

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2025.33.4.224>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

주요 항공우주기관의 임무보증체계 분석을 통한 우주항공청의 항공혁신임무보증체계 수립 방향에 관한 연구

오병철*, 양현모*, 박형욱**, 김현빈**, 박종현**, 류경복**, 최미진**

A Study on the Direction of Establishing KASA Aviation Innovation Mission Assurance System through Analysis of Global Aerospace Agencies' Frameworks

Byoung-chul Oh*, Hyunmo Yang*, Hyeong Uk Park**, Hyunbin Kim**, Jonghyun Park**,
Gyeongbok Ryu**, Mijin Choi**

ABSTRACT

The shift toward software-centric aviation systems and Urban Air Mobility (UAM) introduces technical uncertainties that cannot be fully identified or managed within the traditional certification framework during the R&D phase. This study proposes strategic directions for establishing the "Korea Aviation Innovation Mission Assurance System" to enhance the technical maturity and safety of aviation R&D programs led by the Korea AeroSpace Administration. By analyzing NASA's independent technical authority, ESA's standardized product assurance, and JAXA's on-site technical support, this study derives implications suitable for Korea's aviation ecosystem. The results present a public-private cooperative governance model combining technical independence with field-level support, a two-tier documentation system (Requirements-Guidelines), and five core mission assurance elements prioritizing risk management. The proposed framework complements, rather than replaces, aircraft certification by strengthening technical maturity and safety throughout the R&D lifecycle.

Key Words : Mission Assurance(임무보증), Risk Management(위험관리), Future Aircraft(미래항공기), Korea Aviation Innovation Mission Assurance System(한국형 항공혁신임무보증체계)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

최근 글로벌 항공산업은 도심항공교통(urban air

mobility, UAM), 친환경(전기, 수소 등) 추진시스템 기반 항공기 등 신성장 동력의 등장으로 증대한 전환기를 맞이하고 있다. 기존 항공기가 기계·구조·추진 등 물리적 성능 극대화 또는 최적화를 중심으로 발전해왔다면, 미래항공기는 소프트웨어 중심 항공시스템, 인공지능(artificial intelligence, AI) 기반 자율비행 기술, 5G/6G 통신기술 및 네트워크 기술 등 첨단 기술이 집약된 체계로 진화하고 있다.

이와 동시에, 이러한 첨단기술의 적용·활용은 기존 항공기의 개발 방식으로는 예측하기 어려운 기술적 불

Received: 6. Dec. 2025, Revised: 8. Dec. 2025,

Accepted: 15. Dec. 2025

* 전략건설팅집현(주)

** 우주항공청 항공혁신임무보증프로그램

연락처 E-mail : phu3711@korea.kr

연락처 주소 : 경남 사천시 사남면 해안산업로 537

확실성(technical uncertainty)을 증가시키고 있다. 특히 딥러닝 기반의 AI 알고리즘, 다중화된 분산전기추진시스템(distributed electric propulsion system), 고에너지 밀도 배터리 및 수소 연료전지 등은 기존의 검증 방법론으로는 해석하기 어려운 특성과 복잡한 상호의존성을 가지고 있다. 이로 인해 연구개발 단계에서 예상하지 못한 시스템 오류나 기술적 실패 등이 발생할 가능성이 높아지며, 결과적으로 연구개발 프로젝트의 비용 증가와 일정 지연을 초래하는 주요 요인으로 작용한다.

현재 항공기의 안전성·신뢰성을 담보하는 제도는 항공기 인증이다. 항공기 인증은 설계(type certification, 이하 형식증명), 제조(production certification, 이하 제작증명), 운용(airworthiness certification, 이하 감항증명) 등에 대한 법적 안전 기준의 충족 여부를 확인하는 필수적인 절차다. 그러나 미래 항공 기술은 아직 표준화된 인증 기준이 충분히 마련되어 있지 않거나 기술적 성숙도가 낮아, 연구개발 단계에서 발생하는 기술 리스크를 선제적으로 관리하기 어렵다.

따라서 연구개발 과정에서 발생 가능한 기술적 불확실성 등을 선제적으로 식별하고 해결하기 위한 관리체계가 필요하다. 즉, 항공기의 신뢰성·안전성을 확인하는 인증제도와 더불어 항공기·부품·소재 등을 목표 성능과 신뢰성 수준에 맞게 개발하도록 지원하는 임무보증(mission assurance) 제도가 병행되어야 한다. 임무보증은 기술적 리스크를 체계적으로 관리하여 비용 증가와 일정 지연을 최소화함으로써 연구개발의 성공률을 크게 향상시키는 기반이 된다.

우주항공청의 출범은 대한민국이 글로벌 항공분야의 기술 혁신 선도 국가로 도약하겠다는 정책적 의지를 보여준다. 이에 우주항공청의 항공혁신임무보증프로그램(부서)은 국내 항공산업의 기술 혁신과 연구개발의 성공률 제고를 지원하는 핵심 역할이 요구되고 있다. 따라서 해외 기관의 임무보증체계를 바탕으로 국내 항공분야에 적합한 임무보증체계 정립 및 제도적인 구체화가 필요하다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 급변하는 항공산업 기술 환경에 대응하고, 우주항공청이 추진하는 항공혁신분야 연구개발(R&D) 사업의 성공률을 제고하기 위해, 주요 항공우주

기관의 사례를 고찰하고 한국형 제도 수립을 위한 기초 방향을 제시하는데 목적이 있다. 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 주요 항공우주기관의 임무보증(mission assurance) 체계를 조사·분석한다. 미국(National Aeronautics and Space Administration, NASA), 유럽(European Space Agency, ESA), 일본(Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) 등 주요 항공우주기관들은 고위험·고비용 프로젝트의 성공을 위해 임무보증체계를 도입·운영해 왔다. 본 연구는 각 기관의 거버넌스, 문서체계, 운영 철학 등을 비교 분석하여, 각 체계가 가진 특징과 장단점을 도출하고 국내 항공 연구개발 환경에 적용 가능한 시사점을 제시한다.

