

유무인 복합체계 무인항공기의 체계통합시험 절차에 관한 연구

정 재 섭 *

A Study on System Integration Test Procedures of Unmanned Aerial Systems for Manned-Unmanned Teaming

Jaeseop Jeong*

이 논문은 2026년 정부(방위사업청)의 재원으로 수행된 연구임(915048401)

요 약

본 연구는 유무인 복합체계(MUM-T, Manned-Unmanned Teaming)에 적용되는 무인항공기의 단독임무 형상을 대상으로 체계통합시험(SIT, System Integration Test) 절차를 정립하였다. 제안한 절차를 실제 개발 과정에 적용한 결과, 총 33개 시험항목에서 110건의 문제점이 식별되었으며, Major 등급 문제는 설계 개선과 재시험을 통해 모두 해소되었고 전체 문제점의 82%가 개선되었다. 이러한 결과는 체계통합시험 절차가 비행시험 이전 단계에서 체계 수준의 위험요소를 효과적으로 식별하고 개선하여 시스템의 안정성과 신뢰성을 향상시키는 데 기여함을 보여준다. 또한 본 연구에서 정립한 절차는 향후 유무인 협업 운용 단계의 시험 절차 고도화를 위한 기반으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

This study establishes a System Integration Test (SIT) procedure for the standalone mission configuration of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developed for a Manned - Unmanned Teaming (MUM-T) system. The proposed procedure was applied to an actual development program, where 110 problems were identified across 33 test cases; all major problems were resolved through design improvements and re-testing, and 82% of the identified problems were eliminated. These results demonstrate that the SIT procedure effectively identifies and mitigates system-level risks before flight testing, thereby improving system stability and reliability. The established procedure provides a practical foundation for advancing SIT processes in future MUM-T operational phases.

Keywords

MUM-T, UAS, system integration test, configuration management, system engineering

* 국방과학연구소 제1기술연구원 제3체계개발단
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0086-6906>

• Received: May 15, 2026, Revised: Jun. 21, 2026, Accepted: Jun. 24, 2026
• Corresponding Author: JaeSeop Jeong
1st R&D Institute 3rd PMO, Agency for Defense Development
34186 Yuseong P.O.Box 35, Daejeon, Republic of Korea
Tel.: +82-42-821-3341, Email: jeongjs@add.re.kr

I. 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

최근 유무인 복합체계는 유인 플랫폼과 무인 플랫폼의 협업을 통해 임무 수행 능력을 향상시키는 핵심 기술로 주목받고 있다[1]. 항공 분야에서 유무인 복합체계의 성공적인 운용을 위해서는 유인 플랫폼과의 연동 이전에 무인항공기 체계 자체의 기능적 안정성과 운용 적합성이 우선적으로 확보되어야 한다[2]. 따라서 유무인 협업 기반이 되는 무인항공기 단독임무 형상의 안전성을 먼저 확보해야 하며, 이를 위해 비행체, 지상통제체계, 데이터링크 등 다수의 부체계를 통합하고 부체계 간 인터페이스와 기능 연동에 대한 검증이 필수적이다.

무인항공기 체계는 다양한 하드웨어와 소프트웨어로 구성되며, 체계 규모가 증가할수록 구성요소 간 상호작용 또한 복잡해진다[3]. 이러한 환경에서는 설계 단계에서 예상하지 못한 기능 오류, 인터페이스 불일치, 데이터 송수신 문제 등이 통합 과정에서 발생할 수 있다[4][5]. 특히 각 부체계는 독립적으로 설계 및 개발되는 경우가 많으므로, 개별 시험 단계에서는 정상적으로 동작하더라도 실제 통합 환경에서는 예상하지 못한 문제가 발생할 수 있다. 또한 장비의 물리적 배치, 통신 환경, 시험장 조건 등 실제 운용 환경에서만 나타나는 변수로 인해 설계 단계에서 확인되지 않은 문제점이 식별되기도 한다. 따라서 실제 체계 구성 상태에서 수행되는 체계통합시험은 개발된 부체계를 하나의 체계로 통합한 상태에서 설계 내용에 부합하는지 검증하고, 비행시험 이전에 잠재적인 위험요소를 식별하기 위한 중요한 단계이다[2][5]. 이 과정에서 발견된 문제점은 설계 개선과 형상변경을 통해 수정되며, 재시험을 통해 개선 효과를 검증하게 된다. 따라서 체계통합시험 단계에서는 문제점을 체계적으로 식별하고 관리할 수 있는 절차가 요구된다.

