JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

항공 우주 해상

J. Adv. Navig. Technol. 24(4): 251-260, Aug. 2020

무인항공기 점검을 위한 비행체점검장비 설계 및 구현

Design and Implementation of Air Vehicle Test Equipment for Unmanned Aerial Vehicle

권 상 은
국방과학연구소

Sang-eun Kwon
Agency for Defense Development, Daejeon, 34060, Korea

[요 약]

무인항공기는 일반항공기와 달리 비행 중에는 원격 점검만 가능한 한계가 있기에 비행 전, 후 점검을 통한 비행체의 고신뢰성을 유지하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 무인항공기 점검을 위한 비행체점검장비의 하드웨어 및 소프트웨어 요구사항을 도출하고 도출된 요구사항을 만족할 수 있도록 설계하였다. 이 설계를 바탕으로 실제 점검 시나리오에 맞춰 비행체점검장비를 구현하였다. 구현한 비행체점검장비는 총 3단계에 걸친 기능검증을 통해 비행 전・후, 시동 전・후와 같은 다양한 상황에서 자동점검 또는 운용자가 필요한 부분만 선택하여 수동점검을 할 수 있어 비행체 점검에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있다는 장점을 가진다. 또한 본 연구의 내용은 다른 무인항공기를 위한 비행체점검장비 설계 및 구현에도 많은 참고와 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

[Abstract]

Unlike manned aerial vehicles, because an unmanned aerial vehicle (UAV) has a limitation which allows only remote test during flights, it is very important to maintain the high reliability of the vehicle through pre- and post-flight tests. To this end, this paper designed an air vehicle test equipment (AVTE) for UAV which meets the derived hardware and software requirements. Based on this design, the AVTE was implemented in accordance with the actual test scenario. The implemented AVTE has the advantage of reducing the time and cost required for the test of UAV by allowing the operator to perform automatic or manual tests for necessary parts in various situations such as before and after starting engine and pre- and post-flight tests. Furthermore, this study is expected to help with the design and implementation of AVTE for other UAVs.

Key word : Air vehicle test equipment (AVTE), UAV test, Hardware design, Software design, High reliability.

https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.4.251

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 15 July 2020; **Revised** 23 July 2020
Accepted (Publication) 25 August 2020 (30 August 2020)

***Corresponding Author; Sang-eun Kwon**

Tel: +82-42-821-0637
E-mail: sekwon925@add.re.kr

Ⅰ. 서 론

무인항공기 (UAV; unmanned aerial vehicle)는 수많은 LRU (line replaceable unit)로 구성되어있으며, 각 LRU는 비행 및 비행체 운용에 필요한 고유의 기능을 가지고 있다. 이러한 LRU들은 비행 전, 중, 후의 점검을 통해 비행체가 비행을 원활하게 할 수 있도록 유지 보수 및 관리가 되어야 한다. 그러나 무인항공기는 일반항공기와 달리 비행 중에는 원격으로만 점검이 가능하기에 비행 중 실시간으로 비행체 점검을 하는 것에 한계가 존재한다. 따라서 비행 전 점검을 통해 무인항공기의 비행 가능 유무를 판단하는 것과 비행 후, 비행체 이상 유무를 확인하여 비행체에 대한 고신뢰성을 유지하는 것은 매우 중요하다. 하지만 무인항공기를 점검하는 비행체점검장비 (AVTE; air vehicle test equipment)의 설계와 구현에 대한 연구는 많이 공개되어 있지 않다.

무인비행체 점검 장치 및 방법에 대한 실제 예를 제시하거나 [1], 유무인혼용기 비행체 점검장비 개발에 대한 연구[2]가 진행되었으나 필요한 기능과 이를 위한 구조를 추상적으로만 제시하였고, 하드웨어 및 소프트웨어의 요구사항과 설계를 구체적으로 제시하지 않아 이를 구현에 활용하는 것에는 한계가 있다. 또한 주행 트랙에 센서를 설치하는 방법[3]은 일반적인 비행 전, 후의 점검에 활용하기에는 무리가 있다. 이 외에도 비행체점검장비의 일부 기능 향상을 위한 연구[4], [5], [6], [7]가 공개되었으나 무인항공기의 비행 전, 후 점검을 위한 비행체점검장비를 설계하고 구현하여 실제 활용에 도움이 될 수 있는 연구는 거의 공개되어 있지 않다. 이에 본 논문에서는 무인항공기의 비행 전, 후 점검을 위한 비행체점검장비를 설계하고 이를 바탕으로 구현하고 기능검증을 통해 무인항공기 점검에 적절한 활용이 가능함을 보인다.

본 논문에서는 비행체점검장비의 하드웨어 요구사항을 온도, 습도, 충격, 방수, 그리고 EMI의 5가지 항목인 환경 및 전자기 요구사항으로 도출하고 이에 맞춰 하드웨어를 비행체점검 컴퓨터, 케이블 조립체, 케이스 조립체 3가지 구성요소로 나누어 설계한다. 또한 소프트웨어 요구사항은 기능적인 측면을 분석하여 비행체 점검, 비행체 상태진단, 비행체 통제, 영상데이터 점검, 보고서 생성 및 출력, 그리고 비행체점검장비 자체 시스템 및 계정관리의 6가지 항목으로 도출 후 이에 맞춰 5가지 상태의 9가지 모드로 구성되도록 소프트웨어를 설계한다. 이러한 설계를 바탕으로 실제 점검 시나리오에 맞춰 비행체점검장비를 구현하였으며, 기능 검증을 통해 구현한 비행체점검장비 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

본 논문에서 다루는 비행체점검장비는 자동점검과 운용자가 필요한 부분만 수동점검을 할 수 있도록 설계 및 구현되었기에 매우 효율적이고 효과적으로 점검을 수행하여 점검에 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있다는 장점을 가진다. 또한 무인항공기는 종류 및 기능에 따라 점검해야할 항목이 상이하기에 본 논문에서 대상으로 하는 현재 연구 개발 중인 무인항공기와 다른 무인항공기는 본 논문의 설계가 그대로 적용되기보다는 대상이 되는 비행체에 맞춘 설계가 필요할 수 있다. 하지만 본 논문에서 도출한 하드웨어 및 소프트웨어의 요구사항과 설계, 구현 내용은 무인항공기의 점검을 위한 비행체점검장비의 설계 및 구현에 대한 연구 내용이 거의 공개되어 있지 않은 현재 상황에서는 다른 무인항공기를 대상으로 하는 비행체점검장비의 설계와 구현에 많은 참고와 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅱ. 비행체점검장비 하드웨어 설계

2-1 비행체점검장비 하드웨어 요구사항

비행체점검장비는 부대정비 지원 장비로써 야전에서 사용가능해야함에 따라 아래 표1과 같은 환경 및 전자기 요구사항을 만족하여야 한다. 비행체점검장비의 환경 및 전자기 요구사항은 한반도 기후조건 및 MIL-STD-910G[8], MIL-STD-461F [9], ATA-300[10], 그리고 FED-STD-101C[11]를 이용하여 적용한다.

