1권 1호, 2004, pp. 114-128