1.2 연구 목적 및 범위

본 연구의 목적은 유무인 복합체계에 적용될 무

인항공기의 체계통합시험 절차를 정립하고, 시험 과정에서 식별된 문제점의 분석과 형상변경 및 재시험 절차를 체계화하는 데 있다. 이를 위해 시험항목 구성 방법, 시험 수행 절차, 문제점 식별 및 원인 분석 절차, 형상변경과 재시험 절차를 단계별로 정립하고 이를 실제 개발 사례에 적용하여 제안한 체계통합시험 절차의 유효성을 확인하였다.

연구 범위는 유무인 복합체계에 적용할 무인항공기의 단독임무 형상으로 한정하며, 본 연구에서의 체계통합시험은 유인기를 제외한 비행체(AVS, Air Vehicle System), 지상통제체계(GCS, Ground Control System), 데이터링크(DLS, DataLink System)로 구성되는 무인항공기 체계의 통합을 대상으로 한다. 이를 위해 각 부체계 간의 인터페이스 및 핵심 운용 기능을 검증하기 위한 체계통합시험 절차를 연구 대상으로 하였다. 또한 시험항목 구성, 시험 수행 절차, 문제점 식별 및 원인 분석, 형상변경과 재시험 절차를 포함한 체계통합시험 수행 프로세스를 연구 범위로 하며, 유인기와의 연동 및 유무인 협업 운용 기능 검증은 본 연구의 범위에서 제외한다.

1.3 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 유무인 복합체계 및 체계통합시험 관련 선행연구를 분석하고 제3장에서는 본 연구에서 제안하는 단계별 체계통합시험 표준 절차를 기술한다. 제4장에서는 실제 무인항공기 체계에 제안 절차를 적용한 시험 사례와 그 효과를 분석하며, 마지막 제5장에서는 결론을 맺는다.

II. 유무인 복합체계 및 체계통합시험 개요

2.1 유무인 복합체계 개요

본 논문에서 유무인 복합체계는 유인기와 무인항공기 체계가 상호 연동하여 임무를 수행하는 복합 운용 체계로 유인기, 지상체, 비행체, 데이터링크로 구성되며, 각 부체계는 데이터링크를 통해 임무 및 상태 정보를 교환한다.

유무인 복합체계의 연구개발은 무인항공기 체계의 기본 운용 성능과 안정성을 확보하는 단독임무 운용 단계와, 이를 기반으로 유인기와 협업 기능을 검증하는 협업임무 운용 단계로 구분하여 수행된다. 단독임무 운용 단계에서는 지상체가 비행체를 직접 통제하는 형태로 운용되며, 비행체, 지상체 및 데이터링크로 구성된 무인항공기 체계의 기능과 인터페이스를 검증한다. 이후 협업임무 운용 단계에서는 유인기와 비행체 간 임무 및 상태 정보를 공유하고 유인기 통제 하에 다수 비행체를 운용하는 형태로 임무를 수행한다[6]. 이러한 운용 방식은 운용 반경을 확대할뿐만 아니라 고위험 임무를 무인항공기에 분담함으로써 유인기의 생존성을 향상시키는 장점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 향후 유무인 협업 임무를 수행할 수 있는 무인항공기 체계를 개발하기 위한 선행 단계로서, 단독임무 운용 단계의 체계통합시험 절차를 대상으로 연구를 수행하였다.

