

무인항공기 체계 연동검증을 위한 시험환경 및 검증절차에 관한 연구

조선미^{1,†}¹국방과학연구소

A Study on Test Environment and Process for Interface Verification of Unmanned Aerial Systems

Sunme Cho^{1,†}¹Agency for Defense Development

Abstract

This paper proposes the environment construction and test method of system integration laboratory (SIL) and system integration test (SIT) for verification of interface between onboard equipment and ground control equipment of unmanned aerial systems (UAS). This research also describes the interface environment between subsystems built in SIL and verification methods for the systems' operation logic through simulated flights. Similarly, the paper handles the ground integration test process of UAS in the real testing environments.

초 록

본 논문은 무인항공기 체계(UAS; unmanned aerial system)의 비행체 탑재장비 및 지상에서 운용하는 장비의 연동 검증을 위한 체계통합실험실(SIL; system integration laboratory) 및 체계통합시험(SIT; system integration test)의 환경 구축 및 이를 통한 검증방법에 대하여 다룬다. SIL 내 구축된 지상통제체계, 데이터링크체계, 비행체 탑재장비, 임무장비(EO/IR, SAR) 등과 같은 부체계간의 인터페이스 환경 및 모의 비행을 통한 체계 운용로직의 검증방법과 실험실 레벨에서의 검증이 완료된 각 부체계를 실제 시험 환경에서 검증하는 방법에 대해 기술한다.

Key Words : Unmanned Aerial System(무인항공기 체계), System Integration Laboratory(체계통합실험실), System Integration Test(체계통합시험), Interface Verification(연동 검증), System Operation Logic Test(체계 운용 로직 시험)

1. 서 론

무인항공기 체계(UAS; unmanned aerial system)는 비행체(AVS; air vehicle system), 지상통제체계(GCS; ground control system), 데이터링크체계(DLS; data-link system) 및 임무장비(MPS; mission payload system) 등 다양한 부체계(subsystem)를 통합한 복합체계이며, 타 무기체계와 비교하여 생명의

위협에 대한 우려 없이 필요한 임무를 효과적으로 수행하면서 경제성이 뛰어난 장점을 지니고 있어 세계 각국에서 지속적으로 개발되고 있다.[1, 2] 시스템의 복잡도가 매우 높은 복합체계를 개발함에 있어 비행 전 여러 단계의 검증시험을 수행하여 기능 및 성능을 포함한 요구도가 검증되어야 하며, 다양한 시험을 통한 신뢰도 검증 및 개발기간 최소화 등을 위한 시험환경 구축이 필수적이다.[3, 4] 무인항공기의 특성에 따라 다양한 비행 상황 모의를 통한 기능, 연동 등의 확인이 가능한 실험실 환경에서의 검증을 우선적으로 수행하여야 하며, 실험실 환경에서의 검증이 완료되면 각 부체계 장비들은 실제 환경에서의 검증을 수행하게

Received: Feb. 07, 2019 Revised: May. 26, 2019 Accepted: May. 28, 2019

† Corresponding Author

Tel: +82-42-821-0713, E-mail: smcho@add.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

되며, 여러 단계의 검증시험을 거쳐 비행시험에 진입하게 된다.[5, 6]

본 논문에서는 무인항공기 체계의 연동 검증을 위한 시험 환경 구축 및 이를 통한 검증절차에 대하여 다룬다. 비행체 탑재장비 및 지상에서 운용되는 장비들의 연동 및 운용로직을 검증하기 위한 시험 환경은 실험실 환경에서 검증이 가능한 체계통합실험실(SIL; system integration laboratory)과 실(Real) 비행체와 실 지상통제체계를 사용하여 실제 환경에서 검증하는 체계통합시험(SIT; system integration test)으로 분류하였다. 체계SIL 및 체계통합시험 수행을 위한 환경 구성, 체계SIL 환경을 통한 실험실 단계에서의 부체계 간 연동 및 모의비행을 통한 체계 운용로직 검증 절차, 체계통합시험 환경을 통한 지상에서의 연동 검증 절차, 시험 수행 간 발생하는 부체계 장비의 하드웨어 및 소프트웨어 변경을 위한 형상통제방안, 시험결과분석 및 문제점 처리방안에 대해서 기술한다.