비행체점검장비의 운용온도 요구사항은 비행체점검장비가 운용될 한반도 지역의 연중 최저 기온을 고려하여 설계 필요하다. 비행체점검장비는 실내에서 보관하며 주기고 내에서 운용하기 때문에 다음 표 1의 운용조건을 만족할 수 있어야 한다.

비행체점검장비의 저장온도 요구사항은 MIL-STD-801G, part one, table C-I.의 basic cold(C1) storage and transit conditions 및 basic hot(A2) storage and transit conditions를 적용하였으며 습도 요구사항 또한 MIL-STD-801G, part one, table C-I. 의 constant high humidity(B1)를 따랐다. 온도와 습도의 요구사항의 상세한 내용은 보안상의 문제로 본 논문에서 공개하지 않는다.

비행체점검장비의 충격 요구사항은 ATA-300을 적용해야한다. ATA-300은 미국항공운송협회에서 규정한 항공기 구성품 및 장비를 견고하고 효과적으로 포장하는 사양이다.

비행체점검장비의 방수조건은 FED-STD-101C를 만족해야 한다. 본 요구사항은 미국연방정부표준안으로써 운송, 보관 시 장비를 보호하기 위해 만족해야하는 조건이다.

표 1. 비행체점검장비 환경 및 전자기 요구사항
Table 1. Environment and EMI requirements of AVTE

Conditions	Range
Temperature	. Operational condition : ?? ℃ ~ +?? ℃ . Storage condition : ?? ℃ ~ +?? ℃
Humidity	Storage at ??% relative humidity
Shock	ATA-300, IMPACT RESISTANCE TEST, Category 1
Waterproof	FED-STD-101C, FALLING RAIN, Method 5009.1, Section 6.7.1
EMI	CE102, CS101, CS114, CS115, CS116, RE102, RS103 (MIL-STD-461F)

비행체점검장비 EMI 요구사항은 MIL-STD-461F에 제시된 기준을 따랐다. 비행체점검장비는 전도 방사, 전도 내성, 복사 방사, 복사 내성에 대해 이전 표1을 만족하도록 설계하여야 한다.

2-2 비행체점검장비 하드웨어 설계

비행체점검장비 하드웨어는 이전 표1의 요구사항을 만족하기 위해 아래 그림 1과 같은 구성도를 가지며 다음 그림 2는 비행체점검장비의 하드웨어 형상이다.

비행체점검컴퓨터는 rugged laptop computer를 사용한다. Rugged laptop computer란 극한의 환경조건에서도 사용 가능한 컴퓨터로 환경 및 전자기 시험을 통과하여 MIL-STD 인증을 받은 제품으로 비행체점검장비의 운용조건을 만족한다. 비행체점검컴퓨터는 두 개의 이더넷 포트를 가지고 있다. 포트1은 비행체와의 연동에 사용하는 포트이며, 포트2는 비행체점검장비의 하드웨어 이상 유무를 판단하기 위한 loop-back 시험 시 이용한다.

케이블 조립체의 구성은 컴퓨터 전원 케이블, 전원 케이블 릴, 이더넷 케이블, 이더넷 케이블 릴, Y형 어댑터 케이블, 그리고 Y형 시험용 케이블로 구성된다. 컴퓨터 전원 케이블은 비행체점검컴퓨터에 연결되어 전원을 공급해주는 케이블로 비행체점검컴퓨터 제작사에서 제공하는 케이블을 사용한다. 전원 케이블 릴은 비행체점검장비에 220VAC 상전원을 공급하기 위한 케이블로써 릴 기구물은 차단기가 부착되어있는 상용 릴을 사용하며 케이블은 MIL-STD 규격을 만족하는 케이블을 사용한다. 이더넷 케이블과 이더넷 케이블 릴은 비행체점검컴퓨터와 비행체를 연결하는데 사용한다. 이더넷 케이블은 이더넷 케이블 릴과 비행체점검컴퓨터 사이를 연결하는 케이블이며, 이더넷 케이블 릴은 CAT.6 이상의 규격과 20M 이상의 길이, STP (shielded twist pair) 방식의 케이블을 사용하였다.

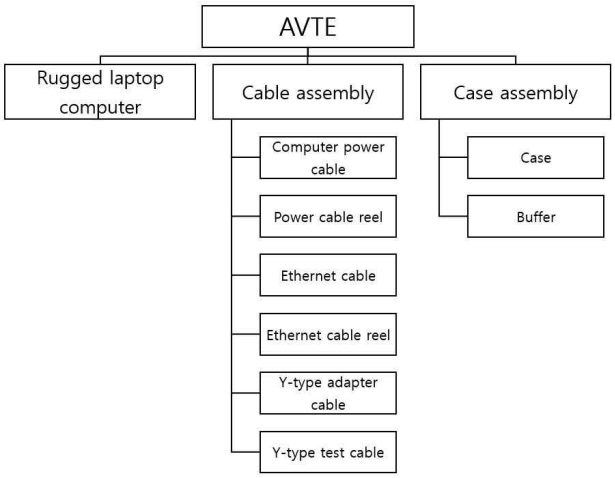

그림 1. 비행체점검장비 구성도
Fig. 1. Hardware diagram of AVTE

그림 2. 비행체점검장비 하드웨어 형상
Fig. 2. Hardware shape of AVTE

Y형 어댑터 케이블은 이더넷 케이블 릴과 비행체를 연결해주는 역할을 하는 케이블이며, 비행체 점검 시 탑재데이터링크 제어기#1과 탑재데이터링크제어기#2를 선택적으로 연결할 수 있도록 Y형으로 분기시켜 설계하였다. Y형 시험용 케이블은 Y형 어댑터 케이블과 비행체점검컴퓨터를 연결하는 케이블로써 케이블 조립체의 이더넷 통신을 확인하기 위한 loop-back 시험 시 사용한다. 비행체점검장비와 비행체 간의 물리적인 연결에 이상이 없음에도 불구하고 통신이 되지 않을 때, Y형 어댑터케이블과 Y형 시험용 케이블을 연결하고, Y형 시험용 케이블 한 쪽을 비행체점검컴퓨터에 연결하여 비행체점검장비의 하드웨어 이상 유무를 점검할 수 있다. Y형 시험용 케이블 또한 Y형 어댑터 케이블의 이상 유무를 파악할 수 있어야 하기에 Y형 시험용 케이블과 마찬가지로 Y형으로 분기하여 설계하였다.