2.2 체계통합시험 개요

체계통합시험은 개별적으로 개발된 부체계를 하나의 체계로 통합하여 요구성능 충족 여부와 설계 적합성을 검증하는 단계이며, 본 연구에서는 체계공학 관점에서 무인항공기 체계의 통합 검증 과정으로 수행된다[2]. 특히 비행시험 단계에서 발생 가능성이 있는 문제를 지상에서 사전 식별하고 비행시험 진입 가능 여부를 판정하는 것이 주된 목적이다[5]. 체계통합시험은 단순 기능 검증을 넘어, 체계 간 인터페이스 적합성과 운용 절차의 일관성을 사전에 검증함으로써 비행시험 단계의 위험도를 감소시키는 역할을 수행한다.

본 연구에서의 체계통합시험은 체계설계 요구사항을 기반으로 도출된 시험 항목에 따라 진행되며, 각 시험의 수행결과를 세부항목별로 판정한다. 이 과정에서 식별되는 문제점은 설계 상의 결함을 파악할 수 있는 근거가 되며, 시험 종료 후 디브리핑을 거쳐 시스템 문제점 보고서(SPR, System Problem Report)로 문서화되어 설계사항을 보완하는 데 활용된다.

2.3 관련 연구 동향 및 선행 기술 분석

무인항공기 체계의 복잡성이 증가함에 따라 체계통합시험은 개별 부체계의 기능 검증을 넘어 시스템 수준에서 인터페이스와 운용 적합성을 검증하는 핵심 단계로 인식되고 있다. ISO/IEC/IEEE 15288은 System Life Cycle Processes를 정의한 국제표준으로, 시스템 통합과 검증을 핵심 기술 프로세스로 규정하고 있다[7]. 또한 NASA Systems Engineering Handbook에서는 체계통합시험을 비행시험 이전 단계에서 시스템 수준의 위험요인을 식별하고 설계 적합성을 검증하는 핵심 활동으로 제시하고 있다[8]. 그러나 이러한 표준과 지침은 시스템 개발의 일반적인 검증 원칙을 제시하는 수준이며, 실제 무인항공기 개발사업에 적용되는 구체적인 체계통합시험 절차와 문제점 관리 방법까지는 다루지 않는다.

무인항공기 체계통합시험과 관련하여 Shim et al. [2]은 UAV System Integration Laboratory를 구축하여 체계 수준의 기능 검증 환경을 제시하였으며, Cho[5]는 인터페이스 검증을 위한 시험환경과 절차를 연구하였다. 또한 Coopmans et al.[4]은 HIL/SIL 기반 비행체어 검증 기법을 제안하여 비행시험 이전 단계에서의 시스템 검증 가능성을 확인하였다. 그러나 이러한 연구는 시험환경 구축이나 특정 기능 검증에 중점을 두고 있으며, 시험 수행과정에서 발생하는 문제점의 관리와 형상변경, 재시험까지 포함하는 체계적인 시험 절차는 제시하지 않았다.

한편, 유무인 복합체계 분야에서는 Valavanis와 Vachtsevanos[1]가 무인항공기 기술의 발전 방향을 제시하였으며, Lee와 Park[6]는 유무인 복합체계의 기술 수준과 개발 동향을 분석하였다. 그러나 이러한 연구는 유무인 협업 운용 개념에 초점을 두고 있으며, 무인항공기 체계의 체계통합시험 절차에 대해서는 구체적으로 다루지 않았다.

이에 본 연구에서는 유무인 복합체계 무인항공기의 단독임무 형상을 대상으로 체계통합시험 절차를 단계별로 표준화하고 시험 수행부터 재시험까지 연계되는 문제점 관리 절차를 체계화하였다.