2. 무인항공기 체계 연동 설계

무인항공기 체계는 비행체(AVS), 지상통제체계(GCS), 데이터링크체계(DLS) 및 임무장비(MPS)로 구성된다. 탑재장비는 비행체의 항법 및 유도, 추진, 연료, 착륙, 유압 등의 비행필수 계통장비들을 통제/관리하는 비행조종컴퓨터(flight control computer), EO/IR 및 SAR와 같은 임무장비 및 무전기, 카메라, 방빙 계통 등을 통제/관리하는 통합임무관리컴퓨터(integrated management computer)로 분류된다. 위 컴퓨터들로부터 발행되는 모든 통제명령 및 그에 따른 상태정보는 탑재데이터링크 제어기를 거쳐 탑재 컴퓨터들로 또는 지상통제체계로 전달된다. 이와 같이 다양한 부체계간 송수신하는 메시지를 정의하기 위해서는 연동 설계가 우선적으로 수행되어야 한다. 체계의 기능 구조나 체계를 구성하는 부체계간 연동구조는 N^2 차트(N square chart)를 이용하여 Fig. 1과 같이 표현이 가능하다. N^2 차트에서 수평선은 입력, 수직선은 출력을 의미한다. 무인항공기 체계를 구성하는 부체계간 연동메시지의 상세함목은 Table 1과 같이 설계하였다.

각 부체계간 실제 송수신하는 통제명령 및 상태정보와 관련된 연동 메시지는 연동통제문서(ICD; interface

control document)에 기술하였으며, ICD에 정의된 메시지를 기준으로 부체계 장비 소프트웨어를 구현한다.

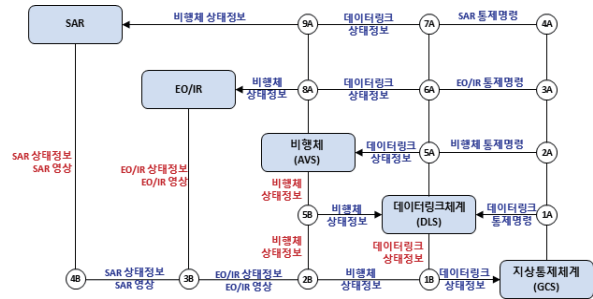


Fig. 1 Interface Diagram of UAS

Table 1 Interface Messages

연동관계		내용
GCS-DLS	1A	• 데이터링크 통제명령
GCS-AVS	2A	• 비행체 통제명령 • 체계모드 및 비행조종방식 • 고장코드 • 비행계획 데이터
GCS-EOIR	3A	• EO/IR 통제명령 • 촬영계획 데이터
GCS-SAR	4A	• SAR 통제명령 • 촬영계획 데이터
DLS-AVS	5A	• 데이터링크 상태정보
DLS-EOIR	6A	• 데이터링크 상태정보
DLS-SAR	7A	• 데이터링크 상태정보
AVS-EOIR	8A	• 비행체 상태정보 • 체계모드 및 비행조종방식 • 고장코드
AVS-SAR	9A	• 비행체 상태정보 • 체계모드 및 비행조종방식 • 고장코드
DLS-GCS	1B	• 데이터링크 상태정보
AVS-GCS	2B	• 비행체 상태정보 • 비행계획 데이터 • 영상정보
EOIR-GCS	3B	• EO/IR 상태정보 및 영상 • EO/IR 촬영상태정보
SAR-GCS	4B	• SAR 상태정보 및 영상 • SAR 촬영상태 정보
AVS-DLS	5B	• 비행체 상태정보 • 체계모드 및 비행조종방식 • 고장코드

3. 체계 연동검증을 위한 시험환경 구축 및 검증절차

체계의 기능 및 부체계간 연동메시지에 대한 검증은 비행체, 지상통제체계 탑재장비와 각종 모의장비로 구성된 실험실 환경과 실 비행체와 실 지상통제체계를 통합하여 구성한 실험실을 통하여 이루어진다. 체계통합시험 수행 전, 실험실 환경에서의 검증이 우선적으로 수행되어야 한다. 비행시험 전 모의비행시험을 통해 검증해야 하는 항목이 있으며, 사전에 실험실 환경에서 검증함으로써 체계통합시험을 수월하게 진행하기 위함이다.

