

무인항공기 체계의 고장이력관리장비에 관한 연구

소나현^{1,†}¹국방과학연구소A Study on Fault History Management Equipment
of Unmanned Aerial SystemsNahyun Soh^{1,†}¹Agency for Defense Development

Abstract

This paper presents a study on Fault History Management Equipment (FHME) of Unmanned Aerial Systems (UAS). UAS comprise of various types of electronic equipment for high reliability design for flight safety. Consequently, it is mandatory for each on-board equipment to have its own Built-In-Test (BIT) function, because rapid fault-detections for UAS are necessary. FHME is developed for the purposes of display, storage and management of such BIT results on ground. This paper describes the outline, development requirements, design and verification process of FHME.

초 록

본 논문은 무인항공기 체계(UAS; Unmanned Aerial Systems)의 고장이력관리장비(FHME; Fault History Management Equipment)에 관한 연구를 다룬다. 무인항공기 체계는 비행안전성을 위하여 고신뢰성 설계를 기반으로 다양한 전자장비를 탑재하고 있으며, 이에 따른 신속한 고장탐지가 필요하여 각 탑재장비는 BIT(Built-In-Test) 기능을 보유한다. 이러한 BIT 정보를 지상에서 시현, 저장, 관리가 가능하도록 하기 위하여 고장이력관리장비를 개발하였다. 따라서 본 논문에서는 고장이력관리장비의 개요 및 개발 요구사항, 설계 결과, 검증 시험 결과에 대해 기술한다.

Key Words : Unmanned Aerial Systems(무인항공기 체계), Fault History Management Equipment(고장이력관리장비), Built-In-Test(자체고장진단)

1. 서 론

무인항공기 체계(UAS; Unmanned Aerial Systems)는 비행안전성을 위하여 이중화 설계 등 고신뢰성 설계를 기반으로 다양한 전자장비를 탑재하고 있다. 이에 따른 신속한 고장탐지가 필요하며, 각 탑재장비는 BIT(Built-In-Test, 자체고장진단) 기능을 보유하도록 설계된다.[1]

BIT란, 탑재 전자장비에 자체입증회로, 자체점검회로, 오차 탐지 및 보정회로를 내장하여 고장 위치를 알아내고 식별하는 On-Board 하드웨어 및 소프트웨어를 말한다. BIT는 크게 PBIT(Power up BIT), CBIT(Continuous BIT), IBIT(Initiated BIT) 세 종류로 분류되는데, PBIT은 구성품에 전원이 인가될 때 자동 수행되는 것으로 전원인가 자체고장진단을 의미하며, CBIT은 임무 수행 중에 정상 작동여부를 지속적으로 모니터링하는 것으로서 연속 자체고장진단을 의미한다. IBIT은 운용자의 명령에 의해 고장탐지의 목적으로 고장진단을 수행하는 것으로서 운용자 자체고장진단을 의미한다.[2,3]

Received: Mar. 05, 2019 Revised: May. 21, 2019 Accepted: May. 24, 2019

† Corresponding Author

Tel: +82-42-821-0714, E-mail: snhyun728@add.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

무인항공기 체계는 유인항공기 체계와는 달리 공중에서 임무 중인 비행체와 지상에서 비행체를 통제하는 지상통제체계 간 무선 통신을 통하여 비행체의 상태정보, 고장정보 등의 필요한 정보를 지상통제체계에서 실시간으로 수신한다. 최근 다수의 무인항공기 체계가 연구 및 개발되고 있지만, 대부분의 무인항공기 체계는 지상에서 비행체를 운용하는 조종사 중심으로 개발이 이루어지고 있어, 비행체 정비요원이 임무 중 비행체 고장을 보다 신속하게 파악하여 관리할 수 있는 독립적인 장비가 필요하다. 따라서 지상통제체계에서 추출된 BIT 정보를 정비요원이 지상에서 시현, 저장, 관리가 가능하도록 하는 고장이력관리장비(FHME; Fault History Management Equipment)를 개발하였다.

본 논문은 무인항공기 체계의 실시간 비행체 정보 전송 특성을 기반으로 정비요원이 임무 중 비행체의 정상 및 고장 상태를 확인하고, 각 LRU(Line Replaceable Unit)의 일련번호 별로 고장 이력을 자동화 및 전산화 관리할 수 있는 시스템인 고장이력관리장비의 개요 및 개발 요구사항, 설계 결과, 검증 시험 결과를 기술한다.

2. 개요 및 개발 요구사항

고장이력관리장비의 개요는 다음의 Figure 1과 같다.