케이스 조립체는 케이스와 완충제로 구성되며 비행체점검컴퓨터, 케이블 조립체의 보관 및 이동 에 사용된다. 케이스 조립체는 충격, 방수 요구사항을 만족하도록 설계하였다.

아래 그림 3은 비행체점검장비와 비행체 간 하드웨어 연결 형상이다. 비행체점검장비 전원 케이블을 비행체점검컴퓨터의 전원포트와 상전원에 연결한다. 이 때, 상전원 콘센트가 멀리 있을 경우 전원케이블 릴을 이용할 수 있다. 이더넷 케이블 한 쪽은 비행체점검컴퓨터에 다른 한 쪽은 이더넷 케이블 릴과 연결하고, Y형 어댑터 케이블을 이더넷 케이블 릴, 비행체와 연동한다. 이러한 형상으로 하드웨어를 연결 한 후 비행체 점검을 수행할 수 있다. Y형 시험용 케이블은 이더넷 통신의 정상 유무를 확인하기 위한 자체 시험에서 사용하기 때문에 실제 비행체 점검 시에는 연결하지 않는다.

그림 3. 비행체점검장비와 비행체 간 연결 구성도
Fig. 3. Connection diagram of AVTE for UAV

Ⅲ. 비행체점검장비 소프트웨어 설계

3-1 비행체점검장비 소프트웨어 요구사항

아래 표2에서와 같이, 비행체점검장비 소프트웨어의 주요 기능은 비행체에 탑재된 서브시스템 및 개별 장비를 점검하여 그 결과를 도시하는 것이다. 운용자는 주기고에 보관 중인 무인항공기를 주기적으로 점검한다. 주기점검을 통해 보관 중인 비행체의 고장 유무를 파악할 수 있으며 언제든지 비행 가능한 상태를 유지 할 수 있다. 주기점검은 비행체의 엔진 시동 전, 후로 나누어진다. 엔진 시동 전 점검은 비행체에 전기적 전원만 입력된 상태에서 확인 할 수 있는 점검항목을 검사하는 것으로 주기고 내에서 수행한다.

그리고 비행체를 주기장으로 이동 후, 엔진 시동을 켜고 시동 후 점검을 수행할 수 있다. 또한 비행체점검장비는 무인항공기를 비행 전, 후 점검하는 역할을 한다. 비행 전 점검을 통해 비행체의 비행 및 임무 가능 여부를 판단할 수 있다. 그리고 운용자는 비행체점검장비를 이용한 비행 후 점검을 통해 비행 중 발생한 비행체의 이상 유무를 세부적으로 파악할 수 있으며 비행 중 확인할 수 없었던 고장 유무를 식별 할 수 있다. 이러한 기능을 구현하기 위해 비행체점검장비 소프트웨어 요구사항을 설계하였으며, 아래 표2는 비행체점검장비 소프트웨어 요구사항이다.

비행체점검장비는 기능적인 측면에서 비행체 점검, 비행체 상태진단, 비행체 통제, 영상데이터 점검, 보고서 생성 및 출력, 그리고 비행체점검장비 자체 시스템 및 계정관리 기능을 갖추어야 한다.

표 2. 비행체점검장비 소프트웨어 요구사항
Table 2. Software requirements of AVTE

Function	Details
UAV test function	. Healthy check . Communication check . PBIT / IBIT / CBIT check . Automatic / manual check before starting engine . Automatic / manual check after starting engine . Automatic check before flight . Automatic / manual check after flight . LRU check
UAV condition check	. Send control command . Receive and displaying LRU status information . Receive and displaying warning
UAV control function	. Set UAV initialization . Send UAV connection command . Send engine start command . Send engine stop command
Video test function	. Receive and display EO/IR, CCD, and FLIR real time video data . Receive and display SAR video data
Generating and printing result report	. Generate result report . Management result report . Print result report
System management	. Log in . User information management . Management for Software . Self check

비행체 점검 기능은 비행체점검장비의 주 요구사항이다. 비행체점검장비는 비행체의 수많은 LRU들의 healthy, communication, BIT 정보를 수신, 도시하여 운용자가 비행체의 상태를 확인할 수 있어야 한다. 그리고 이러한 점검을 함에 있어 운용자의 편리성을 높이기 위해 운용자의 개입 없이 비행체점검장비 프로그램이 자동으로 점검하여 그 결과를 보여주는 자동점검과 운용자가 값을 입력하여 눈으로 직접 확인해야하는 수동 점검으로 점검 방법을 나뉘어 설계할 필요가 있다. 그리고 개발 시 식별되지 않았으나 비행체 운용 중 주기적으로 점검해야 할 점검항목이 추가되는 경우 계통별 세부 점검을 통해 각 LRU의 상태 확인 및 고장유무를 판단할 수 있도록 설계하여야 한다.

3-2 비행체점검장비 소프트웨어 설계

비행체점검장비는 5가지 상태, 9가지 모드로 이뤄지며 이전 표2의 요구사항을 만족하기 위해 다음 그림 4와 같은 상태 및 모드를 가지도록 설계하였다.

시동상태는 비행체점검장비 전원을 인가하고 운용프로그램이 로딩 되어 운용방법을 선택할 수 있는 상태이다. 시동상태는 정상시동모드와 회복시동모드가 있다. 정상시동모드는 비행체점검장비의 전원이 인가된 후, 운용프로그램이 로딩 되어 운용방법을 선택할 수 있는 모드이며, 회복시동모드는 전원이 인가된 상태에서 운용프로그램이 메모리에 로딩 되는 모드이다. 시동상태는 타 4가지 상태와 유기적으로 연결되어있으며, 시동 후 어떤 기능을 수행하느냐에 따라 다음 상태로 천이된다.

운용상태는 비행체 초기화 설정 모드와 비행체 점검 모드가 있다. 비행체 초기화 설정 모드는 임무 수행을 위한 비행체 탑재장비의 초기 값을 설정하는 모드이며, 비행체 점검 모드는 비행체를 점검하는 모드이다.