3.1 체계통합실험실(SIL) 환경 구성 및 검증 절차

3.1.1 체계통합실험실(SIL) 환경 구성

체계통합실험실(SIL, 이하 체계SIL)은 비행체, 지상통제체계에 탑재되는 실장비를 실제 환경과 같이 연결하여 실 비행체와 실 지상통제체계의 통합 단계 이전에 실험실 레벨에서 체계의 기능, 연동 및 성능을 확인하고, 인터페이스를 검증하기 위한 시험 시설을 의미한다. 체계SIL은 지상장비부분, 탑재장비부분, 운용장비부분으로 구성되며, Fig. 2와 같다. 체계SIL 환경은 실제 무인항공기에 탑재되는 실장비와 동일한 장비를 장착하여 구성하되, 엔진, 전자파를 방사하는 안테나장치 등과 같이 실험실 환경에서는 안전상의 이유로 사용이 제한되는 일부 장비는 모의장치를 사용하여 구성한다.



Fig. 2 Diagram of System Integration Laboratory

지상장비부분은 지상통제체계 SIL로 지상통제체계부분을 구성하고, 데이터링크체계 SIL의 지상부분을 추가하여 구성한다. 실체계 운용 시, 데이터링크체계

지상부와 탑재부는 무선(RF)으로 연동되지만, SIL 환경에서는 실험실 환경적인 제한으로 인하여 RF 구간을 모의장비로 구성하고 데이터링크체계 지상부와 탑재부 간의 연동은 유선케이블로 연결하여 구성함으로써 실장비와 동일한 기능을 제공한다.

탑재장비부분은 항공전자계통과 다른 부체계간의 인터페이스 검증을 위한 항공전자 SIL, 비행조종계통의 실장비와 모델을 이용한 비행 상황 모의 및 비행성능 검증을 위한 비행조종 HILS(hardware-in-the-loop simulation)를 기반으로 항공전자계통과 비행조종계통을 구성하며, 데이터링크체계 SIL의 탑재부를 유선으로 연결하여 구성한다. 이 부분에 EO/IR, SAR 실장비와 모의장치를 추가적으로 장착하여 연동함으로써 비행체 1대에 탑재되는 실장비와 동일한 기능을 제공한다.

운용장비부분은 비행데이터분석장비, 운용화면저장/재생장비, 체계ICD모니터링장비 및 각종 지상장비부분 배선조립체로 구성된다. 비행데이터분석장비는 MIL-STD-1553B, CAN 통신 등의 비행체 연동통제문서에 의해 정의된 비행데이터와 외부의 실시간 비행시뮬레이터와의 연동채널인 RFM 통신을 통해 수집된 모든 비행데이터, 그리고 체계 연동통제문서에 따라 정의되어 송수신하는 체계 연동메시지를 수집하여 저장하는 기능을 제공한다. 운용화면저장/재생장비는 체계SIL 시험 수행간의 운용화면에 대한 저장 및 재생기능을 제공하여 시험 수행 후 시험결과를 분석하는데 활용이 가능하다. 체계ICD모니터링장비는 Ethernet 인터페이스를 통하여 수신되는 메시지를 실시간으로 저장 및 전시하는 기능을 제공한다.

물리적인 인터페이스 측면에서 SIL을 구성하는 장비들은 실장비 구성과 동일하게, MIL-STD-1553B, Gigabit Ethernet, ARINC 429, RS-232, RS-422 등으로 연동된다.

3.1.2 체계SIL을 통한 검증 절차

체계SIL환경을 통한 실험실 레벨에서의 무인항공기 체계 검증 방법은 부체계간 연동 검증, 정상 상황 운용로직 검증 및 비정상/비상 상황 운용로직 검증시험으로 분류된다.

- 연동 검증을 위한 시험 Case

체계를 구성하는 부체계의 기능 및 연동 검증시험은 Fig.3과 같이 점진적으로 수행하였다. 지상통제체계 자체 운용점검 및 지상통제체계를 구성하는 각 장비의 기능시험을 수행하여 지상통제체계 구성장비의 정상운용을 확인하였다. 기능 검증이 완료된 지상통제체계와 데이터링크체계의 안테나 장비를 제외한 실장비 연동을 통하여 데이터링크 지상부 및 탑재부 자기진단 기능 확인 및 연동설계 상 정의된 지상통제체계-데이터링크 간 통제명령 및 상태정보 메시지의 정상 송수신을 확인하였다. 앞서 검증을 완료한 부분을 기반으로 항공전자SIL 및 비행조종HILS와의 연동을 먼저 수행한 후, 임무장비(EO/IR, SAR) 연동을 수행하였다. 이를 통하여 비행체 탑재장비와 임무장비(EO/IR, SAR)의 기능을 확인하였으며, 앞서 정의한 모든 연동 메시지가 정상적으로 송수신됨을 확인함으로써 부체계 간 연동 검증 수행 시험을 완료하였다.