III. 체계통합시험 절차

본 연구에서는 유무인 복합체계 단독임무 형상 무인항공기의 체계통합시험을 수행하기 위한 절차를 제안한다. 그림 1은 제안하는 체계통합시험 절차의 전체 흐름을 나타낸다. 제안 절차는 체계설계 요구사항을 기반으로 시험항목을 구성하고, 이를 실제 체계에 적용하여 기능 및 인터페이스를 검증한 후, 시험 과정에서 식별된 문제점을 분석하여 형상변경과 재시험으로 연계하는 일련의 과정으로 구성된다. 이러한 절차의 목적은 시험 수행 자체보다는 시험 결과를 설계 개선으로 연결하고, 반복적인 검증을 통해 체계의 성숙도를 향상시키는 것이다. 따라서 본 연구에서는 체계통합시험 절차를 시험항목 도출, 체계통합시험 수행, 문제점 관리의 세 단계로 구분하여 제안한다.

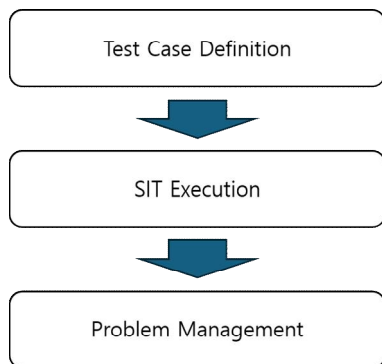


그림 1. 체계통합시험 절차
Fig. 1. System integration test procedure

3.1 시험항목 도출 절차

체계통합시험은 체계설계 요구사항을 실제 시험으로 검증하기 위한 단계이므로, 시험항목은 설계 문서와 일관성을 유지하도록 구성되어야 한다. 따라서 시험항목은 체계규격서, 체계설계서 및 연동통제 문서(ICD, Interface Control Document)에 기술된 기능 요구사항과 인터페이스 요구사항을 기반으로 도출하였다. 먼저 체계를 구성하는 기능과 인터페이스를 식별한 후, 이를 지상체(GCS, Ground Control System), 데이터링크(DLS, DataLink System), 비행체(AVS, Air Vehicle System), 체계 기능(SYS, SYStem)

및 엔진 작동(ERT, Engine Run Test) 등 시험 대상 분야별로 구분하였다. 이후 각 기능에 대하여 검증 목적과 수행 절차를 정의하고, 요구사항을 만족하는지를 확인할 수 있도록 시험항목을 구성하였다. 또한 각 시험항목에는 검사(Inspection), 분석(Analysis), 시연(Demonstration), 시험(Test) 중 적합한 검증 방법을 적용하여 요구사항의 특성에 맞는 검증이 이루어지도록 하였다. 특히 무인항공기 체계는 다수의 부체계가 데이터를 교환하며 운용되므로, 단순한 기능 확인뿐만 아니라 부체계 간 인터페이스, 데이터 송수신, 상태정보 일치성 및 운용 절차의 연속성을 확인할 수 있는 시험항목을 포함하도록 구성하였다.

3.2 체계통합시험 수행 절차

시험항목이 구성되면 체계통합시험은 시험 준비, 시험 수행 및 결과 분석의 순서로 진행된다. 시험 준비 단계에서는 체계가 시험 가능한 상태인지를 확인하기 위하여 부체계 상태 점검 및 시험 브리핑을 수행한다.

시험 준비가 완료되면 계획된 시험절차에 따라 시험항목을 순차적으로 수행한다. 각 시험항목에서는 요구된 기능이 정상적으로 수행되는지를 확인하고, 시험 수행 과정에서 확인된 결과는 Pass/Fail을 포함하여 시험일지에 기록한다. Fail이나 특이사항이 발생한 경우에는 발생 시점과 발생 현상을 함께 기록하여 이후 원인 분석에 활용할 수 있도록 한다.

시험 종료 후에는 시험 중 작성된 시험일지를 바탕으로 디브리핑을 수행한다. 디브리핑에서는 시험 과정에서 Fail이나 특이사항이 발생한 사항을 검토하고 설계 요구사항과 비교하여 문제점을 식별한다. 이 과정에서 수집된 시험 결과는 단순한 시험 이력으로 활용되는 것이 아니라 이후 문제점 분석과 형상변경 여부를 판단하기 위한 기초자료로 활용된다.