분석상태는 비행체의 점검을 완료하고 저장된 점검 결과를 검색하여 자료를 수신하는 점검결과 검색 모드와 검색, 수신한 점검결과를 그룹화, 목록화하여 화면에 도시하는 점검결과 도시모드가 있다.

영상점검상태는 EO/IR (electro-optical/infrared), SAR(synthetic aperture radar), CCD(charge-coupled device), FLIR(forward looking infrared radar)의 영상을 수신하여 도시하는 상태이다. 영상점검상태는 비행체 영상장비 점검모드, 비행체 영상 점검모드, 영상데이터 수신모드가 있다. 비행체 영상장비 점검모드는 비행체점검장비가 각 영상장비와 연동하여 장비의 통제명령 및 상태를 점검하는 모드이다. 영상테이터 수신모드는 장비로부터 영상데이터를 수신하는 모드이다. 그리고 비행체 영상점검모드는 수신한 영상을 점검화면에 도시하는 것을 말한다.

마지막으로 종료상태는 종료모드로 운용을 마친 뒤 프로그램을 종료하고 전원을 제거하는 상태이다.

위와 같은 상태 및 모드를 구현하기 위해 비행체점검장비는 1개의 CSCI (computer software configuration item), 4개의 CSC

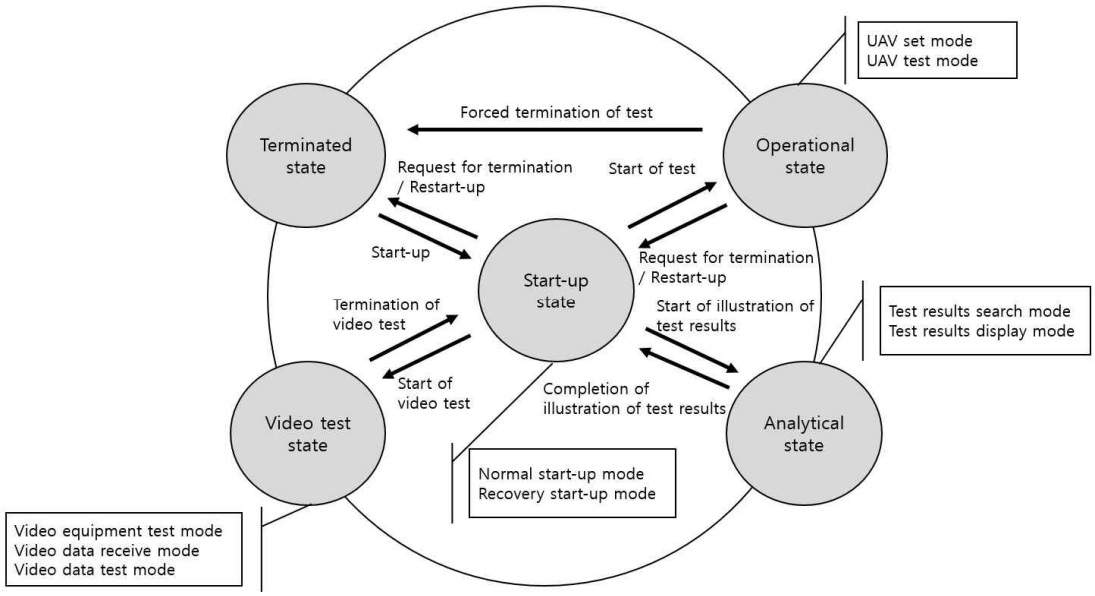

그림 4. 비행체점검장비 상태 및 모드 천이도
Fig. 4. Transition of status and mode of AVTE

(computer software component), 그리고 각 CSC 아래에 다수의 CSU(computer software unit)를 가지도록 설계하였다. 비행체점검장비의 소프트웨어 형상항목은 아래 그림 5와 같다.

1) 시스템CSC

시스템CSC는 비행체와 연동하여 통신 개설, 통신 설정, 통신 상태 정보 등을 송수신하며 초기화를 수행한다. 비행체점검장비는 전원인가 후 CPU 사용량, 메모리 사용량, 하드디스크 사용량 등과 같은 자체 점검을 수행하며 그 결과를 운용자에게 알려줄 수 있도록 설계하였다. 사용자관리CSU는 로그인 및 사용자 계정 관리 기능을 구현하였다. 비행체점검장비는 관리자 권한을 가진 운용자가 사용자를 관리할 수 있으며 인증 받은 사용자에 한해 사용 가능하다. 비행체점검장비는 다수의 비행체를 점검할 수 있도록 설계되어 있기 때문에, 점검을 수행하기 전 비행체 식별번호를 설정할 수 있어야 한다. 또한 비행체점검장비는 비행체 탑재장비 초기화 기능을 가진다. 초기화 기능은 비행체 LRU들의 초기값을 설정해주는 기능으로써 비행체점검장비가 비행체 LRU들의 초기값을 설정하면 비행체 전원이 OFF되더라도 각 LRU는 그 값을 저장하고 있으며 지상통제장비와 연동되어 운용 시 필요한 값을 설정하는 기능이다. 자체 데이터베이스와 통신하며 사용자관리, 설정, 자체점검 그리고 통신이력을 관리한다. 그리고 점검CSC로부터 수신한 점검결과 보고서를 저장 및 관리한다.

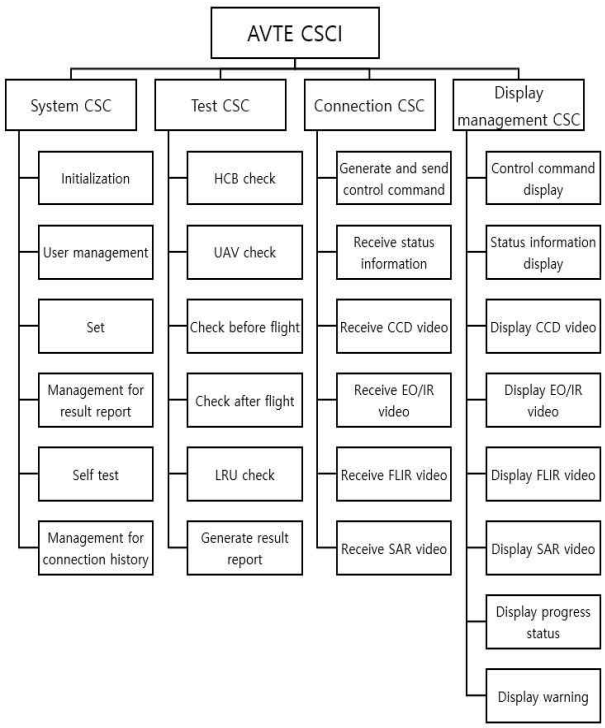

그림 5. 비행체점검장비 소프트웨어 CSCI
Fig. 5. Software CSCI of AVTE

2) 점검CSC

점검CSC는 비행체 점검기능을 구현한 소프트웨어 구성요소로써 비행체점검장비의 주요 기능을 설계한 부분이다. 비행체점검장비가 모든 비행체 탑재장비의 고장 유무를 판단할 수 있는 HCB점검이라는 기능을 구현하였다. HCB란 비행체에 탑재되는 모든 LRU에서 생산되는 healthy, communication, BIT를 나타낸다.