둘째, 기존 항공기 인증체계와 차별화된 임무보증의 역할 및 필요성 등을 비교 분석한다. 임무보증은 항공기 인증제도를 대체하거나 중복으로 규제하는 제도가 아니라, 인증 기준이 부재하거나 연구개발 단계에서 발생하는 기술 리스크를 선제적으로 관리하는 상호 보완적인 제도임을 확인한다. 이를 통해 연구개발 전주기에 걸쳐 인증과 임무보증의 연계 방향 및 역할을 제시한다.

셋째, 우주항공청의 항공혁신임무보증체계 수립을 위한 추진 방향을 제안한다. 선진국의 사례 분석 결과를 바탕으로 우주항공청 내 항공혁신임무보증프로그램의 역할과 기능적 범위를 제안하고, 국내 산업 생태계 및 미래 항공기술 트렌드를 반영한 한국형 항공혁신임무보증체계의 기본 구조(거버넌스, 문서화 전략 등)를 제안함으로써, 향후 제도 설계를 위한 기초 자료로 제공한다.

II. 본 론

2.1 해외 주요 기관의 임무보증체계 사례 분석

본 장에서는 우주항공청의 항공혁신임무보증체계 수립에 필요한 시사점을 도출하기 위해, 임무보증체계를 운용 중인 미국(NASA), 유럽(ESA), 일본(JAXA)의 사례를 임무보증의 개념·범위, 조직, 문서체계의 순서로 분석한다.

2.1.1 미국 항공우주국(NASA)

미국 항공우주국(NASA)은 1986년 챌린저호 사고와 2003년 컬럼비아호 사고를 계기로, 프로젝트 관리조직

과 독립된 안전 및 임무보증(safety & mission assurance, SMA) 체계를 확립하였다. NASA는 임무 보증을 “프로젝트의 생애주기 전반에 걸쳐 안전, 신뢰성, 품질을 확보하여 임무 성공(mission success)을 보장하는 활동”으로 정의한다.

NASA 임무보증의 가장 큰 특징은 위험 기반(risk-based) 접근 방식이다. NASA는 임무의 중요도와 비용, 위험 허용 수준에 따라 4단계 등급(class A~D)으로 분류하고, 모든 잠재적 위험을 식별하고 이를 허용 가능한 수준으로 완화하는 관리를 한다(Table 1).

또한, 임무보증 활동을 ① 시스템 안전, ② 신뢰성 및 유지보수성, ③ 품질 보증, ④ 소프트웨어 보증, ⑤ 위험 관리의 5대 핵심 분야로 세분화하여 운영한다(Table 2).

NASA 임무보증체계의 핵심은 기술 권한의 독립성에 있다. NASA는 기술적 안전을 검증하는 기술 권한과 예산·일정 등 프로젝트 관리 권한을 분리하여 운영한다. 이를 위해 NASA는 OSMA(office of safety and mission assurance)를 독립적으로 운영하며, 이들은 예산이나 일정의 압박으로부터 자유로운 권한을 가진다. 특히 기술적 안전문제가 해결되지 않을 경우 프로젝트의 진행을 중단시킬 수 있는 독립적인 의사결정권을 행사할 수 있다. 또한 주요 마일스톤마다 외부 전문가가 포함된 독립 패널을 운영하여 기술적 성숙도를 객관적으로 평가하고, 프로젝트 팀과 별도로 안전감시관을 파견하여 요건 준수 여부를 직접 확인한다.

NASA는 최상위 정책부터 실무 표준까지 명확한 위계를 가진 3단계 문서체계를 운용한다. 이 체계의 핵심은 상위 정책(policy)이 하위 기술 표준(standard)으로

Table 2. NASA safety and mission assurance (SMA) discipline

분야	주요 내용
시스템 안전 (system safety)	시스템의 전 생애주기에 걸쳐 위험을 식별, 분석, 통제하여 인명 피해나 장비 손실을 방지하는 공학적 활동
신뢰성 및 유지보수성 (reliability & maintainability)	임무 보증의 핵심 요소로, 시스템이 고장 없이(신뢰성) 작동하고, 고장 시 쉽게 수리(유지보수성)할 수 있도록 보장하는 활동
품질보증 (quality assurance)	제품이나 서비스가 NASA의 표준, 요구사항, 설계 스펙을 정확히 충족하는지 확인하고 보증하는 활동
소프트웨어 보증 (software assurance)	임무 수행에 필수적인 소프트웨어가 의도한 대로 정확하고 안전하게 작동할 것임을 보증하는 활동
위험 관리 (risk management)	상기 모든 분야를 아우르는 상위 프로세스로, 임무 성공에 영향을 미칠 수 있는 모든 기술적, 관리적 위험을 식별, 평가, 처리하고 지속적으로 모니터링하는 활동

구체화되며, 앞서 제시한 프로젝트 위험 등급에 따라 요구사항을 선별적으로 적용하는 구조에 있다.

- 정책지침(NPD, NASA policy directive): NASA 청장이 승인하는 최상위 문서로, “무엇을 준수해야 하는가”에 대한 조직의 기본 원칙과 책임 소재를 규정한다.
- 절차 요구사항(NPR, NASA procedural requirements): 정책 이행을 위해 “누가, 언제, 어떻게” 수행해야 하는지를 규정한 강제성 있는 절차서이다.
- 기술표준(NASA-STD, technical standards): 실제 설계, 시험, 제작 현장에서 적용되는 구체적인 엔지니어링 기준과 측정 방법을 제시한다.