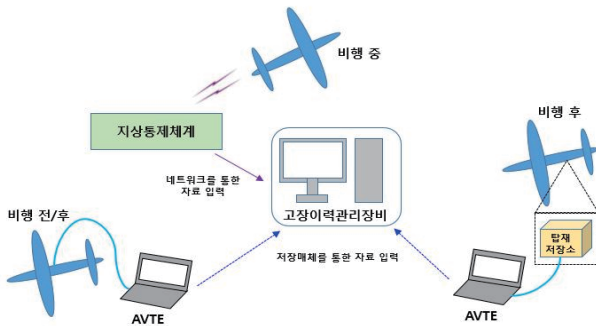


Fig. 1 Overview of FHME

고장이력관리장비는 비행체가 임무 중일 때 지상통제체계로부터 실시간으로 통제명령, 상태정보, 고장정보가 포함된 체계운용자료를 수신하여 탑재장비 별 BIT 정보를 추출하며, 고장 발생 시 고장 정보를 시현하고 LRU 별로 이력을 자동 관리한다. 비행체는 비행 전,

후에 비행체점검장비(AVTE; Air Vehicle Test Equipment)를 사용하여 점검을 수행하는데, 고장이력관리장비는 AVTE의 점검 결과를 읽어 들여 임무 중 발생한 고장 이력뿐만 아니라 AVTE로 점검 시 발생한 고장 이력도 통합 관리하는 기능을 보유한다. 또한, 임무 중 비행체와 지상통제체계 간 무선 통신 두절 시 발생한 고장도 확인할 수 있도록, 비행 종료 후에 비행체 내부 탑재 저장소에 저장된 비행체 상태정보를 읽어 들여 관리하는 기능도 제공한다.

고장이력관리장비의 기능적인 측면의 소프트웨어 요구사항은 Table 1과 같다.

Table 1 Software requirements of FHME

기능	상세 내용
데이터 수신 및 저장	<ul style="list-style-type: none"> 지상통제체계가 제공하는 체계운용자료를 수신 및 저장 파일 형태로 저장된 비행체 상태정보를 읽어 체계운용자료 저장 형식과 동일한 형식으로 저장
체계 운용자료 처리	<ul style="list-style-type: none"> 체계운용자료에서 고장 발생 및 복구 시각 추출 체계운용자료에서 고장 장비 식별 체계운용자료에서 고장 내용 추출 체계운용자료에서 체계ICD 항목 중 사용자가 지정한 자료를 추출하여 파일로 생성
고장 정보 시현	<ul style="list-style-type: none"> 장비명, 시리얼 번호, 비행체 호기를 포함한 고장 정보를 저장 및 관리 동일한 고장 정보 중복 저장 방지 저장된 고장 정보를 비행체 호기, 시리얼 번호 등으로 검색 고장 정보에 사용자 메모 추가 고장 정보 가져오기 및 내보내기
비행체 및 장비 관리	<ul style="list-style-type: none"> 장비 등록/수정/삭제 비행체 호기 별로 장착된 장비 관리 운용재고 목록 관리
보고서 출력	<ul style="list-style-type: none"> 비행체/장비 별로 고장 정보를 보고서로 출력
시스템 및 계정 관리	<ul style="list-style-type: none"> 로그인 기능 사용자 계정 관리 및 계정 이력 관리 관리자 계정 별도 운영(계정 추가/변경/삭제 권한 부여)

Table 1에 정의된 ICD는 무인항공기 체계를 구성하는 다양한 부체계/계통 간 연동메시지들에 대하여 송

수신되는 통제명령과 상태정보를 기술한 문서로서 연동통제문서(ICD; Interface Control Document)를 일컫는다. 고장이력관리장비는 고장 정보뿐만 아니라, 정비요원이 고장 발생 시의 상황을 파악할 수 있도록 수신한 체계운용자료에서 비행체의 위치, 자세, 온도 정보 등의 체계ICD에 기술된 모든 항목을 추출하여 장비 고장 발생 상황을 확인하는 기능을 보유한다.

본 장비는 실내에 설치하여 사용하는 장비로서 사용 및 유지 보수의 편의를 위해 하드웨어는 상용 데스크탑 컴퓨터를 사용하여 제작되며, Table 2와 같은 환경 조건을 충족하도록 설계되어야 한다.

Table 2 Environment requirements of FHME

조건	범위
온도	<ul style="list-style-type: none"> • 운용조건: 10 ℃ ~ 35 ℃ • 저장조건: -15 ℃ ~ 40 ℃
상대습도	<ul style="list-style-type: none"> • 운용조건: 20% ~ 80% • 저장조건: 10% ~ 90%

3. 고장이력관리장비 설계 결과

고장이력관리장비는 등록된 사용자가 ‘군번’과 ‘비밀번호’를 입력하여 로그인을 수행하면 Figure 2와 같이 4개의 버튼으로 구성된 메인 메뉴 화면이 시현된다.