Healthy는 communication 상태 및 BIT 정보를 종합하여 비행체 탑재장비의 고장 유무를 알려주는 상태정보이며, communication 은 비행체에 탑재된 특정 장비 상호간의 통신 이상 유무 정보를 알려주는 정보로, 비행체와 비행체점검장비가 통신 할

때 비행체점검장비와 가까이 연결된 장비가 먼 장비와의 통신 상태를 알려주는 정보이다.

비행체점검장비는 비행체 각 LRU에 대한 BIT 점검 기능을 갖는다. 비행체점검장비를 통해 비행체 탑재장비의 PBIT(power-up built-in test), IBIT(initiate built-in test), CBIT(continuous built-in test) 결과를 알 수 있다.

PBIT은 비행체 탑재장비에 전원이 인가되면 장비가 최초 수행하는 점검으로 모든 비행체 탑재장비는 비행체 전원이 켜진 후, 자동으로 PBIT을 수행하고 그 결과를 저장한다. 비행체점검장비는 운용 상태에서 비행체 탑재장비에게 PBIT 결과를 요청하며, 그 결과 값을 수신하여 도시할 수 있다. 비행체점검 모드는 운용자가 비행체점검장비를 통해 비행체를 점검하는 모드이다.

비행체점검장비는 비행체점검 수행 시 모든 장비의 IBIT 요청 명령을 동시에 또는 개별로 전송할 수 있으며, IBIT 세부 결과를 장비별로 구분하여 전시하여준다. 비행체점검장비는 PBIT, IBIT을 수행함에 있어 화면 초기화 기능을 가진다. 비행체점검장비는 다수의 비행체를 주기적으로 또는 특정 상황에서 점검하는 장비이기에 점검 시 이전 점검 결과가 화면에 남아 있으면 운용자에게 혼란을 줄 수 있다. 그렇기에 비행체점검장비는 프로그램 실행 시 PBIT, IBIT 점검결과 화면을 초기화 해줌으로써 매 점검 시 이전 점검결과가 화면에 도시되지 않는다. 또한 비행체 탑재장비가 주기적으로 보내주는 CBIT 데이터를 도시해줌으로써 실시간 비행체의 상태를 확인할 수 있다. 점검CSC는 연동CSC에게 비행체 점검 및 통제명령을 전송하고 비행체 점검 결과 및 상태 정보를 수신하며, 비행체점검 결과보고서를 시스템CSC로 송신한다.

비행체 점검은 점검 방식에 따라 자동점검과 수동점검으로 나뉘고 점검하는 비행체의 상태에 따라 시동 전 점검과 시동 후 점검으로 분류한다. 자동점검은 비행체점검장비가 비행체와 통신하며 자동으로 점검, 도시할 수 있는 항목으로 설계했으며 수동점검은 운용자가 정보를 입력하거나, 눈으로 확인해야 되는 항목으로 설계하였다.

또한 시동 유무에 따라 점검할 수 있는 항목이 상이하기에 비행체의 상태에 따라 시동 전 점검, 시동 후 점검을 구분하여 설계하였다. 시동 전 점검은 비행체 엔진 시동 전 점검이 필요한 항목에 대하여 수행하는 것으로 자동점검 항목과 수동점검 항목이 있다. 시동 전 점검 후, 엔진 시동을 넣고 시동 후 점검을 수행할 수 있으며 시동 후 점검 또한 각 항목별 자동점검과 수동점검으로 분리하여 구현하였다. 운용자는 비행체를 비행 전, 후에 비행체점검장비로 점검함으로써 고장 유무를 판단할 수 있다. 운용자가 주기적으로 비행체점검을 수행하는 것을 고려하여, 임무의 신속성을 위하여 비행 전 점검은 각 계통과 협의하여 비행 전 필수적으로 점검이 필요한 항목들을 도출하여 자동점검 항목으로만 구성하였다. 비행 후 점검은 자동점검과 수동점검 항목이 존재하며, 자동점검 항목은 비행 전과 동일한 항목이며 수동점검 항목이 더 추가된다. 그리고 운용자는 계통별 점검을 통해 비행체 각 LRU에 대한 세부 점검을 수행할 수 있다.

3) 연동CSC

연동CSC는 비행체점검장비와 비행체 간의 연동을 구현한 소프트웨어 구성요소로써 통제명령을 생성하여 비행체 통신장비로 송신하고, 상태정보를 수신하여 점검CSC로 전달한다. 그리고 비행체로부터 영상데이터를 수신하여 시스템CSC로 송신하는 역할을 한다.

4) 화면관리CSC

화면관리CSC는 연동CSC로부터 통제 명령 및 상태정보를 수신하여 비행체점검컴퓨터 화면에 도시하며 점검CSC로부터 점검 진행 상태 및 점검결과를 수신하여 전시한다. 비행체점검장비는 운용자가 비행체점검컴퓨터 화면을 보며 프로그램을 직접 실행하고 그 결과를 확인하는 장비로써 UI(user interface) 구성이 중요한 장비이며 화면관리CSC가 이를 담당하게 된다.

Ⅳ. 비행체점검장비 구현 및 실험결과

4-1 비행체점검장비 구현 내용

비행체점검장비는 앞서 설계한 하드웨어 및 소프트웨어 설계를 기반으로 구현하였다. 비행체점검장비의 하드웨어는 그림 2의 하드웨어가 그대로 사용되었으며 소프트웨어는 비쥬얼스튜디오 2012 환경에서 C++ 및 C# 언어를 활용하여 약 21만 라인의 소스코드를 가지는 프로그램으로 전체 기능을 구현하였다.