3.3 문제점 관리 절차

체계통합시험 과정에서 식별된 문제점은 설계 개선으로 연계될 수 있도록 체계적인 관리 절차에 따라 처리한다. 시험 수행 과정에서 식별된 문제점은

시스템 문제점 보고서(SPR, System Problem Report)로 작성하여 관리하고, 시험일지와 시험 데이터를 기반으로 발생 원인을 분석한다. 시험 데이터는 ABDR(Airborne Data Recorder)과 TDAS(Test Data Analysis System)를 활용하여 비행체 내부 데이터와 체계 간 송수신 메시지를 분석함으로써 문제 발생 시점과 원인을 확인한다. 이후 문제의 영향도와 심각도를 고려하여 Critical, Major 및 Minor 등급으로 분류하고, 등급에 따라 우선순위를 결정하여 후속 조치를 수행한다.

원인 분석 결과를 바탕으로 문제에 대한 조치계획을 수립하고 필요한 형상변경을 수행한다. 형상변경 과정에서 설계 변경 또는 설계 문서의 개정이 필요한 경우에는 형상통제심의회(CCB, Configuration Control Board)를 개최하여 변경 사항을 심의·승인하며, 승인된 결과를 반영하여 설계 문서를 개정한다. 이후 형상관리 절차에 따라 변경된 형상을 관련 부 체계에 배포하고 형상변경을 적용한다. 그림 2는 체계통합시험 과정에서 식별된 문제점이 원인 분석, 조치계획 수립 및 형상변경으로 이어지는 전체 문제점 관리 절차를 나타낸다. 이러한 절차를 통해 시험 과정에서 식별된 문제를 체계적으로 관리하고, 설계 개선이 필요한 사항은 형상변경으로 연계할 수 있도록 하였다.

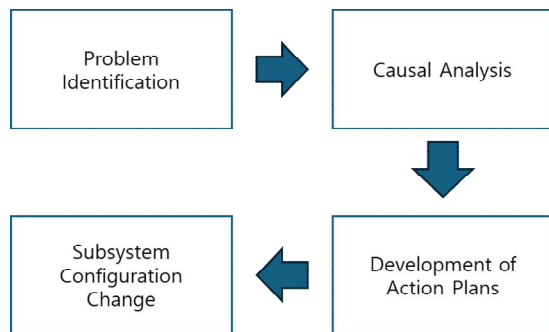


그림 2. 문제점 식별 및 형상변경 절차

Fig. 2. Problem identification and configuration change procedures

표 1은 형상변경 이후 수행되는 재시험 절차를 나타낸다. 먼저 재시험 대상 범위를 정의하여 변경된 형상과 직접적으로 관련된 시험항목 및 잠재적으로 영향을 받을 수 있는 시험항목을 선정한다. 이후 변경된 형상을 적용한 상태에서 재시험을 수행하여 기

존 문제점이 개선되었는지 확인하고, 형상변경으로 인해 새로운 문제점이 발생하지 않았는지를 검증한다. 마지막으로 재시험 결과 모든 요구사항을 만족하고 정상적인 운용이 확인되면 변경된 형상을 기준 형상(Configuration baseline)에 반영한다. 이와 같은 절차를 통해 형상변경 결과를 체계적으로 검증하고, 검증이 완료된 형상만을 기준 형상으로 관리함으로써 체계의 일관성과 추적성을 확보하도록 하였다.

표 1. 재시험 절차

Table 1. Re-test procedures

Procedure		Contents
1	Re-test scope definition	Define the scope of the re-test by including test items that are directly related to, or potentially affected by, the modified configuration
2	Re-test execution & verification	Perform the re-test with the modified configuration applied, and verify that previously failed test items have been resolved and that no adverse impacts have resulted from the configuration change
3	Configuration baseline update	Upon confirming that the re-test demonstrates normal operation and that all relevant test items have been successfully satisfied, update the configuration baseline to incorporate the modified configuration

본 연구에서 제안한 절차는 시험항목 도출부터 문제점 관리 및 재시험까지 하나의 연속적인 절차로 구성되며, 실제 개발 과정에 동일한 절차를 적용하여 그 유효성을 검증하였다. 다음 장에서는 제안한 절차를 유무인 복합체계 무인항공기 개발사업에 적용한 사례를 제시하고, 절차 적용 결과를 분석한다.