Fig. 2 Main menu of FHME

4개의 메인 메뉴 중 첫째로, [시스템 관리] 메뉴는 ‘네트워크 및 시스템 설정’, ‘체계운용자료 관리’, ‘사용자 계정’, ‘계정 이력 관리’로 구성된다. ‘네트워크 및 시스템 설정’ 화면에서는 체계운용자료를 수신할 Port

를 설정하고, 고장이력관리장비 저장소 상태를 시현하며, 체계운용자료 수신 시작 및 중단 설정을 수행한다. ‘체계운용자료 관리’ 화면에서는 수신한 체계운용자료를 비행체 호기, 비행 일자 등으로 구분하여 목록을 시현하며, 저장된 Raw 데이터 파일에서 필요한 정보를 CSV(Comma Separated Value) 형식으로 내보내기하여 Hancell 및 MS-Excel에서 확인 가능하도록 구현하였다. 여기서 Raw 데이터 파일은 지상통제체계에서 실시간으로 수신한 데이터를 저장한 파일과 탑재 저장소에 저장된 비행체 상태정보 파일을 읽어 들여 저장한 파일이 있다. CSV 파일명은 “체계ICD식별자.csv”로 지정하였으며, 파일 컬럼은 “날짜”, “시간”, “필드명#1”, “필드명#2”, ..., “필드명#N” 순으로 구성하였다. ‘사용자 계정’ 화면에서는 사용자 계정 목록을 시현하고, 계정 추가, 변경, 삭제가 가능하며, ‘계정 이력 관리’ 화면에서는 계정 변경 및 로그인/로그아웃 기록을 확인할 수 있도록 설계하였다.

둘째로, [고장 이력] 메뉴는 본 장비의 메인 기능을 포함하고 있는 메뉴로서 ‘비행 중인 비행체’, ‘비행체 별 고장 이력’, ‘장비 별 고장 이력’, ‘고장 이력 조회 및 내보내기’, ‘파일 가져오기’ 화면으로 구성된다. ‘비행 중인 비행체’ 화면에서는 비행 중인 비행체의 탑재 장비 LRU 별로 PBIT/CBIT/IBIT 결과를 시현한다.

비행조종	PBIT 결과	CBIT 결과	IBIT 결과
FLCC	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
EGH1	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
EGI2	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
AJE1	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
AJE2	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
RALT	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
VFDR	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
ADS1	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
ADS2	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
PTS-AS	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
조종면 구동장치	PBIT 결과	CBIT 결과	IBIT 결과
FLAP ACU	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
FLAP ACT L	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
FLAP ACT R	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
LAFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
RAFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
LFFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
RFFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
LROFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
LRIFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
RRIFFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신
RROFCA	<input type="checkbox"/> 미수신	<input checked="" type="checkbox"/> 정상	<input type="checkbox"/> 미수신

Fig. 3 “Air-Vehicle in flight” menu of FHME

Figure 3은 ‘비행 중인 비행체’ 화면에서 계통별 BIT 결과를 보여주는 화면의 일부이다. 이처럼 비행체로부터 하나 이상의 고장이 전송될 때는 해당 LRU의 상태가 적색으로 시현되고, 정상일 때는 녹색으로 시현되도록 설계하였다.

‘비행체 별 고장 이력’ 화면에서는 비행체 호기 별로 고장 이력을 시현하는데, 고장 발생 및 복구 시각과 고장 세부 내용을 포함하여 시현한다. 고장 세부 내용은 해당 고장의 체계ICD 메시지 내 위치(메시지 식별자, 필드 번호, 비트 번호)를 함께 시현하여 고장에 대한 정보를 ICD 문서에서 찾기 쉽도록 설계하였다. 마찬가지로, ‘장비 별 고장 이력’ 화면에서는 장비 별로 고장 발생 및 복구 시각과 고장 세부 내용을 포함하여 고장 이력을 시현한다. ‘고장 이력 조회 및 내보내기’ 화면에서는 사용자가 조회 기간, 계통명, 장비명, 시리얼 번호, 비행체 호기, 이력 출처, BIT 종류, 고장 유무 별로 고장 이력을 조회하여 고장 이력 내보내기 및 보고서 내보내기 기능을 수행하도록 구현하였다. 또한, 조회한 고장 이력을 삭제하거나, 선택한 이력에 특이사항을 메모하는 기능, 고장 이력을 백업(backup)하기 위해 CSV 파일 형식으로 내보내는 기능 및 Hancell 파일 형식의 보고서 형태로 저장하는 기능도 제공한다. ‘파일 가져오기’ 화면에서는 고장이력관리장비에서 백업(backup)한 고장 이력 및 AVTE 점검 결과 파일을 가져오기 수행하고, 탑재 저장소에 저장된 비행체 상태정보 파일을 읽는 기능을 보유한다. 2장에서 언급한 바와 같이, 비행 전/후에 AVTE를 사용하여 비행체 점검한 결과를 고장이력관리장비에서 읽어 들이는 기능과 임무 수행 간 탑재 저장소에 저장된 비행체 상태정보 파일을 읽어 들이는 기능을 본 화면에서 수행하도록 구현하였다.

셋째로, [비행체 관리] 메뉴에서는 비행체 추가, 수정, 삭제를 수행하며, 고장이력관리장비에 등록된 비행체 목록을 시현한다. 체계ICD 상의 비행체 호기 번호와 일련번호(테일번호) 간의 매핑 관계를 설정하고 수정할 수 있다.