본 논문에서는 무인비행체 점검시 일반적으로 사용되는 시나리오를 구성하고 해당 시나리오에 따라 비행체점검장비의 구현내용을 설명한다. 비행체점검을 위한 시나리오는 아래 그림 6과 같은 내용으로 구성하였다. 먼저 프로그램을 실행되면 비행체점검장비 프로그램은 허가된 운용자만이 로그인 할 수

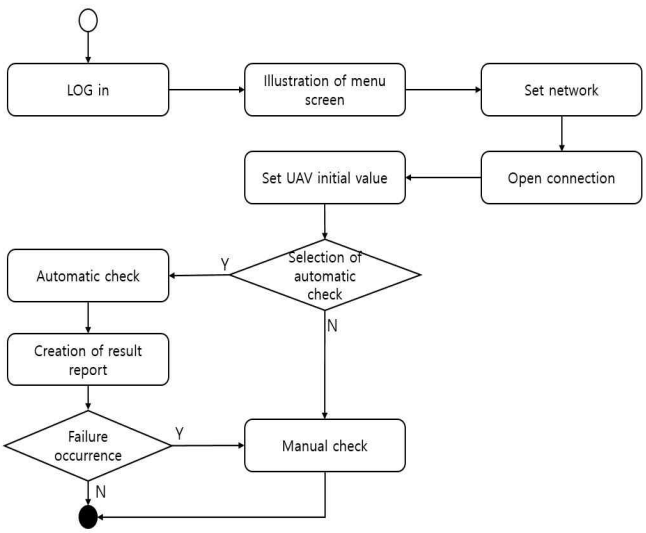

그림 6. 비행체점검장비 운용 개념도
Fig. 6. Operation procedure of AVTE

있도록 로그인 입력을 받는다. 이 후 정확한 아이디와 암호를 입력하여 로그인하면 메인화면이 도시되도록 하였다. 메인화면은 운용자에게 필요한 시스템 정보 및 비행체를 점검하기 위한 메뉴 버튼들로 구성하였다. 메인화면의 메뉴에는 시스템관리, 환경설정, 탑재장비 초기설정, 계통별 점검, 비행체 점검, 비행 전 점검, 비행 후 점검, 점검결과 보고서 버튼을 두어 각각에 해당되는 기능을 구현하였다.

비행체점검을 위한 다음과정으로는 통신개설이 필요한데, 통신 개설 전에 네트워크 설정이 선행되어야 한다. 네트워크 설정에서는 비행체점검장비와 비행체 간의 통신을 위해 비행체점검컴퓨터의 IP 주소를 설정할 수 있도록 하였고, 운용자는 최초 사용 시 비행체점검컴퓨터 windows 제어판 네트워크 및 공유 센터에서 지정된 IP 주소를 입력하여 설정을 할 수 있도록 하였다.

비행체점검장비와 비행체 간 이더넷케이블로 연결이 된 상태에서 네트워크 설정이 올바르게 되면 통신개설을 수행할 수 있도록 하였으며, 이 후 메인화면 메뉴 중 환경설정에서 비행체 초기값 설정을 수행하게 된다. 비행체점검장비는 다수의 비행체를 점검할 수 있도록 설계되어 있고, 점검을 수행하기 전 비행체 호기를 선택할 수 있다. 통신개설을 수행하면 비행체 식별번호가 비행체에 저장되며 이 식별번호는 비행체점검 완료 후에도 유지되도록하여 비행체가 지상통제장비와 연동하여 체계운용을 할 수 있도록 하였다.

통신이 개설 된 상태에서는 비행체 호기 번호를 변경하는 경우 고려해야 될 사항이 많고 이는 많은 오류를 유발할 수 있기 때문에, 운용자가 점검하려는 비행체를 변경하려는 경우, 통신 종료를 수행한 뒤 다시 점검 호기를 변경하여 통신 개설을 진행하도록 하였다. 만약 비행체점검장비 소프트웨어에서 통신 개설을 하려는 비행체와 실제 점검하려는 비행체 호기가 일치하지 않는 경우에는 소프트웨어에서 선택한 비행체 번호로 통신이 개설되도록 구현하였다.

통신 개설이 완료되면 자동점검 또는 수동점검을 수행할 수 있게 된다. 수동점검은 운용자가 점검항목을 선택하여 비행체의 상태를 점검, 고장 유무를 판단하는 점검이며 자동점검은 운용자의 개입 없이 비행체점검 프로그램이 자동으로 식별되어 있는 점검항목을 점검, 그 결과를 도시해주는 점검이다. 운용자가 각 LRU 점검항목 화면에서 LRU에 대한 수동점검을 언제든지 할 수 있도록 하였다. LRU 점검항목 화면에서는 각 LRU의 상태정보 및 연동상태를 확인할 수 있도록 하였으며, 각 LRU별 통제/제어명령을 송신하여 그 결과를 확인하는 방식으로 수동 점검할 수 있도록 하였다. 그리고 이러한 LRU별 점검항목을 한 화면에 구현하여 운용자가 각 LRU의 상세 점검 내용을 일목요연하게 볼 수 있도록 정보를 제공하여 LRU의 이상 유무를 한 눈에 파악할 수 있도록 구현하였다.

그 예로 아래 그림 7은 BIT 화면 구성으로 비행체 각 장비별 BIT 상태를 전시하고 있다. 운용자는 전체 선택 버튼을 통해 모든 항목에 대한 체크 박스를 선택할 수 있고, 전체 해제 버튼을 누르면 모든 항목에 대한 체크 박스 해제를 할 수 있다. 모든 BIT 결과는 램프로 표시되며, 미수신 시 회색, 정상일 때는 녹색, 그리고 비정상일 때는 적색으로 나타난다. PBIT, IBIT 결과 요청 버튼은 PBIT, IBIT 결과를 요청하는 버튼으로 전체 선택 버튼을 누른 후, PBIT, IBIT 결과 요청 버튼을 누르면 비행체 모