IV. 사례 연구 및 결과 분석

4.1 시험 환경 구축 및 시험수행

제안한 절차를 검증하기 위해 유무인 복합체계 무인항공기 체계를 대상으로 그림 3과 같이 체계통합시험 환경을 구성하였다.

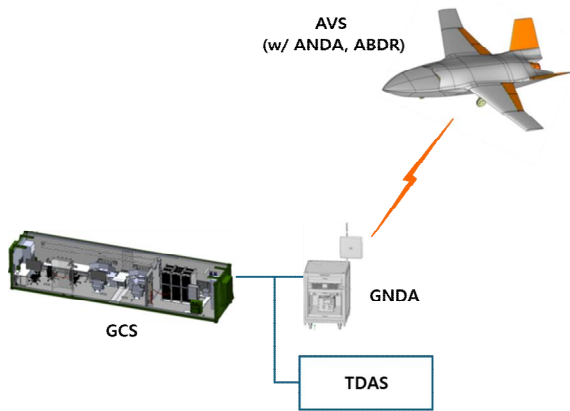


그림 3. 무인항공기 체계 체계통합시험 형상
Fig. 3. UAS SIT configuration

데이터링크는 지상편대통신장비(GNDA, Ground Network Datalink Assembly)와 탑재편대통신장비(ANDA, Airborne Network Datalink Assembly)로 구성하였으며, 체계통합시험은 지상체와 비행체 간 데이터링크를 통하여 RF 연동을 기본으로 시험을 진행하였다.

시험 항목은 표 2와 같이 통합시험환경 확인(ENV), 부체계 기능 점검(GCS, DLS, AVS), 엔진 작동 시험(ERT), 저속활주 기능 확인(LTT), 운용 기능 시험(OFT)으로 구성하였다.

표 2. 시험 항목 구성

Table 2. Test case configuration

No.	Category	ID	Test cases
1	SIT environment	ENV	4
2	Ground control system	GCS	4
3	DataLink system	DLS	3
4	Air vehicle system	AVS	12
5	Engine run test	ERT	2
6	System	SYS	6
7	Low speed taxi test	LTT	1
8	Operational functional test	OFT	1
Total			33

통합시험환경 확인부터 활주 기능 확인까지는 순서대로 진행되며, 운용 기능 확인 항목은 최종적으로 운용 기능에 대한 검증이 이루어지도록 하여 체계 안정성을 향상시키고자 하였다.

시험 데이터는 비행체 내부 데이터가 저장되는 ABDR 데이터와 지상체에서 송수신되는 메시지가

저장된 TDAS 데이터를 이용하여 통제명령과 상태 정보를 확인하였다.

4.2 문제점 식별 결과

전체 시험항목 33건을 대상으로 시험을 수행한 결과, Major 등급 2건을 포함하여 총 110건의 문제점이 식별되었다. 세부적인 발생 건수와 비율은 표 3과 같으며, 이를 등급별로 분류한 결과는 표 4에 나타내었다.

비행체 기능 확인 항목은 항법계통, 구동계통, 추진계통 등 다양한 계통 시험이 포함됨에 따라 가장 많은 문제점이 식별되는 것을 확인하였다.

식별된 문제점은 주로 전원 인가, 모드 변경, 비정상 상황 모사, 탑재장비 BIT(Built-In Test) 수행과 같은 과정에서 발생하였다.