Table 1. Risk classification of NASA

등급	요구 수준
Class A	국가적으로 매우 중요하고 대체 불가능한 임무(예: 제임스 웹 우주 망원경)로 가장 엄격한 수준의 분석, 테스트, 검토가 요구됨.
Class B	국가적으로 중요하거나 과학적 목표 달성이 매우 중요한 임무. 높은 수준의 보증 절차가 적용됨.
Class C	부차적인 과학 목표나 기술 실증 임무. 중간 수준의 보증 절차에 해당.
Class D	저비용 기술 시연이나 교육용 임무. 최소한의 보증 절차를 적용하여 위험을 감수하고 빠른 개발을 추구.

2.1.2 유럽 우주국(ESA)

유럽 우주국(ESA)은 1975년 유럽 각국의 분산된 우주개발 역량을 통합하기 위해 설립된 정부 간 기구로, 규제기관이 아니라 연구개발 및 기술 구현을 주임무로 수행하는 조직이다. 현재 22개 회원국이 참여하고 있으며, ESA는 다국가 협력 환경에서 품질 균일성과 기술 신뢰성을 확보하기 위해 제품보증(product assurance, PA) 중심의 임무보증체계를 운영한다.

ESA는 임무보증을 “임무의 성공률 제고와 위험 최소화를 위해 수행되는 안전 및 품질보증 활동”으로 정의한다. NASA가 “임무보증(mission assurance)”이라

는 포괄적 개념을 사용하는 것과 달리, ESA는 “제품보증 및 안전(product assurance & safety, PA&S)”이라는 용어를 사용한다. 이는 시스템의 요구 품질·신뢰성·안전성 기준을 만족하는지 확인하는 제품 단위의 기술적 무결성 확보에 초점을 둔다는 점에서 차별화된다. PA&S 활동은 프로젝트의 초기 기획부터 설계, 제작, 시험, 운영, 폐기에 이르는 전주기에 걸쳐 수행되며, 안전(safety), 신뢰성(reliability), 품질보증(quality assurance), 소프트웨어 보증, 부품, 재료·공정관리 등을 포괄한다.

ESA의 임무보증 조직은 프로젝트 관리조직과 독립된 구조로 견제와 균형을 확보한다. TEC(Directorate of Technology, Engineering and Quality)는 ESA 전반의 기술 및 품질 정책을 총괄하는 조직으로, 산하에 제품보증 및 안전 부서(PA&S)를 두고 있다. PA&S 부서는 프로젝트팀과 별도로 운영되며, 설계 초기 단계부터 품질·안전·신뢰성 기준을 설정하고 적격 공급업체 선정, 부적합 관리, 시정 조치 프로세스 등 제품보증 활동 전반을 수행한다. 또한 ESA는 내부 인력뿐만 아니라 KNSOs 등 외부 전문가를 활용한 시험·평가 및 국제 인증 협력을 통해 객관성을 강화한다.

ESA 임무보증체계의 가장 큰 특징은 ECSS(European Cooperation for Space Standardization)라는 범유럽 단일 표준체계에 기반한다는 점이다. ECSS는 회원국 간의 기술적 언어와 절차를 표준화하여 복잡한 공급망을 효율적으로 관리하도록 구성되어 있으며, engineering(ECSS-E), product assurance(ECSS-Q), management(ECSS-M), standards(ECSS-S)의 4개 표준군으로 구분된다.

특히 ECSS-Q(우주제품보증분야)에서는 품질, 신뢰성, 안전, 소프트웨어, EEE 부품 등 각 분야별 요구사항을 규정하고 요구사항을 규정하고 있으며, 이는 다시 요구사항을 담은 표준(standard)과 수행 지침을 제공하는 핸드북(handbook)으로 구성되어 체계적인 이행을 지원한다(Table 3).

2.1.3 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)

일본 우주항공연구개발기구(JAXA)는 2003년 우주과학연구소(Institute of Space and Aeronautical Science, ISAS), 항공우주기술연구소(National Aerospace Laboratory of Japan, NAL), 우주개발사업단(National Space Development Agency of Japan,

Table 3. Product assurance section of ECSS document from ESA

Space product assurance branch - Q (우주 제품보증 분야)
- Q-10 discipline : 제품보증 관리
- Q-20 discipline : 품질보증
- Q-30 discipline : 신뢰성(dependability)
- Q-40 discipline : 안전
- Q-50 discipline : 입자 및 오염 제어
- Q-60 discipline : EEE부품(전기, 전자, 전자기계)
- Q-70 discipline : 재료, 기계 부품 및 공정
- Q-80 discipline : 소프트웨어 제품 보증

NASDA)의 3개 기관을 통합하여 출범한 국립연구개발법인이다. 규제기관이 아닌 연구개발 수행기관으로서, 안전과 신뢰성 확보를 통한 임무 성공을 최우선 가치로 삼는다.

JAXA는 임무보증을 “안전 및 임무보증(S&MA)”으로 정의하며, 프로젝트 전 주기에 걸쳐 안전성 및 신뢰성 확보를 감독하는 역할을 수행한다. NASA와 유사하게 임무 성공을 목표로 하지만, JAXA는 관리·감독보다는 현장 밀착형 기술지원 기능에 보다 중점을 둔다는 점에서 상이하다. S&MA 범위는 시스템 안전, 신뢰성, 품질보증, 소프트웨어 보증 등을 포함하며, 위성·로켓·탐사선 등 다양한 프로젝트에서 공통 표준(JMR, JERG)을 적용하여 개발 절차의 일관성 및 효율성을 높이는데 주력한다.