그림 7. 비행체점검장비 BIT 화면
Fig. 7. Screen capture of composition of BIT in AVTE

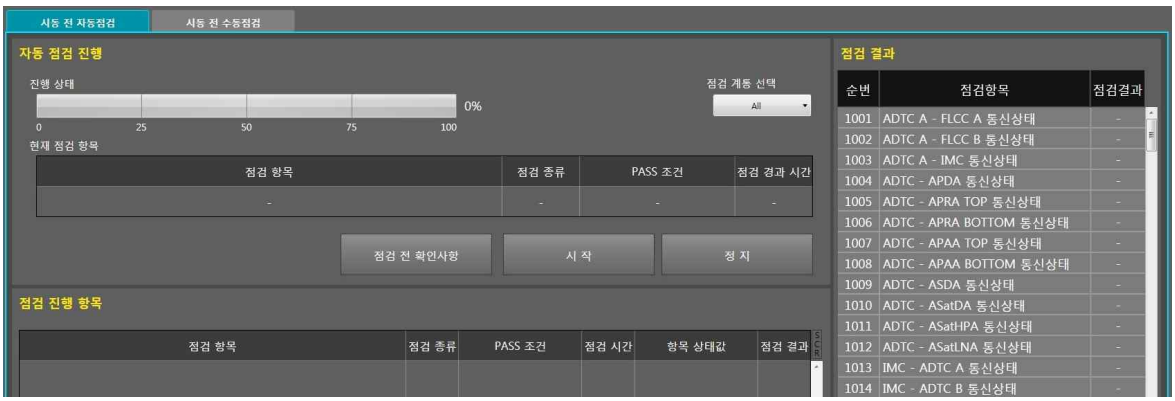

그림 8. 비행체점검장비 시동 전 자동점검 화면
Fig. 8. Screen capture of automatic check before starting engine

그림 9. 비행체점검장비 시동 전 수동점검 화면
Fig. 9. Screen capture of manual check before starting engine

든 장비의 PBIT, IBIT 결과를 확인할 수 있게 된다. 비행체점검장비는 각 장비별 PBIT, IBIT 세부 항목 중 하나라도 고장일 경우 해당 장비의 PBIT, IBIT 전체 결과값을 적색으로 도시한다. PBIT, IBIT 결과 초기화 버튼은 PBIT, IBIT을 재수행하기 전에 이전 결과값을 초기화하기 위해 사용한다. CBIT은 주기적인 메시지이므로 통신 개설 후 자동으로 결과를 도시한다. CBIT 또한 PBIT과 마찬가지로 세부 항목 중 하나라도 고장일 경우 결과를 적색으로 도시한다. PBIT, CBIT, IBIT별 세부항목은 확인 버튼을 클릭하여 확인할 수 있다.

구현한 비행체점검장비는 시동 전, 비행 전, 그리고 비행 후에 자동점검을 수행할 수 있도록 하였으며 3개의 상태에서 수행하는 자동점검 항목은 동일하다. 이전 그림 8은 시동 전 자동점검 화면이다. 점검 진행 항목에는 자동점검을 진행하고 있는 항목의 목록이 전시되도록 하였으며, 점검 결과에는 자동점검을 마친 항목의 점검결과가 간략하게 전시되도록 하였다.

수동점검은 비행체의 상태에 따라 점검할 수 있는 항목이 다르기에 시동 전 수동점검과 시동 후 수동점검 항목이 상이하게 구성되어야 한다. 본 논문에서 구현한 비행체점검장비의 시동 전 수동점검은 총 14개 항목으로 구성하였으며 위 그림 9는 그 중 한 항목으로 외부등 점검항목을 보여주고 있다. 이는 비행체 외부등을 확인하는 항목으로, 운용자는 외부등 전원의 ON/OFF에 따라 등의 상태가 변경되는지 확인하고 점검 결과를 작성할 수 있도록 하였다. 비행 후 수동점검 또한 시동 전 수동점검과 동일한 14개 항목에 대해 점검하도록 구현하였으며, 시동 후 수동점검은 엔진 시동 후 점검이 필요한 항목에 대해 수행하는 것으로 총 5가지 수동점검 항목으로 구성되었다.

위와 같이 상황별, 기능별로 분류하여 비행체점검을 완료하면 그 결과는 비행체점검프로그램 데이터베이스에 저장되도록 하였다. 그리고 운용자는 점검결과 보고서를 통해 그 결과를 확인할 수 있게 된다. 점검결과보고서는 자주 사용되는 메뉴이기에 메인메뉴 중 점검결과보고서를 선택하여 점검 보고서를 관리 할 수 있도록 하였다. 점검 보고서 관리 화면에서는 점검결과 및 보고서 검색이 가능하며 엑셀 파일 형식으로 보고서를 생성이 가능하도록 하여 호환성과 활용성을 높였다. 비행체점검장비 점검결과보고서는 운용자가 설정한 보존기간 동안 데이터베이스에 저장되며, 보존기간이 지나면 데이터베이스에서 자동 삭제되고 운용자는 보고서 삭제 항목을 통해 보존기간 전에 삭제 할 수 있도록 구현하였다.

4-2 구현한 비행체점검장비 기능 검증

구현한 비행체점검장비의 소프트웨어는 rugged laptop computer에서 구동 중인 윈도우 7 OS에 설치되어 구현한 기능이 잘 동작하는지 실험을 수행하여 기능을 검증하였다. 비행체점검장비의 기능 검증은 에뮬레이터를 활용한 1단계, 실험실 환경에서 수행하는 2단계, 실제 비행체에서 수행하는 3단계를 거쳐 이뤄졌다.

기능 검증 1단계에서는 비행체점검장비와 에뮬레이터를 이더넷으로 연결하여 비행체점검장비의 요청에 따라 에뮬레이터에서 적절한 응답을 보내게 하여 비행체점검장비가 응답에 따라 요구하는 기능을 정상적으로 수행하였는지를 판단하였다. 기능검정 1단계에서는 통신개설, BIT점검, 계통별 기능 점검, 그리고 점검결과보고서 생성을 포함한 소프트웨어 요구사항을 모두 충족하는지를 확인하였다. 에뮬레이터에서 보낼 수 있는 응답에는 한계가 있기에 모든 항목에 대한 기능 검정을 할 수 없다. 1단계에서 기능 검증을 할 수 있는 세부항목의 수는 86가지이다. 검증 결과, 검증이 가능한 항목에 대해서는 이상동작이 발견되지 않았으며 응답에 따른 비행체점검장비의 정상 동작이 확인되었다.