표 3. 시험항목별 문제점 식별 결과

Table 3. Problem identification results by test case

ID	Count	Ratio
ENV	0	0.0%
GCS	1	0.9%
DLS	26	23.6%
AVS	55	50.0%
ERT	10	9.0%
SYS	8	7.3%
LTT	1	0.9%
OFT	9	8.2%
Total	110	100%

표 4. 등급별 문제점 식별 결과

Table 4. Problem identification results by severity

Severity	Count
Critical	0
Major	2
Minor	108
Total	110

문제점을 분석한 결과에서는 소프트웨어 로직, 인터페이스 불일치, 사용자 화면 전시 및 통신 로직 관련 항목이 주요 발생 원인으로 확인되었다. 특히 소프트웨어 로직 관련 문제점은 36건으로, 발생 원인에서 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 집계되었다. 시험 항목별 분포를 분석한 결과, 비행체 기

능 확인 항목에는 비행조종계통, 추진계통 등 다양한 계통의 기능 시험이 포함되어 있음에 따라 가장 많은 문제점이 식별되었다.

4.3 설계 개선 및 안전성 검증 결과

시험 과정에서 식별된 Major 등급 문제 2건(유압 유 누유, 구동기 작동 고장)은 해당 기능의 초기 시험에서는 발생하지 않았으나, 이후 다른 시험항목과 연계되어 동일 기능이 반복 수행되는 과정에서 발생하였다. 이러한 발생 양상을 바탕으로 반복적인 진동과 하중의 누적으로 하드웨어 내구성이 저하된 것이 주요 원인으로 분석되었다. 이에 대한 조치사항으로 진동과 하중을 견딜 수 있도록 전반적 하드웨어 설계를 보완하고 고내구성 하드웨어 및 장비로 교체하였다. 형상변경을 수행한 후 동일 시험조건에서 재시험을 실시하였으며, 재시험과 이후 수행된 체계통합시험 과정에서도 동일 문제가 재발하지 않았다. 따라서 해당 Major 문제는 모두 해소된 것으로 확인하였다. 결과적으로 전체 110건의 문제점 중 90건(82%)은 설계 개선 및 재시험을 통해 개선되었다. 나머지 20건은 Minor 문제로 체계의 핵심 기능 및 시스템 안정성에는 영향을 미치지 않는 것으로 확인되어 후속 형상 개선 대상으로 관리하였다. 이와 같은 사례 연구를 통해 본 연구에서 제안한 체계통합시험 및 문제점 개선 절차가 운용상 위험 요소를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 유무인 복합체계 무인항공기의 기본적인 운용 능력을 검증하기 위해 체계통합시험 절차를 수립하고 실제 개발 과정에 적용하여 그 효과를 검증하였다. 유무인 복합체계는 비행체, 지상통제체계 및 데이터링크 등 다양한 구성요소가 상호 연동되어 운용되므로, 비행시험 이전 단계에서 체계 수준의 기능 검증과 문제 식별이 중요하다. 이에 본 연구에서는 시험환경 구성, 시험 수행, 문제점 식별, 문제 등급 분류, 설계 개선 및 재

시험으로 구성된 체계통합시험 절차를 제안하고 이를 적용하였다.

체계통합시험 수행 결과 총 110건의 문제점이 식별되었으며, 문제의 영향도와 심각도에 따라 Critical, Major, Minor 등급으로 분류하여 관리하였다. 분석 결과 Critical 등급 문제는 발생하지 않았으며, Major 등급 문제는 2건, Minor 등급 문제는 108건으로 확인되었다. Major 등급 문제는 비행체 진동에 따른 하드웨어 체결부의 구조적 취약성과 관련된 항목으로 분석되었으며, Minor 등급 문제는 소프트웨어 운용 로직, 사용자 인터페이스, 시험환경 및 절차와 관련된 항목에서 다수 확인되었다. 이러한 결과는 체계통합시험이 단순한 기능 검증을 넘어 체계 구성품 간 상호작용 과정에서 발생하는 다양한 문제를 식별할 수 있는 효과적인 검증 수단임을 보여준다.