마지막으로, [장비 관리] 메뉴는 ‘장비 현황’, ‘운용재고 목록’, ‘비행체 장비 장탈착’, ‘비행체 별 장비 장탈착 이력’으로 구성된다. ‘장비 현황’ 화면에서는 고장이력관리장비에 등록된 모든 장비의 목록과 장비 장탈착

일시 및 등록자 등의 정보를 포함한 이력을 시현한다. ‘운용재고 목록’ 화면에서는 장비 별 운용재고 목록을 확인하고 장비 장탈착 이력 보기 및 장비에 대한 등록, 수정, 삭제가 가능하다. 장비 등록 시에는 장비의 상태 선택이 요구되며, 장비의 상태는 운용재고, 야전정비, 창정비 중에 선택 가능하다. ‘비행체 장비 장탈착’ 화면에서는 운용재고 목록에서 비행체 호기 별로 장비를 장착 및 장탈하는 기능을 제공한다. 비행체 계통 별로 미장착된 장비가 존재하는 경우 계통/장비명을 적색으로 표시하고 미장착 장비 확인 버튼을 클릭하여 미장착된 장비를 확인할 수 있다. 만약, 계통 별로 미장착된 장비가 존재하는 경우는 [고장 이력] 메뉴의 ‘비행 중인 비행체’ 화면에서 장비명 우측에 “미장착”으로 표시되며 BIT 결과는 시현되지만, 고장 이력 로그에는 남지 않기 때문에 고장이력관리장비를 정상적으로 운용하기 위해서는 계통 및 장비 별로 장비 장착 작업이 필수적으로 선행되어야 한다.

또한, ‘비행체 별 장비 장탈착 이력’ 화면에서는 고장이력관리장비에 등록된 비행체 ID를 선택하여 비행체 별로 장비 장탈착 이력을 시현하고, 비행체 별로 장비 장착률을 수치화하여 확인할 수 있도록 설계하였다.

고장이력관리장비의 운용 절차는 Figure 4와 같이 나타낼 수 있는데, 임무 시작 전에 계통별 LRU를 등록하고 비행체 호기 별로 LRU를 배치하여 고장이력관리장비에서 정보를 수집할 비행체 설정을 완료하여야 한다.

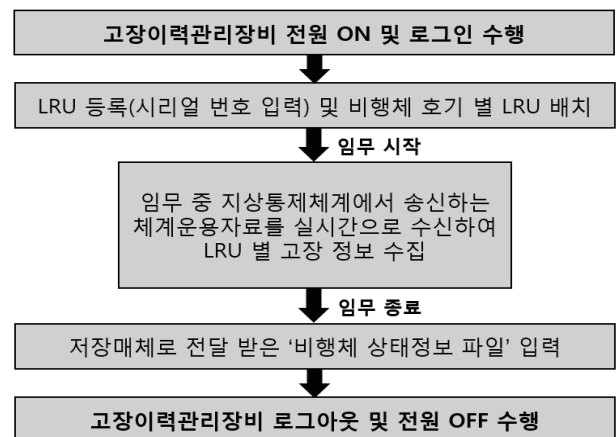


Fig. 4 Operation procedure of FHME

3. 고장이력관리장비 검증 시험 결과

고장이력관리장비에 대한 검증은 총 3가지 시험으로 수행하였으며, 고장이력관리장비가 개발 요구사항을 만족하는지 확인하기 위한 자체 수락시험, 비행체 및 지상통제체계를 구성하는 실 장비와 비행모의/고장모의를 위한 각종 모의장비로 구성된 실험실 환경에서의 연동시험, 실 비행체 및 실 지상통제체계를 통합하여 구성된 실 장비 환경에서의 연동 시험이 있다. 3가지 시험은 모두 Figure 5의 절차로 수행하였다.

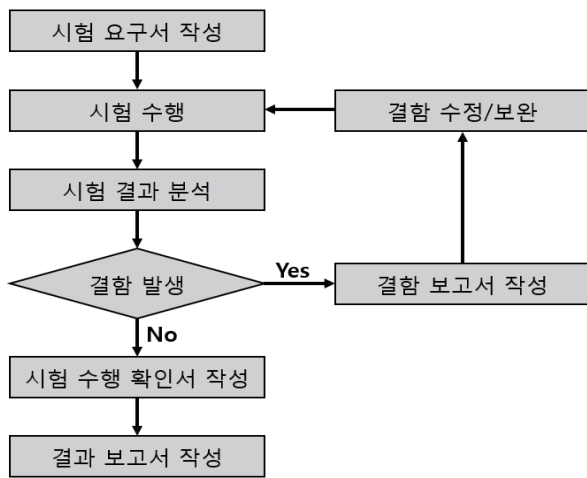


Fig. 5 Verification test procedure of FHME

3.1 자체 수락시험 결과

고장이력관리장비는 지상통제체계로부터 이더넷(Ethernet)을 통해 체계운용자료를 전달 받는다. 고장이력관리장비 자체 수락시험은 지상통제체계가 송신하는 메시지 및 고장을 모의할 수 있는 점검장비를 사용하는데, 고장이력관리장비와 점검장비 간에는 이더넷 케이블(Ethernet Cable)을 연결하여 수행하였다.