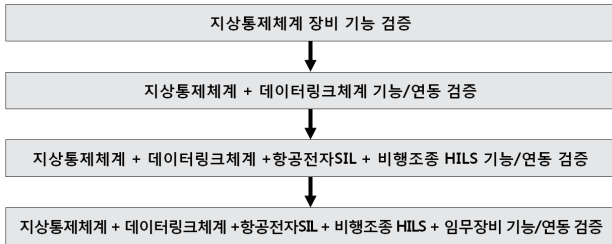


Fig. 3 Interface Verification Process of System Integration Laboratory(SIL)

- 정상 상황 운용로직 검증을 위한 시험 Case
연동 검증을 완료한 지상통제체계, 데이터링크체계, 항공전자SIL, 비행조종HILS 및 임무장비를 기반으로 정상 상황에 대한 운용로직 검증 시험을 수행하였다. 항공전자SIL과 비행조종HILS를 활용하여 비행상황을 모의하였으며, 이륙모드에서부터 착륙모드까지 체계모드에 따라 정의된 비행조종방식이 정상적으로 전이됨을 확인하였다. 각 단계별로 요구된 기능을 확인함으로써 정상 상황에서의 체계 운용로직 및 기능 검증을 완료하였다.
- 비정상/비상 상황 운용로직 검증을 위한 시험 Case
정상 상황 외에도 비행 중에 발생할 수 있는 다양한 비정상/비상 상황이 있으며, 이에 대한 운용로직 검증

또한 필요하다. 엔진고장, 복합항법장치 고장 및 랜딩기어 고장 등으로 비행종료에 이르거나, 안전착륙이 불가능한 경우는 비상상황으로 식별하였다. 데이터링크 두절, 지상통제장비 고장, 주발전기 고장, 단일 조종면 고장 및 복합 고장 등으로 계속적인 임무수행이 불가능하여 조기 귀환 조치가 필요한 경우는 비정상 상황으로 식별하였다. SIL 환경에서 해당 고장 상황을 모의하여 각각의 경우에 대한 대처 로직 검증을 수행하였으며, Table 2 및 Table 3와 같이 검증시험 수행 결과 설계내용과 결과가 동일함을 확인하였다.

Table 2 Results for Emergency Situation Logic Test

시험항목		예상결과	판정
비상 상황	엔진 고장	<ul style="list-style-type: none"> • 이륙모드: 이륙중지 • 임무모드: 비행종료 • 착륙모드: 자동착륙 	정상
	복합항법장치 고장	<ul style="list-style-type: none"> • 이륙중지 	정상
	랜딩기어 고장	<ul style="list-style-type: none"> • 비행종료 	정상

Table 3 Results for Abnormal Situation Logic Test

시험항목		예상결과	판정
비정상 상황	데이터링크 두절	<ul style="list-style-type: none"> • 지상모드: 활주중지 • 이륙모드 <ul style="list-style-type: none"> - 지상: 이륙중지 - 공중: 자동귀환 • 임무모드: 자동귀환 • 착륙모드: 자동착륙 	정상
	지상통제장비 고장	<ul style="list-style-type: none"> • 지상모드: 활주중지 • 이륙모드 <ul style="list-style-type: none"> - 지상: 이륙중지 - 공중: 자동귀환 • 임무모드: 자동귀환 • 착륙모드: 자동착륙 	정상
	주발전기 고장	<ul style="list-style-type: none"> • 지상: 이륙중지 • 공중: 자동귀환 	정상
	단일 조종면 고장	<ul style="list-style-type: none"> • 자동귀환 	정상
	복합 고장	<ul style="list-style-type: none"> • 비행종료 	정상

3.2 체계통합시험 환경 구축 및 검증 절차

3.2.1 체계통합시험 환경 구축

체계 SIL 환경을 통하여 실험실 레벨에서의 비행체 구성품, 데이터링크체계 구성품, 지상통제체계 구성품의 검증을 완료하고, 체계 정상운용 로직 및 비상/비정상 운용 상태에 대한 검증을 완료한 이후 체계통합시험 단계에 진입한다. 체계통합시험 환경은 실제 환경에서 비행체, 지상통제체계, 가시선데이터링크 및 위성 데이터링크체계를 연동한 형상으로, 시험 수행을 지원하기 위한 각종 시험 지원 시설 등을 포함하여 Fig 4와 같이 구성된다.