기능 검정 2단계에서는 실제 비행체는 구성하지 않았지만 비행체에 탑재되는 LRU들이 서로 연결되어 통신하는 실험실 환경에서 비행체점검장비를 연결하여 기능 검정을 수행하였다. 기능 검정 2단계는 1단계에서 수행한 항목들을 포함하여 1단계에서 검증이 불가능했던 항목까지 포함하여 기능 검정을 수행하였다. 실험실 환경에서 수행하는 2단계 기능 검정에서도 실제 비행체 대상이 아니기에 모든 항목에 대한 기능 검증을 불가능하다. 2단계에서 기능 검증을 할 수 있는 세부항목의 수는 112가지이다. 가능한 항목에 대한 기능 검정 수행 결과, 일부

표 3. 비행체점검장비 기능검증 범위 및 세부항목의 수
Table 3. Functional verification scope and number of detailed items of AVTE

Classification	Functional verification scope	Number of detailed items
Step 1	. Configuration setting	86 things
Step 2	. Initialization setting for LRU	112 things
Step 3	. HCB check . Healthy and communication check . PBIT/CBIT/IBIT check . System check . S/W version check . Landing gear/hydraulic system . Propulsion/fuel system . Electrical system . Environmental/ice protection system . Flight control system . Avionics system . Datalink system . mission system . System management . Result report check . Internal/external interface check . Environmental/computer resource check . Etc.	. Automatic check before starting engine : 404 things . Manual check before starting engine : 13 things . Engine start check : 38 things . Automatic check after starting engine : 214 things . Manual check after starting engine : 5 things . Automatic check before flight : 404 things . Automatic check after flight : 404 things . Manual check after flight : 12 things

LRU에서 점검 결과가 fail로 나타났으며 원인을 분석해본 결과 잘못된 설정과 LRU간 연결 오류에서 기인한 것으로 확인되었다. 올바른 설정을 거친 후 모든 LRU에서 pass 결과를 얻을 수 있었으며 이를 통해 비행체점검장비의 기능이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다.

기능 검증 3단계에서는 실제 비행체에 비행체점검장비를 연결하여 기능 검정을 수행하였다. 기능 검정 3단계는 모든 항목에 대한 기능 검증이 가능하며, 이를 비행 전·후, 시동 전·후로 나누어 수행하였다. 비행체 2대에 대해 기능 검증을 수행하였고, 검증 결과 일부 LRU에서 점검 결과가 fail로 나타났으며, 모든 항목을 비행체점검장비를 사용하지 않고 수동 점검해 본 결과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 비행체점검장비의 기능이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다.

위 표 3은 기능검정 1, 2, 3단계에서 수행할 수 있는 항목의 범위와 세부항목의 수를 보여주고 있다. 세부항목의 자세한 내용은 보안문제로 본 논문에서 공개하지는 않는다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 현재 연구 개발 중인 무인항공기를 점검하기 위한 비행체점검장비의 하드웨어 요구사항과 소프트웨어 요구사항을 도출하여 이를 만족시키도록 설계하였으며, 이 설계를 바탕으로 실제 점검 시나리오를 고려하여 비행체점검장비를 구현하였다. 또한 총 3단계에 걸친 기능 검증을 통해 설계 및 구현한 비행체점검장비가 정상적으로 동작하며 실제 무인항공기 점검에 활용할 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 보인 비행체 점검장비는 비행 전과 후, 시동 전과 후 등 다양한 상황에서 비행체에 탑재된 전체 LRU에 대한 자동점검 또는 필요한 부분만 선택하여 수동점검을 할 수 있어 비행체 점검에 필요한 시간과 비용을 줄여주며 운용자에게 편의를 제공해준다는 큰 강점을 가지고 있다. 또한 현재 관련 연구 내용이 거의 공개되어 있지 않은 상황에서는 본 논문에서 대상으로 하는 무인항공기와 다른 기능과 임무를 갖는 무인항공기의 비행체점검장비 설계 및 구현에도 본 논문에서 도출한 하드웨어 및 소프트웨어의 요구사항과 설계, 구현 내용은 많은 참고와 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 이러한 비행체점검장비를 활용한 무인항공기 점검은 비행체의 고신뢰성 확보에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] S. Y. Hong and I. J. Kang, “Apparatus and method for UAV inspection,” Korea Patent, 10-2018-0026202, 2018.

[2] H. K. Kim, J. S. So, J. W. Hyun, H. G. Bak, L. S. Shin, and J. K. Bae, “Development of air vehicle test equipment for optionally piloted vehicle,” in *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference,* Jeju: Korea, pp. 834-835, Nov. 2019.

[3] S. M. An, H. Yoo, and Y. D. Jung, “Apparatus and method for maintenance of unmanned aerial vehicle,” Korea Patent, 10-1700536, 2017.

[4] J. H. Choi, Y. K. Heo, S. J. Yun, and D. W. Ryu, “A study

on applying the enterprise application framework in aircraft system test set," in *Proceeding of Symposium of The Korean Institute of Communication and Information Sciences,* Seoul: Korea, pp. 521-522, Nov. 2016.

[5] J. H. Kang and D. H. Lim, "A study on the improvement of air vehicle test equipment stop by uav engine noise," *The Journal of The Korean Academia-Industrial Cooperation Society,* Vol. 21, No. 1, pp. 90-96, Jan. 2020.

[6] S. W. Lee, D. H. Kim, S. W. Kim, M. G. Seo, and C. H. Lee, "Correction method of high-precision signal for aircraft automatic test equipment using least squares method," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 22, No. 2, pp. 64-69, Apr. 2018.

[7] M. G. Seo, K. Y. Kwon, S. W. Kim, and S. W. Lee, "Maintainability improvement of automatic test equipment for aircraft," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 21, No. 5, pp. 508-513, Oct. 2017.

[8] MIL-STD-810G, Department of defense test method standard: Environmental engineering considerations and laboratory tests, department of defense: united states of america, 2008, [Internet]. Available: http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G_12306/

[9] MIL-STD-461F, Department of defense interface standard: Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment, department of defense: united states of america, 2007, [Internet]. Available: http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461F_19035/

[10] FED-STD-101C, Federal standard: Test procedures for packing materials, Federal government standard, 1980, [Internet]. Available: http://everyspec.com/FED-STD/FED-STD-101C_NOTICE-4_21228/

[11] ATA Specification 300: Specification for Packaging of Airline Supplies, Air transport association, 2008, [Internet]. Available: https://web.archive.org/web/20140308045616/http://www.anvilcase.com/pdfs/ATA300SPECRev2008.pdf

권 상 은 (Sang-Eun Kwon)
2011년 8월 : 한국과학기술원 전산학과 (공학사)
2013년 2월 : 한국과학기술원 정보보호대학원 (공학석사)
2013년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 항공기술연구원 연구원
※관심분야 : 항공전자장비, 자동화, 정보통신 보안