JAXA의 임무보증 조직은 중앙의 표준 관리 기능과 프로젝트 내부의 실행 기능이 결합된 이원화된 구조를 가지고 있다. 이는 과거 3개 기관(ISAS, NAL, NASDA)을 통합 과정에서 각 기관의 고유한 문화 및 프로세스를 융합시키기 위해 고려된 구조이다. 안전·신뢰성 추진부(Safety and Mission Assurance Department)는 전사적 S&MA 정책 수립, JMR(JAXA Management Requirement)·JERG(JAXA Engineering Requirement Guideline) 제정 및 관리, 프로젝트 전반의 요구사항 준수 여부를 감독한다. NASA의 OSMA와 유사한 기능을 수행하나, 프로젝트에 대한 강제적 개입보다 기술적 자문과 표준 제공에 중점을 둔다.

한편 각 프로젝트 내부에 별도의 S&MA 책임자가 배치되어, 프로젝트 책임자와 협력하여 현장에서 실시간 품질·안전 보증 활동을 수행한다. 이러한 구조는

NASA처럼 완전한 독립성을 강조하기보다는, 보증 기능을 프로젝트 내부에 내재화하여 신속한 문제해결과 실무적인 개발 지원을 가능하게 한다는 장점이 있다. 다만 독립적인 감시 기능의 약화 가능성을 보완하기 위해, S&MA 부서가 전체 표준 준수 여부를 교차 점검하는 방식으로 운영한다.

JAXA 임무보증 관련 문서체계는 NASA의 방대한 구조(NPD-NPR-STD)보다 단순화된 2단계 문서체계를 사용하여 민간 기업, 연구기관 등의 진입 장벽을 낮추고 있다. 이는 “무엇을 해야하는가”를 규정한 관리 요구사항(JMR)과 “어떻게 수행할 것인가”에 대한 기술적 해설을 담은 기술 가이드라인(JERG)으로 구성되어 실무 적용성을 높인 것이 특징이다(Table 4).

2.1.4 해외 사례 비교 분석 및 시사점

앞서 살펴본 미국(NASA), 유럽(ESA), 일본(JAXA)의 임무보증체계는 각국의 우주개발 역사와 조직 문화에 따라 서로 다른 발전 경로를 거쳐왔으나, 독립적인 기술 검증 기능 및 체계화된 품질·안전 문화라는 공통된 원칙을 공유하고 있다. Table 5에서는 앞서 살펴본 NASA, ESA, JAXA의 임무보증 개념 및 범위를 요약하였다.

국내에서도 임무보증체계 적용에 대한 연구들이 최근 이루어지긴 하였으나 대부분 발사체 및 인공위성 분야에 한정되어 있어 개발·운영과 체계가 다른 항공산업에 적용이 어려웠다. 항공분야에서도 드론 등 신개념 항공기 운용 증가에 따른 안전 확보를 위해 항공안전

Table 4. Structure and composition of JAXA mission assurance documents

구분	역할
프로젝트 관리 요구사항 (JMR, JAXA management requirement)	- “무엇을 해야 하는가(What to do)”를 규정하는 최상위 필수 문서군 - 시스템 안전 표준(JMR-001), 로켓 페이로드 안전 표준(JMR-002) 등이 포함되며, 프로젝트 수행 시 반드시 준수해야 할 관리적 요구사항을 수록
기술 요구 가이드라인 (JERG, JAXA engineering requirement guideline)	- “어떻게 수행할 것인가(How to do)”에 대한 구체적인 기술적 해설과 방법론을 제공하는 하위 문서군 - 신뢰성 보증프로그램 표준해설 (JERG-0-017), 공통 기술 문서 작성 가이드 등 실무자가 설계 및 검증 시 직접 참고할 수 있는 핸드북 및 지침으로 구성

Table 5. The concept and scope of mission assurance by aerospace agencies

구분	주요 내용
미국항공우주국 (NASA)	<ul style="list-style-type: none"> • “안전과 임무 성공을 위한 관리적·공학적 규율의 통합” (safety and mission assurance) - (정의) 임무보증이란 단순한 검사가 아니라, 안전(safety), 신뢰성(reliability), 유지보수성(maintain ability), 품질보증(quality assurance) 등 핵심 공학 규율(SRM&QA)을 체계적으로 적용하는 활동 - (목표) 독립적 기술 권한(technical authority)을 통해 프로젝트 조직과 분리된 권한을 가지고, 임무가 안전하고 성공적으로 수행될 수 있다는 확신(confidence)을 제공 - (전담조직) OSMA (office of safety and mission assurance) <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>특징 (기술 권한, governance) 예산/일정에 쫓기는 프로젝트 관리자와 대등한 위치에서 안전/기술적 거부권을 행사할 수 있는 권한 부여</p> <p>(단점) 조직의 폐쇄성과 적용 비용이 높음</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>적용대상 및 범위 (대상) NASA의 예산이 투입되거나 NASA가 관리하는 모든 우주 비행 프로그램, 항공 연구, 기술개발 프로젝트</p> <p>(범위) 기획 단계부터 설계, 제작, 시험, 운영, 폐기까지의 전주기(life-cycle), 외부 용역(acquisition) 시 계약 요건에 MA 요구사항을 포함하여 협력업체까지 강제함</p> </div>
유럽우주국 (ESA)	<ul style="list-style-type: none"> • “표준 기반의 체계적인 제품보증(product assurance and safety)” - (정의) 우주 제품(하드웨어/소프트웨어)이 정의된 임무 목표를 달성할 수 있도록 적합성, 안전성, 가용성, 신뢰성을 확보하는 모든 계획적이고 체계적인 활동 * ESA는 ‘임무보증’이라는 용어보다 제품보증(product assurance)이라는 용어를 주로 사용 - (전담조직) directorate of tech, engineering and quality 내 TEC-Q(product assurance & safety department)