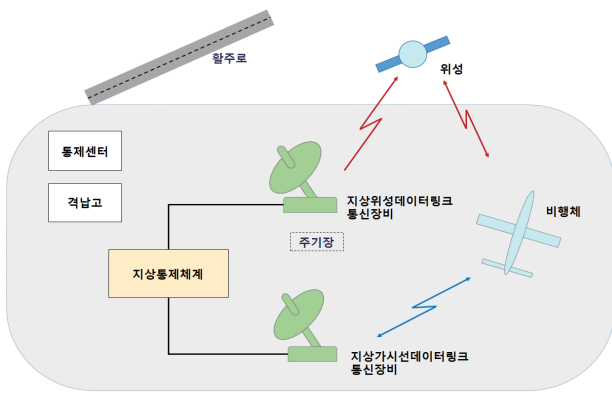


Fig. 4 System Integration Test(SIT) Environment Configuration of UAS

체계통합시험이 수행되는 주기장 내에는 운용기지 내에 고정되어 있는 고정형 지상통제장비 및 유사시 이동이 가능한 이동형 지상통제장비를 포함한 지상통제체계가 구축되어 있으며, 지상 가시선데이터링크 통신장비 및 지상 위성데이터링크 통신장비와 유선으로 연동하여 구성된다. 지상 가시선데이터링크 통신장비는 무선 RF 통신을 통하여 비행체에 탑재되어 있는 가시선 데이터링크 탑재부와 연동설계 상 정의된 통제 명령 및 상태정보 등을 송수신하고, 이와 마찬가지로 지상 위성데이터링크 통신장비는 위성을 통하여 비행체에 탑재되어 있는 위성 데이터링크 탑재부와 통신하며 각종 통제명령과 상태정보 등을 송수신하게 된다.

시험장비 외에도 체계통합시험을 수행에 필요한 지원장비로는 비행체를 구성하는 각 계통 및 부체계의 점검에 특화된 점검장비, 비행체에 전원, 연료, 윤활유, 유압 등을 보급해주는 각종 공급장치, 비행체 이동 및 정비지원을 위한 각종 차량 및 시험 수행 간 무선통신

을 위한 각종 통신장비 등이 포함된다. 또한 비행체의 보관, 점검, 정비 및 시험구성 장비를 보관 등에 활용되는 격납고가 시험에 지원되며, 지상활주/이착륙 등과 같은 비행체의 동적 운용에 필요한 활주로가 지원된다.

3.2.2 시험 데이터 분석 환경 구축

체계통합시험 진행상황은 통제센터를 활용하여 모니터링이 가능하며, 통제센터 내에는 시험데이터를 실시간으로 저장, 모니터링, 분석이 가능한 비행시험분석장비를 설치하여 운용한다. 비행시험분석장비는 Fig. 5와 같이 이더넷스위치를 통하여 지상통제체계와 UDP 프로토콜로 연동하며, 서버와 클라이언트로 분류하여 운용한다. 서버와 클라이언트 간의 연동은 TCP/IP 및 UDP 프로토콜로 연동하며, 서버는 지상통제체계로부터 실시간으로 시험데이터를 수신하고 저장하며, 실시간 시험데이터 및 저장데이터를 클라이언트에 전송한다. 클라이언트는 서버로부터 수신받는 시험데이터와 저장된 시험데이터를 텍스트, 그래프, 게이지 등 다양한 형태로 전시하는 기능을 제공하며, 추가적으로 시험 수행 간 발생하는 특이사항에 대하여 운용자가 인지할 수 있도록 필요한 알람을 설정하는 기능을 보유한다. 비행시험분석장비를 통하여 획득된 시험데이터를 활용하여 시험 수행 간에 발생한 상황에 대하여 시험 수행 이후에도 분석이 가능하다.

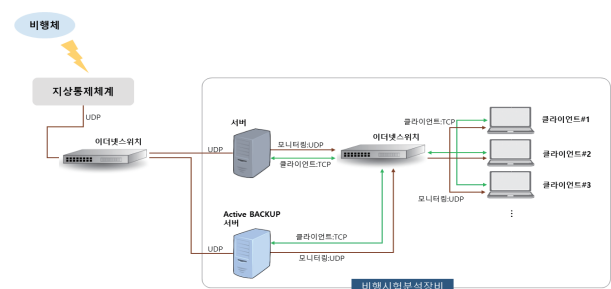


Fig. 5 Test Data Analysis System

3.2.3 체계통합시험을 통한 검증 절차

주어진 체계통합시험 환경을 기반으로 실 비행체와 실 지상통제체계의 기능 및 연동검증을 위하여 다양한 종류의 시험항목을 식별하였으며, 시험항목은 시험환