고장이력관리장비의 자체 수락시험 항목은 Table 3과 같이 8개의 시험 식별자 별로 분류하였고, 각 시험 식별자 별로 절차서를 작성하여 검증을 수행하였다. 시험 식별자 부여 형식은 “문서식별자-장비명-기능구분-일련번호”이며, 기능구분은 “소프트웨어 기능 요구사항(SFR; Software Functional Requirement)” 또는 “환경 및 컴퓨터자원(ECRR; Environment & Computer Resource Requirement)”으로 분류된다.

Table 3 FHME acceptance test items

시험 식별자	시험 항목
T-FHME-SFR-001	로그인, 사용자 계정 관리, 사용자 목록 시험
T-FHME-SFR-002	비행체 관리, 비행체 정보 매핑, 비행체 목록 시험
T-FHME-SFR-003	장비 관리, 장비 별 메모 입력, 비행체 장비 장탈착, 신규장비 등록, 장비 현황 목록 시험, 운용재고 목록 관리
T-FHME-SFR-004	실시간 데이터 수신, 장비 별 메시지 분류, 고장 메시지 식별 및 분석
T-FHME-SFR-005	실시간 데이터 저장, 일자 별 데이터 저장/관리, 비행체 호기 별 데이터 저장/관리, 메시지 Time stamp 분류 및 구분 저장, 고장 장비 식별, 고장 내용 추출, 비행체 ID 식별, 장비 시리얼 번호 별 고장 식별/저장/관리, PBIT/CBIT/IBIT 저장, 고장 정보 검색, 비행체 별 고장 정보 시험, 장비 시리얼 번호 별 고장 정보 시험, 고장 이력 내보내기, 보고서 내보내기
T-FHME-SFR-006	비행체 상태정보 읽기 및 저장, 저장된 고장 이력 파일 가져오기, AVTE 점검 결과 파일 읽기, 체계운용자료 분석, 중복 저장 방지
T-FHME-SFR-007	드라이브 용량, 통신 포트 설정, 저장소 용량 정보 전시, 체계운용자료 관리, 체계운용자료 변환 및 내보내기
T-FHME-ECRR-001	고장이력관리장비 하드웨어 요구사항 확인

고장이력관리장비의 자체 수락시험 결과는 Table 4와 같이 모두 “양호”함을 확인하였다. 자체 수락시험에서 실 장비를 모의한 점검장비를 사용하여 발생할 수 있는 모든 BIT 고장 모의 시험을 수행하여 인터페이스 및 운용성을 확인하였고, 실 장비와 연동 시험을 수행하기 전 기능 검증을 완료하였다.

Table 4 Acceptance test results of FHME

시험 식별자	품질보증 방법	판정 결과
T-FHME-SFR-001	시험	양호
T-FHME-SFR-002	시험	양호
T-FHME-SFR-003	시험	양호
T-FHME-SFR-004	시험	양호
T-FHME-SFR-005	시험	양호
T-FHME-SFR-006	시험	양호
T-FHME-SFR-007	시험	양호
T-FHME-ECRR-001	검사	양호

3.2 체계통합실험실 연동 시험 결과

3.1절과 같이 자체 수락시험에서 개발 요구사항 충족 여부가 확인되어, 무인기 체계의 실 장비와 각종 모의 장비로 구성된 실험실 환경에서의 연동 시험을 수행하였다. 고장이력관리장비에서 고장 정보를 수신하는 모든 탑재장비에 대해 실제 고장을 유발시키는 것은 불가능하므로, 실 체계와 유사한 환경으로 구성된 체계통합실험실(SIL; System Integration Laboratory)에서 고장을 모의하여 임의로 발생시킨 LRU의 고장이 고장이력관리장비에 정상적으로 시현되는지 확인하는 시험이 필요하다. 체계통합실험실은 체계의 하드웨어 및 소프트웨어 통합 검증을 위한 실험실 환경으로서, 항전 SIL, 비행조종 HILS(Hardware In-the-Loop Simulation), 데이터링크 SIL, 임무장비, 지상통제장비 SIL, 운용장비로 구성되어 있다.[4,5] 따라서 체계통합실험실에서는 탑재장비 LRU별로 PBIT, CBIT, IBIT 고장에 해당하는 체계ICD 메시지 비트 값을 고장에 해당하는 값으로 조작하여 임의의 고장을 모의할 수 있다. 단, 일부 장비 특성상 고장 모의가 불가능한 LRU가 존재한다.

고장이력관리장비의 체계통합실험실 연동 시험 절차는 Figure 6과 같으며, 고장을 모의할 LRU에 대해서는 시험 시작 및 종료 시에 반드시 해당 LRU의 BIT 결과가 “정상”임을 확인하는 절차가 요구된다.