구분	주요 내용				
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="271 274 314 578">특징</td> <td data-bbox="314 274 696 578"> (표준화, ECSS) 유럽 우주 표준(ECSS-Q 시리즈)을 기반으로 설계, 제작, 시험 전 과정의 품질과 안전 요구사항을 매우 엄격하게 관리 (전주기 품질) 계약 시점부터 폐기 시점까지 전 주기에 걸친 '제품' 자체의 무결성 확보에 집중 (단점) 체계가 아닌 제품 단위 품질보증에 집중 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="271 588 314 911">적용 대상 및 범위</td> <td data-bbox="314 588 696 911"> (대상) ESA가 발주하는 모든 우주 임무 및 관련 계약 (방식) ESA는 직접 개발보다는 주로 관리/감독 역할을 수행하므로, 산업체와의 계약서에 ECSS 표준 준수를 의무화하여 적용 (범위) 하드웨어, 소프트웨어, 자재(materials), 공정(processes), 품질관리를 포함하며, 주계약자뿐만 아니라 협력업체 전체에 적용 </td> </tr> </table>	특징	(표준화, ECSS) 유럽 우주 표준(ECSS-Q 시리즈)을 기반으로 설계, 제작, 시험 전 과정의 품질과 안전 요구사항을 매우 엄격하게 관리 (전주기 품질) 계약 시점부터 폐기 시점까지 전 주기에 걸친 '제품' 자체의 무결성 확보에 집중 (단점) 체계가 아닌 제품 단위 품질보증에 집중	적용 대상 및 범위	(대상) ESA가 발주하는 모든 우주 임무 및 관련 계약 (방식) ESA는 직접 개발보다는 주로 관리/감독 역할을 수행하므로, 산업체와의 계약서에 ECSS 표준 준수를 의무화하여 적용 (범위) 하드웨어, 소프트웨어, 자재(materials), 공정(processes), 품질관리를 포함하며, 주계약자뿐만 아니라 협력업체 전체에 적용
특징	(표준화, ECSS) 유럽 우주 표준(ECSS-Q 시리즈)을 기반으로 설계, 제작, 시험 전 과정의 품질과 안전 요구사항을 매우 엄격하게 관리 (전주기 품질) 계약 시점부터 폐기 시점까지 전 주기에 걸친 '제품' 자체의 무결성 확보에 집중 (단점) 체계가 아닌 제품 단위 품질보증에 집중				
적용 대상 및 범위	(대상) ESA가 발주하는 모든 우주 임무 및 관련 계약 (방식) ESA는 직접 개발보다는 주로 관리/감독 역할을 수행하므로, 산업체와의 계약서에 ECSS 표준 준수를 의무화하여 적용 (범위) 하드웨어, 소프트웨어, 자재(materials), 공정(processes), 품질관리를 포함하며, 주계약자뿐만 아니라 협력업체 전체에 적용				
일본우주항공연구개발기구(JAXA)	<ul style="list-style-type: none"> "제3자 입장에서의 객관적이고 독립적인 평가와 검증(safety and mission assurance)" -(정의) 프로젝트팀이 수행하는 개발 활동과는 별도로, 독립적인 입장에서 안전과 신뢰성을 평가하고 검증하여 임무 성공에 기여하는 활동 <ul style="list-style-type: none"> * 단순한 품질관리를 넘어, 프로젝트 관리 프로세스 자체의 건전성을 확인하는 역할까지 포괄 -(전담조직) 안전·신뢰성 추진부 (safety and mission assurance department) <table border="1"> <tr> <td data-bbox="271 1264 314 1470">특징</td> <td data-bbox="314 1264 696 1470"> (독립성 강조) 개발 부서와 완전히 분리된 조직이 제3자 관점에서 설계 심사 및 안전 심사를 수행 (자주적 관리) 기업(제작사)의 자주적인 품질보증 능력을 육성하면서, JAXA는 이를 감독하고 최종 확인하는 체계 (단점) 외부공개된 문서가 적음 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="271 1479 314 1744">적용 대상 및 범위</td> <td data-bbox="314 1479 696 1744"> (대상) JAXA가 주관하는 프로젝트 및 JAXA의 책임이 포함된 공동 연구/개발 (방식) 프로젝트의 중요도/리스크에 따라 '중점 관리 대상'을 선정하여, 주요 단계별(PDR, CDR 등)로 안전 및 기술 심사를 수행 (범위) 시스템 설계 검증, 안전 심사, 소프트웨어 독립 검증(IV&V), 발사 전 심사 등 개발 전 과정 </td> </tr> </table>	특징	(독립성 강조) 개발 부서와 완전히 분리된 조직이 제3자 관점에서 설계 심사 및 안전 심사를 수행 (자주적 관리) 기업(제작사)의 자주적인 품질보증 능력을 육성하면서, JAXA는 이를 감독하고 최종 확인하는 체계 (단점) 외부공개된 문서가 적음	적용 대상 및 범위	(대상) JAXA가 주관하는 프로젝트 및 JAXA의 책임이 포함된 공동 연구/개발 (방식) 프로젝트의 중요도/리스크에 따라 '중점 관리 대상'을 선정하여, 주요 단계별(PDR, CDR 등)로 안전 및 기술 심사를 수행 (범위) 시스템 설계 검증, 안전 심사, 소프트웨어 독립 검증(IV&V), 발사 전 심사 등 개발 전 과정
특징	(독립성 강조) 개발 부서와 완전히 분리된 조직이 제3자 관점에서 설계 심사 및 안전 심사를 수행 (자주적 관리) 기업(제작사)의 자주적인 품질보증 능력을 육성하면서, JAXA는 이를 감독하고 최종 확인하는 체계 (단점) 외부공개된 문서가 적음				
적용 대상 및 범위	(대상) JAXA가 주관하는 프로젝트 및 JAXA의 책임이 포함된 공동 연구/개발 (방식) 프로젝트의 중요도/리스크에 따라 '중점 관리 대상'을 선정하여, 주요 단계별(PDR, CDR 등)로 안전 및 기술 심사를 수행 (범위) 시스템 설계 검증, 안전 심사, 소프트웨어 독립 검증(IV&V), 발사 전 심사 등 개발 전 과정				