경 점검 시험, 지상통제체계 운용 점검시험, 데이터링크체계 연동 시험, 비행체 탑재장비(비행조종계통, 항공전자계통, 추진계통, 착륙유압계통, 연료계통 등) 연동 시험, EO/IR 및 SAR 연동 시험, 비행체 엔진 작동 시험, 정상 및 비정상 상황 체계 운용 로직 확인 시험 등으로 분류하였다. 이와 같이 분류한 시험항목들을 포함하여 Fig. 6의 절차를 통해 실 비행체와 실 지상통제체계에 대한 기능 및 연동 검증을 수행하였다.

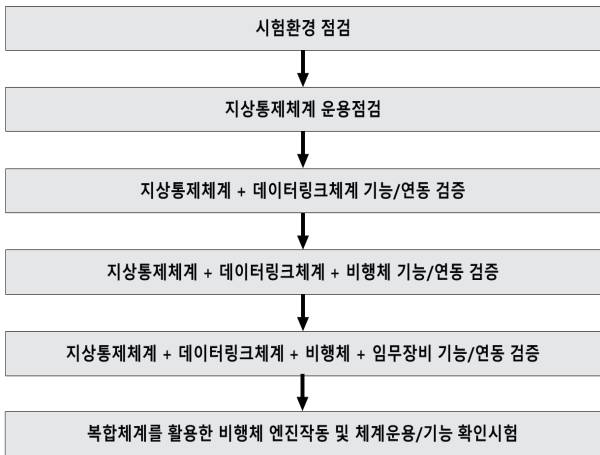


Fig. 6 Interface Verification Process of System Integration Test

3.3 체계SIL 및 체계통합시험을 통한 형상통제 방안

체계SIL 및 체계통합시험을 수행함에 있어 무인항공기 체계를 구성하는 다양한 장비에 대한 하드웨어 및 소프트웨어 형상관리는 필수적이다.

먼저 각 계통 및 부체계 장비를 장탈착하거나 물리적인 변경과 같은 하드웨어 형상통제의 경우는 일련번호(S/N: Serial Number) 및 변경사항을 기재한 변경요구서와 작업의뢰서를 바탕으로 장비의 장탈착 현황 및 변경사항을 종합적으로 관리한다.

모든 계통 및 부체계 장비의 소프트웨어는 연동관계를 정의한 ICD에 따라 구현되며, 시험 수행 간 발생하는 문제 또는 개선사항으로 인한 소프트웨어 형상 변경은 정의된 ICD 범위 내에서 이루어진다. 소프트웨어 형상 변경 시에는 버전 및 변경사항을 기재한 변경요구서를 작성하여 관리한다. 하드웨어 및 소프트웨어

형상 변경 시 사용하는 서식은 Fig. 7 과 같다.

형상통제의 기준이 되는 ICD가 업데이트 되는 경우, 각 계통 및 부체계는 해당하는 장비에 대한 소프트웨어를 이에 맞게 구현하여 체계SIL 환경에서 우선적으로 연동 검증을 수행한다. 이때 Fig. 3의 절차를 토대로 ICD 변경과 직접적으로 관련된 내용을 우선적으로 검증한 뒤, 정상, 비상 및 비정상 상황 로직 검증을 수행한다. 형상 변경사항에 대하여 체계SIL에서 검증이 완료되면, 체계통합시험 환경에도 동일한 형상을 적용한다. 이후 Fig. 6의 절차에 따라 시험을 수행함으로써 해당 ICD 업데이트에 따른 형상 변경사항에 대한 검증이 완료된다.

[Configuration Change Request and Confirmation Form]

비행체/지상체 변경 요구 및 확인서

제출		일련번호	
		호기	
비행체/지상체 변경 요구서			
S/N No.	구분	부품번호	CI 번호
	기술명	기술부	기술부
명관정보	하드웨어		일련번호
	소프트웨어		비전
변경요구			
작업내용			
요구/검토	요구 부서	작성자	요구부서 책임자
승인	기술 검토	기술부	기술부
	승인일자		승인부서
비행체/지상체 변경 확인서			
명관정보	구분	부품번호	CI 번호
	하드웨어		일련번호
작업결과	소프트웨어		비전
	결과 확인	위 작업결과 작동 및 기능 점검 후 문제기 없음을 확인 함. <input type="checkbox"/> 확인일자: 부서명 년 월 일 성명 (서명) <input type="checkbox"/> 요구부서: 부서명 성명 (서명) <input type="checkbox"/> 확인부서: 부서명 성명 (서명)	