식별된 문제에 대해서는 원인 분석과 설계 개선을 수행한 후 재시험을 실시하였다. 그 결과 Major 등급으로 분류된 문제는 재발하지 않았으며, 개선 조치 이후 체계 기능이 정상적으로 수행됨을 확인하였다. 또한 Minor 등급 문제에 대해서도 개선 사항을 반영하여 체계의 안정성과 운용성을 향상시킬 수 있었다. 이를 통해 체계통합시험 기반의 문제 식별 및 개선 절차가 시스템 신뢰성 향상에 효과적으로 기여할 수 있음을 확인하였다.

특히 본 연구를 통해 체계통합시험은 비행시험 이전 단계에서 하드웨어, 소프트웨어 및 체계 연동 과정에서 발생할 수 있는 문제를 조기에 발견하고 개선할 수 있는 중요한 검증 단계임을 확인하였다. 이는 비행시험 과정에서 발생 가능한 위험을 감소시키고 개발 비용 및 일정 지연 요소를 최소화하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

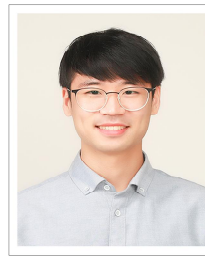
본 연구의 의의는 유무인 복합체계 무인항공기를 대상으로 체계통합시험 수행 절차와 문제점 관리 절차를 체계적으로 정립하고, 실제 시험 결과를 통해 그 적용성을 검증하였다는 점에 있다. 향후에는 실제 비행시험 단계 및 유인기와의 협업 단계에서 발생하는 문제 사례를 추가적으로 분석하고, 이를 체계통합시험 단계에서 선제적으로 식별할 수 있도록 시험 항목 및 절차를 지속적으로 고도화할 예정이다.

References

- [1] K. P. Valavanis and G. J. Vachtsevanos, "Future of Unmanned Aviation," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Vol. 74, No. 1-2, pp. 3-15, Apr. 2014. <https://doi.org/10.1007/s10846-013-9956-0>.
- [2] J. I. Shim, H. C. Woo, S. J. Kim, and S. J. Jung, "Development of Unmanned Aerial Vehicle System Integration Laboratory (UAV SIL) for Integrated Verification", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 27, No. 1, pp. 70-79, Feb. 2024. <https://doi.org/10.9766/KIMST.2024.27.1.070>.
- [3] A. M. Madni and S. Jackson, "Towards a Conceptual Framework for Resilience Engineering in System-of-Systems", *IEEE Systems Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 673-683, Jun. 2016. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2015.2421752>.
- [4] C. Coopmans, M. Podhradsky, and N. V. Hoffer, "Software- and Hardware-in-the-Loop Verification of Flight Dynamics Model and Flight Control Simulation of a Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicle", 2015 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS), Cancun, Mexico, pp. 1-8, Nov. 2015. <https://doi.org/10.1109/RED-UAS.2015.7440998>.
- [5] S. M. Cho, "A Study on Test Environment and Process for Interface Verification of Unmanned Aerial Systems", *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 40-47, Jun. 2019. <https://doi.org/10.20910/JASE.2019.13.3.40>.
- [6] H. Lee and J. Y. Park, "Level and Program Analytics of Manned-Unmanned Teaming (MUM-T) System", *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 25, pp. 1-12, Dec. 2023. <https://doi.org/10.1007/s42405-023-00675-4>.
- [7] ISO/IEC/IEEE, ISO/IEC/IEEE 15288:2023 Systems and Software Engineering—System Life Cycle Processes, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, May 2023. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2023.10123367>.
- [8] National Aeronautics and Space Administration (NASA), NASA Systems Engineering Handbook, NASA/SP-2016-6105 Rev.2, Washington, DC, USA, 2016.

저자소개

정 재 섭 (Jaeseop Jeong)



2023년 2월 : 한서대학교
항공시스템공학과(공학석사)
2023년 4월 : 한국항공우주연구원
연구원
2025년 4월 ~ 현재 :
국방과학연구소 연구원
관심분야 : 무인항공기, 체계종합