관리시스템(SMS)의 적용을 비롯하여 다양한 안전성 확보 방안에 대한 연구가 이루어지고 있다. 향후 전기·하이브리드 추진 항공기, AI를 적용한 자율비행 등과 같이 기존 안전체계에 포함되지 않는 차세대 항공체계의 등장으로 더욱 폭넓은 안전확보 방안으로써 임무보증체계 적용에 대한 논의가 필요하다. 본 연구에서는 3개 기관의 임무보증체계를 운용 철학, 조직, 문서체계 관점에서 비교 분석하고 이를 통해 국내 항공산업 환경에 적용하기 위한 시사점을 도출하였다.

첫째, 운용 철학 측면에서 NASA는 위험 기반 접근을 통해 프로젝트별 임무 등급(Class A~D)에 따라 요구수준을 차등 적용하는 것이 특징이다. 반면, ESA는 제품보증을 통해 다국가 공급망의 품질 균일화 및 표준화에 중점을 두고 있다. JAXA는 현장 밀착형 기술지원을 통해 개발 효율성과 실효성을 높이는 방식에 주력한다는 점에서 각 기관의 차별성이 뚜렷하다.

둘째, 조직 구조·운용 측면에서 독립성과 효율성의 균형 수준에서 전략적 차이를 보인다. NASA는 프로젝트 관리 권한과 기술 권한을 엄격히 분리하는 독립형 모델을 채택하여 안전 최우선 문화를 보장하지만, 그만큼 조직 운영 비용이 높다. 반면 ESA는 다국가 협력체라는 특성상 표준 기반의 독립 부서를 두고 제품 단위의 품질 보증 활동에 집중한다. JAXA는 중앙 조직의 통제 기능 및 프로젝트 내부 S&MA 책임자의 실무 지원을 결합한 이원화 모델을 운용하여 현장 대응력 향상 및 실용성을 강화한다.

셋째, 문서체계 측면의 주요 쟁점은 추적성과 유연성 간의 균형이다. NASA는 정책-절차-표준으로 이어지는 다층 구조를 통해 완벽한 추적성을 확보하고 있으나, 민간기업에게는 높은 진입 장벽으로 작용할 수 있다. ESA는 ECSS 단일 표준을 통해 회원국 간 기술적 언어를 통일하였으며, JAXA는 관리요구사항과 기술요구 가이드라인의 2단계 구조로 단순화하여 필수 요건과 권고 사항을 명확히 구분함으로써 유연성을 제공한다.

이러한 비교 분석 결과를 바탕으로 우주항공청의 항공핵심임무보증체계 수립을 위한 시사점은 다음과 같다.

국내 항공산업은 정부 주도의 우주개발과 달리 정부가 국가연구개발사업을 발주하고 민간 기업이 참여하는 형태로, 대규모 자원(예산, 인력, 장비) 및 역량을 갖춘 NASA의 방식은 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 독립성 원칙을 유지하면서, JAXA의 현장 밀착형 지

원 방식을 혼합한 방식이 적절하다. 이를 위해 정책 표준은 내부 조직에서 총괄하고, 실질적인 기술 검증은 산-학-연 외부 전문가 워킹그룹을 활용하는 협력체계 구축이 필요하다.

또한 민간 중소기업, 스타트업 등의 참여를 확대하기 위해서는 문서체계의 단순화가 필요하다. NASA의 문서체계를 그대로 도입하기 보다는 JAXA의 요구사항-가이드라인(2단계) 모델을 벤치마킹하여, 필수 요건과 선택적 기술 지침을 구분해 제공하는 방식이 적합하다. 마지막으로 NASA의 등급 분류체계(Class A~D)를 장기적인 목표로 설정하고, 제도 도입 초기에는 단일 표준으로 운영하여 업계의 혼선을 최소화하고, 이후 점진적으로 세분화하는 단계적 접근이 효과적일 것이다.

2.2 우주항공청의 항공혁신임무보증체계 수립 방향

2.2.1 임무보증의 개념 및 범위

항공혁신 분야에서의 임무보증(mission assurance)은 산업체에게 단순한 시험성적서나 문서를 요구하는 규제적 행위가 아니다. 이는 우주항공청이 주관하거나 지원하는 연구개발사업의 기술적 성공(mission success) 가능성을 확보하기 위한 정부 차원의 기술적 행정 및 관리체제로 정의된다. 즉, 임무보증은 연구개발사업의 기획 단계부터 설계, 개발, 시험 등에 이르는 과정에서 기술적-관리적 잠재 위험(hazard)을 선제적으로 식별-통제하고, 목표로 하는 시스템의 성능과 품질이 구현되고 있는지 확인하는 성공 중심의 보증 활동이다.

임무보증의 핵심요소는 안전성(safety), 신뢰성(reliability), 정비성(maintainability), 품질보증(quality assurance)이며, NASA의 OSMA도 이를 기반으로 5대 분야로 세부 분류하고 있다.