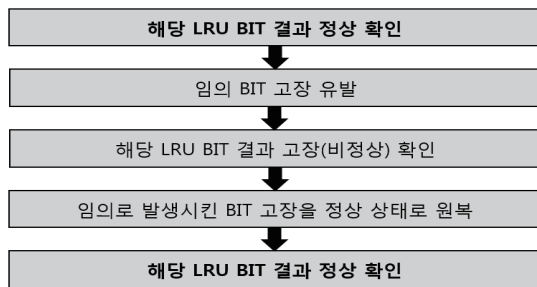


Fig. 6 System Integration Laboratory(SIL) test process of FHME

PBIT은 전원이 인가될 때 자동 수행되고 그 결과를 장비 내부에 저장하여 운용자의 요청을 받으면 BIT 결과를 전송하고, IBIT도 운용자의 요청에 따라 그 결과를 보고한다. 따라서 PBIT과 IBIT은 운용자가 BIT 요청을 전송하면 각 LRU에서 PBIT, IBIT 결과를 전송하고 고장이력관리장비에서 해당 LRU BIT 결과가 시현됨을 확인할 수 있지만, CBIT은 해당 LRU가 결

과를 주기적으로 지상에 보고하므로 고장을 임의로 발생시킨 후에 CBIT 결과가 정상 혹은 고장(비정상)으로 변경되는지 모니터링 필요하다. 고장이력관리장비 체계통합실험실 연동 시험 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 System Integration Laboratory(SIL) test results

계통	LRU	수행 결과
비행조종	FLCC	BIT 고장 모의 불가
	ADS#1,2	확인 완료
	AJE#1,2	확인 완료
	EGI#1,2	확인 완료
	PTS-AS	BIT 고장 모의 불가
	RALT	확인 완료
항공전자	VFDR	확인 완료
	IMC	BIT 고장 모의 불가
	DC	확인 완료
	FLIR	확인 완료
	AVCU	BIT 고장 모의 불가
	CCD#1,2	BIT 고장 모의 불가
EO/IR	UHF	확인 완료
	VHF	확인 완료
	UVHF	확인 완료
	PEU	IBIT 고장 모의 불가
	PSU	확인 완료
SAR	ANU	확인 완료
	FEU	확인 완료
	HTU	확인 완료
	PCU	BIT 고장 모의 불가
	WDU	확인 완료
데이터링크	ADTC	확인 완료
	APDA	확인 완료
	ASDA	확인 완료
	APAA TOP	BIT 고장 모의 불가
	APAA BOTTOM	BIT 고장 모의 불가
	APRA TOP	확인 완료
	APRA BOTTOM	BIT 고장 모의 불가
	ASatDA	확인 완료
	ASatHPA	PBIT 고장 모의 불가
	ASatLNA	확인 완료
조종면 구동장치	FLAP ACT L/R	확인 완료
	FLAP ACU	확인 완료
	LAFCA	확인 완료
	LFFCA	확인 완료
	LRIFCA	확인 완료
	LROFCA	확인 완료
	RAFCA	확인 완료
	RFFCA	확인 완료
	RRIFCA	확인 완료
	RROFCA	확인 완료
추진	IPCMU	확인 완료
연료	FQMS	확인 완료
착륙/유압	LBCU	확인 완료
	SCU	확인 완료
환경/방빙	ECSC	확인 완료
전기	PMU	확인 완료

Table 5에 나타난 바와 같이 탑재장비 LRU 별로 BIT 고장 모의를 수행한 결과, 총 53개 LRU 중 41개의 LRU에 대해서는 PBIT, CBIT, IBIT 고장을 모의하여 임의로 발생시킨 고장이 고장이력관리장비에서 맞게 시현되는 지와 임의로 발생시킨 고장을 다시 정상 상태로 원복했을 때 고장이력관리장비에서 정상으로 바뀌어 시현되는 지를 확인 완료하였다. 반면에, 10개의 LRU에 대해서는 해당 장비 특성상 PBIT, CBIT, IBIT 고장 모의가 불가하여 해당 LRU의 BIT 결과가 정상임을 확인하는 시험만 수행하였다. 또한, EO/IR(Electro Optics/Infrared) 계통의 PEU(Payload Electronics Unit) 장비와 데이터링크 계통의 ASatHPA(Airborne Satellite High Power amplifier Assembly) 장비는 각각 IBIT, PBIT 고장만 모의 불가하였다.

따라서 일부 LRU에 대해서는 체계통합실험실에서 고장 모의 시험을 수행하지 못했지만, 고장이력관리장비의 자체 수락시험에서 점검장비를 이용하여 전체 LRU에 대한 BIT 고장을 모의하여 검증을 완료하였으므로, 체계통합실험실에서 고장 모의 시험 미수행 항목에 대한 검증 측면의 영향성은 거의 없음을 확인할 수 있다.

3.3 실 장비 연동 시험 결과

체계통합실험실에서 고장이력관리장비의 연동 시험을 완료한 후에는 실 비행체 및 실 지상통제체계를 통합하여 구성된 실 장비 환경에서의 연동 시험을 수행하였다. 실 장비 연동 시험을 위해서는 실 비행체와 지상통제체계, 데이터링크체계, 임무장비(EO/IR, SAR)로 구성된 정상 임무가 가능한 체계 형상으로 환경을 준비하였다. 실 장비 연동 시험에서는 체계를 구성하는 모든 실 장비에 대해 임의로 고장을 유발시키는 것이 불가능하기 때문에, 준비된 환경에서의 각 LRU의 BIT 결과(정상/고장)가 조종사 운용장치에 시현되는 결과와 고장이력관리장비에 시현되는 결과가 동일한지 확인하는 방식으로 시험을 수행하였다.