[Work Referral]

의뢰서 작업의뢰서

제출		일련번호	
		호기	
비행체/지상체 변경 확인서			
S/N No.	구분	부품번호	CI 번호
	기술명	기술부	기술부
명관정보	하드웨어		일련번호
	소프트웨어		비전
작업결과	작업 목적	작업 내용	작업 결과
작업일자		작업 완료 일자	작업 확인 일자

Fig. 7 Configuration Change Formats

3.4 체계SIL 및 체계통합시험 결과 분석 및 문제점 처리 방안

주어진 체계SIL 환경 및 체계통합 환경을 통한 무인항공기 체계 연동검증 절차에 대한 전체 시험 진행 절

차는 Fig. 8과 같다. 설계문서를 기준으로 정상/비정상/비상 상황을 정의하여 체계SIL 및 체계통합계획서와 절차서를 작성하고 이를 기반으로 시험에 진입한다. 체계SIL시험을 통하여 정상 상황 외에 비정상/비상 상황을 모사하여 비행 중 발생할 수 있는 다양한 고장상황에 대한 로직 검증을 우선적으로 수행한다. 체계SIL 시험 수행이 완료되면 체계통합시험을 통하여 실제 환경에서 데이터링크 개설, 비행체 전원인가 및 엔진 시동 등과 같은 비행 전 지상점검절차를 수행한다. 체계SIL 및 체계통합시험의 전체적인 진행절차는 동일하며, 시험 환경 점검, 시험 수행, 시험 결과 분석, 문제점 식별, 문제점 보고서 작성, 문제점 수정 및 보완, 재시험, 결과보고서 작성 등의 절차로 이루어진다. 체계SIL 및 체계통합시험 결과에 대한 판정은 시험수행 로그에 따라 수행하여 획득한 시험 결과와 체계설계 내용을 기반으로 작성한 시험 예상 결과가 일치하면 해당 시험단계는 요구사항에 충족된 것으로 판정한다. 시험수행로그에 따라 요구사항이 충족된 시험단계는 'P'(Pass), 미충족된 시험단계는 'F'(Fail)로 표시한다.

시험결과와 예상결과가 불일치하거나 시험 중 장비 결함 및 비정상 상황 등이 발생하는 경우에는 체계 문제점 보고서(SPR; system problem report)에 관리번호, 시험항목 식별자, 문제점 제목, 분석결과 및 조치사항 등을 기록하여 관리한다.

문제점에 대한 중요도는 시험결과 분석회의를 통하여 Table 4와 같이 치명문제점(critical problem), 중 문제점(major problem) 및 경문제점(minor problem)으로 분류하여 처리한다.

시험 수행 중 발생한 문제점의 해결을 위해 해당 장비의 소프트웨어 및 하드웨어에 대해 필요한 수정 및 보완 절차는 3.3절에서 언급한 형상통제 방안에 따라 실시하고, 해당 문제점과 관련된 항목에 대해서는 Table 4의 처리기준에 따라 체계SIL 및 체계통합시험 환경에서 재시험을 수행한다. Table 5는 시험 수행 후 시험 결과에 대한 분석의 예를 보여주며, 시험수행로그 및 문제점 현황 등의 내용을 포함하여 작성한다.