이를 참고하여 본 연구에서는 항공혁신 분야 연구개발사업의 관리와 개발과정을 고려하여 관리(management)→설계(engineering)→구현(realization)으로 이어지는 Top-Down방식의 우선순위를 적용해 5대 핵심 요소를 정의한다. 이는 미래항공기의 기술적 불확실성을 통제하고 시스템의 무결성을 확보하기 위한 필수적인 프레임워크이다.

1. 위험관리(technical & programmatic risk management): 프로젝트의 성패를 가르는 최상위 활동으로 기술적 불확실성이 높은 연구개발사업에서 발생할 수 있는 위험요소를 식별하고, 기술적 난제가 향후 항공

기 인증의 걸림돌이 되지 않도록 인증 리스크와 연계하여 통합관리한다.

2. 시스템 안전(system safety): 항공기 개발의 최우선 가치인 인명 안전을 확보하기 위해, 시스템 결함이 치명적 사고로 이어지지 않도록 Fail-Safe 설계를 검증하고 ARP4761 등 국제 표준에 기반한 위험성 평가를 수행한다.

3. 신뢰성 및 가용성(reliability & maintainability, R&M): 도심항공교통(UAM) 등 미래 항공기의 경제성은 높은 가동률(availability)에 달려 있다. 따라서 고장률을 최소화하는 신뢰성 설계뿐만 아니라, 운용 중 발생한 결함을 신속하게 정비하여 항공기를 다시 운용할 수 있도록 설계 단계에서부터 정비 편의성(design for maintainability)을 보증한다.

4. 소프트웨어 보증(software assurance): 미래 항공기의 핵심인 AI 기반 자율비행 시스템의 무결성을 확보하기 위해, 기존의 DO-178C 표준 기반 검증과 더불어 AI 알고리즘의 데이터 적합성 및 사이버 보안(cybersecurity)에 대한 특화된 보증 활동을 수행한다.

5. 품질보증(quality assurance): 연구개발 단계의 시제기 제작뿐만 아니라 향후 양산을 고려하여, 복잡한 글로벌 공급망(supply chain) 내에서의 부품 품질 균일성과 제조공정의 적합성을 AS9100 수준으로 보증한다.

2.2.2 추진 전략 및 이행 체계 제안

앞서 정의한 항공혁신임무보증의 개념과 5대 핵심 분야를 실질적으로 구현하기 위해서는, 우주항공청의 역량 및 국내 항공산업 환경을 고려한 구체적인 이행 체계가 필요하다. 본 연구에서는 임무보증체계 도입을 위한 문서체계, 제도 도입 방안을 제안한다.

첫째, 문서체계 측면에서는 JAXA의 실용적 체계를 참고하여 문서체계를 요구사항-가이드라인 2단계로 이원화하는 것에 대해 고려가 필요하다. 요구사항은 시스템 안전, 품질보증, 위험관리 등 프로젝트 수행 시 반드시 준수해야 할 기술적-관리적 기준을 규정하며 “무엇을 해야 하는가”에 초점을 둔다. 가이드라인은 신뢰성 분석 기법, 소프트웨어 검증 절차, 데이터 검증 방안 등 “어떻게 수행할 것인가”에 대한 구체적인 방법론을 핸드북 형태로 제시해 실행 가능성을 높인다. 이러한 구조는 연구수행자에게 실질적인 실행 지침을 제공하는 동시에, 기술 구현 방식에 대한 자율성을 보장하는 효과가 있다.

둘째, 제도의 안정적 정착을 위한 단계적 도입 전략이 필요하다. 새로운 제도 도입은 업계의 혼란을 초래할 수 있으므로, 산업 성숙도와 프로젝트 위험 특성을 고려한 단계적 접근이 필요하다. 제도 도입 초기에는 NASA와 같은 임무 등급 분류를 적용하기보다 모든 프로젝트에 공통으로 적용 가능한 단일 표준을 운영하여 제도 인식 확산 및 조기 안착을 유도해야 한다. 이후 산업 생태계가 성숙하고 프로젝트의 규모·위험도가 다양해지면, 위험 수준과 기술 복잡도에 따라 요구사항을 차등 적용할 수 있도록 등급 분류 체계를 세분화하여 운영의 효율성과 실효성을 높여야 한다.

III. 결 론

3.1 연구 요약

본 연구는 급변하는 항공산업의 기술 패러다임 전환에 대응하고, 우주항공청이 추진하는 항공혁신 분야 연구개발 사업의 성공률을 제고하기 위해 한국형 항공혁신임무보증체계 수립 방향을 제시하였다. 이를 위해 미국(NASA), 유럽(ESA), 일본(JAXA) 등 항공우주기관들의 임무보증체계를 분석하고, 국내 항공산업 환경을 고려하여 적용 가능한 시사점을 도출하였다.

첫째, 주요 해외 기관의 사례 분석을 통해 각 기관의 차별적인 운영 전략을 도출하였다. NASA는 독립적 기술 권한에 기반한 엄격한 위험관리 체계를, ESA는 제품보증의 표준화를 통한 품질 균일화를, JAXA는 현장 밀착형 지원을 통한 실용성을 핵심 가치로 두고 있다. 이는 제도 설계 시 독립성과 효율성의 균형을 확보해야 함을 시사한다.

둘째, 이러한 분석을 바탕으로 우주항공청의 한국형 항공혁신임무보증체계 수립 방향을 제안하였다. 실행 전략으로는 ① 기술·프로그램 위험관리, 시스템 안전, 소프트웨어·데이터 보증 등을 포함한 항공분야 5대 임무보증 분야의 정립, ② 민간기업 및 연구기관의 부담을 최소화하기 위한 2단계 문서체계(요구사항-가이드라인) 도입을 제안하였다.