고장이력관리장비 실 장비 연동 시험은 Table 6과 같이 총 6개 항목으로 구성하였고, 시험 식별자 번호 순서대로 시험을 수행하였다.

Table 6 Items of on-board equipment interface testing

시험 식별자	시험 항목
OIT-FHME-TC-001	고장이력관리장비 초기 상태 확인
OIT-FHME-TC-002	데이터링크체계 탑재 LRU BIT 확인
OIT-FHME-TC-003	비행체 탑재 LRU BIT 확인
OIT-FHME-TC-004	임무장비 LRU BIT 확인
OIT-FHME-TC-005	AVTE 점검 결과 파일 연동
OIT-FHME-TC-006	탑재 저장소에 저장된 비행체 상태 정보 파일 연동

TC-001에서는 고장이력관리장비의 초기 상태 확인을 위하여 PPC(Primary Pilot Console, 주조종사 운용장치)와 GDTC(Ground Data Terminal Controller, 지상 데이터링크 제어기) 간의 통신이 개설된 상태에서 고장이력관리장비에 고장 정보를 매핑할 비행체의 모든 탑재장비 LRU가 장착되어 있어야 한다. GDTC까지만 통신 개설된 상태에서는 비행체의 고장 정보가 미수신되므로 고장이력관리장비의 ‘비행 중인 비행체’ 화면의 모든 LRU의 BIT 결과가 회색(미수신)으로 시현된다. TC-002는 데이터링크체계 탑재 LRU BIT 확인 시험이므로 PPC와 ADTC(Airborne Data Terminal Controller, 탑재 데이터링크 제어기)간의 통신을 개설하여 시험을 수행하였다. CBIT의 경우는 PPC 화면의 CBIT 결과와 고장이력관리장비의 CBIT 결과가 동일한지 확인하고, IBIT 및 PBIT의 경우는 PPC에서 각 데이터링크체계 탑재 LRU의 IBIT 및 PBIT 요청 명령을 인가하여 PPC 화면의 IBIT 및 PBIT 결과와 고장이력관리장비의 IBIT 및 PBIT 결과가 동일한지 확인하는 방법으로 데이터링크체계 탑재 LRU의 BIT 수신 처리 기능을 검증하였다. TC-003은 PPC와 AV(Air Vehicle)간의 통신이 개설된 상태에서 비행체 탑재 LRU 중 항공전자 계통 장비의 전원이 ON 되어있어야 하며, TC-002와 동일한 방식으로 비행체에 탑재된 LRU에 대한 BIT 수신 처리 기능을 검증하였다. TC-004는 임무장비 EO/IR과 SAR(Synthetic Aperture Radar)의 BIT 수신 처리 기능을 확인하는 시험으로, SOC(Sensor Operator Console, 센서 운용사 장치)와 임무장비 간 통신이 개설된 상태에서 시험하며, 임무장비의 전원이 ON 되어야 한다. Figure 7은 TC-004 시험 절차서의 일부를 보여준다.