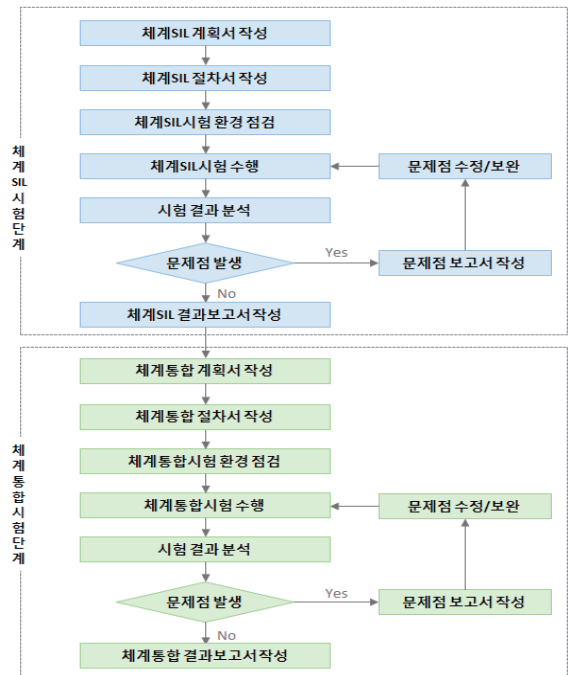


Fig. 8 Process of System Integration Laboratory and System Integration Test

Table 4 Classification and Handling Standard of System Problem

구분	정의	처리 기준
치명 문제점 -critical problem	체계 운용 시 비상 상황 발생으로 시스템 정지 또는 시스템의 불안정한 상태 발생으로 다른 시험 수행 항목에까지 영향을 미치는 오류	<ul style="list-style-type: none"> 전체 시험절차 중단 문제점 수정 후 해당사태 관련 모든 시험항목 재수행 실시
중 문제점 -major problem	일부 주요/상위 기능의 수행불가로 관련 기능 및 하위 기능 수행에 영향을 미치는 오류	<ul style="list-style-type: none"> 해당 시험항목 관련 절차 중단 문제점 수정 후 해당 시험 재수행 실시
경 문제점 -minor problem	본질적 기능 수행에 영향을 미치지 않는 경미한 오류	<ul style="list-style-type: none"> 시험 수행 중단 없이 해당 항목에 대한 문제점 수정 후 필요시 해당 시험 재수행 실시

Table 5 Example of Test Results Analysis

시험항목 명칭	비행체 비행조종계통 연동 및 기능 확인
시험식별자	SIT-SYS-TC-002
시험수행일자	2025.10.12
시험수행로그	<ul style="list-style-type: none"> 비행조종계통 자기진단 결과 확인 비행조종계통 통제명령 전송 및 상태정보 확인
문제점 현황	<ul style="list-style-type: none"> SIT-SPR-111: 자기진단 결과 상태정보 오류 SIT-SPR-112: 지상통제체계 S/W 비정상 종료
조치계획	2025.10.18까지 발생 문제점에 대한 원인 분석 및 조치 완료 후 재시험 수행 예정
시험수행 완료여부	재시험 수행 필요

5. 결론

본 논문에서는 무인항공기 체계의 기능, 연동 및 운용로직 검증을 위한 체계통합실험실(SIL) 및 체계통합 시험 환경 구축과 이를 통한 검증방법에 대해 기술하였다. SIL 환경을 통하여 지상통제체계, 데이터링크체계, 항공전자 SIL, 비행조종 HILS 및 임무장비를 연동하여 순차적으로 연동 검증을 수행하였으며, 실험실 레벨에서의 정상 운용로직 및 비정상/비상 상황 운용로직 검증을 완료하였다. SIL 검증을 완료한 후, 체계통합시험을 통하여 실제 환경에서의 실장비간의 연동 검증을 수행하였다. 시험수행 간에 변경되는 소프트웨어 및 하드웨어에 대한 적절한 형상통제 방안을 기술하였으며, 시험결과 분석을 통하여 결과 판정 및 문제점 처리방안을 제안하였다. 이를 통해 실 환경에서의 통합시험 및 비행시험에 대한 실패 위험성을 줄이고 무인항공기의 신뢰도를 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

References

[1] G .H. Bae, “Development trend of unmanned aircraft and necessity of domestic development”, *The Journal*

of Aerospace Industry, vol 62, pp.70-87, Aug. 2002

[2] J. I. Shim, B. W. Choi, S. S. Park, D. W. Yoo, S. M. Cho, J. K. Byun, J. G. Lim, J. H. Lee, “A system level HILS platform design for the integrated verification of the operational logic and the flight performance of UAS”, *2015 SASE Spring Conference*, pp.79-84, May. 2015

[3] Y. W. Jo, B. G. Kim, J. S. Park, J. U. Lee, “Development of system integration laboratory for the verification of UAV avionics system requirements”, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol 40, no. 5, pp.446-453, May. 2012

[4] K. B. Yang, W. G. Lee, M. J. Kim, “Development of system integration laboratory for the verification of UAV system interface design”, *2013 KSAS Conference*, pp.950-953, Nov. 2013

[5] S. M. Cho, D. W. Yoo, J. I. Shim, H. S. Ha, “Environment design and verification test method of system integration lab for UAS”, *2018 KIMST Conference*, pp.2153-2154, June. 2018

[6] D. W. Yoo, S. M. Cho, H. S. Ha, K. M. Cho, “System integration test environment setup and testing method for interface verification of unmanned aerial systems”, *2018 KIMST Conference*, pp.2155-2156, June. 2018