3.2 정책 제언 및 향후 과제

본 연구를 통해 도출된 항공혁신임무보증체계가 국내 항공산업에서 실효성 있게 기능하고, 우주항공청의 핵심 기술관리 수단으로 자리 잡기 위해서는 다음과

같은 정책적 노력과 후속 연구가 수반되어야 한다.

첫째, 임무보증 활동의 법적·제도적 근거를 마련하고 연구개발 프로세스에 내재화해야 한다. 임무보증은 단순한 권고 사항에 그치지 않도록, 우주항공청 소관 연구개발 사업의 규정 및 지침 등에 임무보증 수행 근거를 명시해야 한다. 특히 기획 단계부터 임무보증 등급을 분류하여 필수 예산과 인력을 의무적으로 배정하고, 주요 마일스톤마다 수행되는 기술 프로그램 위험관리 결과를 사업의 지속 여부를 판단하는 핵심 의사결정 지표로 활용할 필요가 있다.

둘째, 산·학·연 전문가 중심의 개방형 기술 협력 생태계를 조성해야 한다. 제도 도입 초기에는 우주항공청의 내부 인력만으로 인공지능, 자율비행, 전기추진, 신소재 등 급변하는 기술 트렌드를 모두 검증하는데 한계가 있으므로, 본 연구에서 제안한 기술 워킹그룹을 상설화하여 민간의 최고 전문가들이 표준 제·개정 및 기술 검토 활동에 참여할 수 있도록 해야 한다. 또한 임무보증 활동을 통해 축적된 분석 자료 및 기술 노하우를 산업계에 환류하여 국가 전체의 기술 역량을 제고하기 위한 구조 마련이 필요하다.

셋째, 감항당국과 협력체계를 구축하여 인증과의 연계성을 확보해야 한다. 임무보증은 연구개발의 성공뿐만 아니라, 최종 상용화를 위한 인증 획득과도 직결되어야 한다. 이를 위해 감항당국과 협력을 통해 임무보증 활동에서 확보한 검증 데이터 등이 인증 심사 시 활용된다면 인증에 소요되는 시간 단축, 자료 요구 중복 해소 등 업계의 부담을 줄일 수 있을 것이다.

넷째, 단계적 가이드라인 개발 및 시범사업 적용을 통해 임무보증체계의 현장 적합성을 검증해야 한다. 본 연구는 선진국 사례 분석을 통해 한국형 항공혁신임무보증체계의 거시적인 프레임워크를 제시했다는 점에서 의미가 있다. 향후에는 본 연구에서 정의한 5대 핵심 분야(안전, SW/데이터, 신뢰성/가용성, 품질, 위험관리 등)의 기술 가이드라인 구축을 통해 항공분야 임무보증 시 활용할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 2025년도 우주항공청 자체연구 “차세대 항공혁신 기술 표준화 및 임무보증 체계”(탐색 고유과제 2025-15)와 “항공혁신임무보증체계 수립방안 연구”(No. R25BK00816660)의 재원으로 지원을 받아

수행된 연구입니다. 본 연구 결과물은 우주항공청의 공식적인 입장이나 견해가 아니며, 연구자 개인의 의견이나 분석을 담고 있습니다.

References

1. Air Accidents Investigation Branch (AAIB), "Aircraft accident report: Vertical Aerospace VA-1X, G-EVTL", Air Accidents Investigation Branch, 2023, pp.1-35.
2. European Cooperation for Space Standardization (ECSS), "Space product assurance - Product assurance management", ECSS Secretariat, 2009, pp.15-45.
3. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), "System safety standard (JMR-001C)", Japan Aerospace Exploration Agency, 2011, pp.5-20.
4. Korea AeroSpace Administration (KASA), "Korea aviation innovation strategy", Korea AeroSpace Administration, 2025, pp.1-50.
5. Lee, J. O., Kim, S. W., Shin, K. H., Kim, Y. G. and Park, J. W., "A study on reliability requirements for space mission assurance", *Journal of Applied Reliability*, 25(3), 2025, pp.213-220.
6. National Aeronautics and Space Administration (NASA), "NASA policy for safety and mission success", NPD 8700.1F, National Aeronautics and Space Administration, 2022, pp.1-25.
7. National Aeronautics and Space Administration (NASA), "Risk classification for NASA payloads", NPR 8705.4B, National Aeronautics and Space Administration, 2024, pp.1-40.
8. National Aeronautics and Space Administration (NASA), "Reliability and maintainability (R&M) standard for spaceflight and support systems", NASA-STD-8729.1A, National Aeronautics and Space Administration, 2017, pp.10-30.
9. National Transportation Safety Board (NTSB), "Aviation investigation final report: Joby Aviation Inc., JAS4-2", National Transportation Safety Board, 2024, pp.1-15.
10. NASA Office of Safety and Mission Assurance, "Safety and mission assurance disciplines", NASA Office of Safety and Mission Assurance, 2024, Available from: <https://sma.nasa.gov>
11. Park, Y., "A study of the concept of safety and mission assurance and its applicability to domestic aerospace programs", KSAS Fall Conference, 2024, pp.1486-1487.
12. Lee, J., Kim, S., Shin, K., Kim, Y. and Park, J., "A study on reliability requirements for space mission assurance", *Journal of Applied Reliability*, 25(3), 2025, pp.213-220.
13. Kim, Y., Lee, W., Baek, M., Chun, Y. S. and Lee, N., "Quality cost mitigation strategy through satellite's mission assurance", *Journal of Aerospace System Engineering*, 9(2), 2015, pp.41-46.
14. Park, J. and Lee, K., "Study on application of safety management system to K-drone delivery", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 32(3), 2024, pp.189-195.
15. Park, W., "A study on the safety management of UAS by analyzing its accident factors", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 31(1), 2023, pp.1-10.