고장이력관리장비 실 장비 연동시험 절차서			
임무장비 LRU BIT 시험 (OIT-FHME-TC-004)			
분류	개요		비고
목적	임무장비의 BIT 수신처리 기능확인		
피시험물	고장이력관리장비		
지원장비	지상통제체계(고정형), 데이터링크 지상부, 비행체, 임무장비		
선행 조건	SOC와 EO/IR 간 통신이 개설된 상태이다. SOC와 SAR 간 통신이 개설된 상태이다. 고장이력관리장비에 고장정보를 열광할 비행체 초기의 모든 LRU가 장착되어야 한다. EO/IR 및 SAR의 주/부장비 전원이 ON 되어있어야 한다.		
시험 절차 요약	임무장비(EO/IR, SAR)에 대한 BIT 수신 처리 기능을 확인한다. * EOIR * SAR - ANU (CBIT, IBIT, PBIT) - FEU (CBIT, IBIT, PBIT) - HTU (CBIT, IBIT, PBIT) - PCU (CBIT, IBIT, PBIT) - WDU (CBIT, IBIT, PBIT)		
단계	실행 사항	예상 결과	확인 비고
10	비행 중인 비행체 화면에서 PEU의 CBIT과 SOC 화면의 PEU CBIT 결과를 비교한다.	고장이력관리장비의 '비행중인 비행체' 화면의 PEU CBIT 결과와 SOC의 PEU CBIT 결과가 동일하다.	P / F
20	PEU의 CBIT이 고장일 경우, '장비 별 고장이력' 화면에서 PEU CBIT 고장 세부 내용을 확인하고 SOC의 PEU CBIT 고장 상세 내역과 비교한다.	고장이력관리장비의 PEU CBIT 고장이력 상세정보와 SOC의 PEU CBIT 고장 상세 내역이 동일하다.	P / F / NA 고장이 없을 경우, N/A 처리.
30	PPC에서 PEU의 IBIT 요청 명령을 인가한다.	고장이력관리장비의 '비행중인 비행체' 화면의 PEU IBIT 결과와 PPC의 PEU IBIT 결과가 동일하다.	P / F
40	PEU의 IBIT이 고장일 경우, '장비 별 고장이력' 화면에서 PEU IBIT 고장 세부 내용을 확인하고 SOC의 PEU IBIT 고장 상세 내역과 비교한다.	고장이력관리장비의 PEU IBIT 고장이력 상세정보와 SOC의 PEU IBIT 고장 상세 내역이 동일하다.	P / F / NA 고장이 없을 경우, N/A 처리.
50	PPC에서 PEU의 PBIT 요청 명령을 인가한다.	고장이력관리장비의 '비행중인 비행체' 화면의 PEU PBIT 결과와 PPC의 PEU PBIT 결과가 동일하다.	P / F
60	PEU의 PBIT이 고장일 경우, '장비 별 고장이력' 화면에서 PEU IBIT 고장 세부 내용을 확인하고 SOC의 PEU IBIT 고장 상세 내역과 비교한다.	고장이력관리장비의 PEU PBIT 고장이력 상세정보와 SOC의 PEU PBIT 고장 상세 내역이 동일하다.	P / F / NA 고장이 없을 경우, N/A 처리.
...
420	WDU의 PBIT이 고장일 경우, '장비 별 고장이력' 화면에서 WDU IBIT 고장 세부 내용을 확인하고 SOC의 WDU IBIT 고장 상세 내역과 비교한다.	고장이력관리장비의 WDU PBIT 고장이력 상세정보와 SOC의 WDU PBIT 고장 상세 내역이 동일하다.	P / F / NA 고장이 없을 경우, N/A 처리.

Fig. 7 Description for on-board equipment interface test of FHME(TC-004)

TC-005/006은 고장이력관리장비에서 체계운용자로 수신을 중단한 상태에서 수행되는 시험으로, TC-005에서는 AVTE 점검 결과 파일을 저장매체를 이용하여 고장이력관리장비에 입력하고, 고장이력관리장비에서 AVTE 점검 결과 파일 가져오기를 수행하여 AVTE 점검 결과 중 BIT 정보가 고장이력관리장비에 정상적으로 시현되는지 확인하였다. 마찬가지로 TC-006에서는 탑재 저장소에서 저장한 비행체 상태정보 파일을 저장매체를 이용하여 고장이력관리장비에 입력하고, 고장이력관리장비에서 비행체 상태정보 파일 가져오기를 수행하여 이 중 BIT 정보만을 추출하고 고장이력관리장비에서 정상적으로 시현 가능함을 검증하였다.

4. 결론

본 논문에서는 무인항공기 체계의 고장이력관리장비에 관하여, 개요 및 개발 요구사항, 설계 결과, 검증 시험 결과를 기술하였다. 고장이력관리장비는 자체 수

락시험으로 장비의 인터페이스 및 운용성을 검증한 후 체계통합시험실 환경에서 연동 시험을 수행하여 LRU별 BIT 고장 모의 시험을 수행하였으며, 실 장비와 연동하여 고장이력관리장비의 최종 검증을 수행하였다.

무인항공기 체계와 같은 고신뢰성을 요구하는 체계의 경우에는 신속한 고장탐지를 위해 LRU별 BIT 기능을 보유하고 있으며, 이와 같이 고장이력관리장비를 활용하면 정비요원들이 임무 중에 수신되는 BIT 결과를 실시간으로 확인 가능하다. 이로써, 정비요원은 비행체의 임무가 완료되어 복귀하기 전에 정비에 필요한 사전 준비가 가능하여 정비 시간을 단축함은 물론 정비 후에 비행체가 임무를 재개하기까지의 시간을 단축할 수 있다. 따라서 본 장비가 무인항공기 체계와 같은 복합적인 항공 체계에 적용된다면 정비요원을 위한 고장탐지 시험, 저장, 관리 기능을 효율적으로 수행할 수 있어 운용성 및 정비성이 향상될 것으로 기대되며, 이러한 데이터를 이용한 빅데이터 구축으로 향후 개발되는 무인항공기 체계의 설계 및 정비 개념 수립 등에 많은 도움이 될 수 있다.

References

- [1] J. W. Lim, "A Study on the Safety of Flight(SOF) Assure through Aircraft Diagnostics Systems", Journal of Aerospace System Engineering, vol. 11, no 1, pp. 35-40, 2017
- [2] S. E. Shin, "BIT Design Objective and Verification Method in UAV System Development", Avionics Systems Symposium Korea 2015, vol. 2015, pp. 347-354, July. 2015
- [3] J. S. Kim, S. Y. Yang, J. P. Han, "The BIT Design for Identifying Malfunction in Avionics", 2014 KSAS fall Conference, November. 2014
- [4] 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
- [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