

유/무인 항공기 복합운용체계 검증을 위한 시뮬레이션 환경 구축

강병규[†] · 박민수 · 최은주

한국항공우주연구원

The Development of The Simulation Environment for Operating a Simultaneous Man/Unmanned Aerial Vehicle Teaming

Byeong Gyu Gang[†], Minsu Park and Eunju Choi

Korea Aerospace Research Institute

Abstract

This research illustrates how the simulation environment for operating the simultaneous man/unmanned aerial vehicle teaming is constructed. X-Plane program, HILS for the ducted fan aircraft (unmanned) and CTLS (manned aircraft) with communication devices are interfaced to simulate the basic co-operational flight. The X-plane and HILS can allow operators to experience the manned and unmanned aircraft operation in the airspace on the ground in turn they can perform various simulated missions in advance before the actual flight. For the test purpose, the data link between man/unmanned aircraft and ground control station is examined using C Band and UHF radio channels by the manned aircraft.

초 록

본 논문은 유/무인 항공기 복합운용체계 검증을 위한 시뮬레이션 환경 구축 및 통합 시험에 대하여 다룬다. 유/무인 항공기 지상 시뮬레이션 환경 구축을 위해서 유인기용 시뮬레이터인 X-Plane과 무인기용 시뮬레이터 HILS를 연동하여 상호 복합운영이 가능한지 시뮬레이션으로 검증하였다. 실제 비행시험 전 유/무인 항공기 및 지상통제실 간 C Band 및 UHF 채널을 이용한 통신 가능성을 확인하기 위하여 통신장비를 제작하고 유인 항공기를 이용한 검증을 수행하였다.

Key Words : Unmanned Aircraft Vehicle(무인기), Hardware In the Loop Simulation(시뮬레이션 시스템), Interface Test(연동 시험), X-Plane(Laminar Research사의 비행시뮬레이터), CTLS(Flight Design사의 경량 항공기)

1. 서 론

무인항공체계는 임무장비를 탑재하는 항공전자계통, 통신을 위한 데이터링크 체계, 지상통제체계 등으로 구성되며, 군용 무인기의 경우 무장체계가 추가된다.

일반적으로 무인 항공기는 영상정보를 기반으로 재해 감시, 정찰 등 목표물에 대한 탐지 및 식별과 같은 다양한 임무를 수행한다. 특히 인구절벽으로 인한 인력부족의 현실에서 첨단 기술과 접목한 무인기의 효율적 임무수행을 극대화할 수 있다. 최근에는 미국에서 유/무인 항공기 복합운용을 위한 MUM-T (Man/Unmanned Teaming) 개념연구를 시작하였다[1]. 이는 데이터링크 기술을 통해 무인항공기에서 수집된 영상물 지상이나 공중 임무 수행중인 유인항공기와 공유하는 개념으로 상황인지능력(SA; Situational Awareness)

Received: Jul. 15, 2019 Revised: Dec. 21, 2019 Accepted: Dec. 28, 2019

[†] Corresponding Author

Tel: +82-42-870-3597, E-mail: kbg5362@kari.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

을 높이는 것이다. 이런 체계를 통해 고위험 지역에서 인명을 보호하고 임무 수행에 있어 효율성을 극대화할 수 있다. NATO (North Atlantic Treaty Organization, STANAG 4586)에서는 유/무인 항공기 상호 운영 (LOA; Level of Interoperability)을 유인기에서 무인기의 제어 상황에 따라 5단계로 구분하고 아래와 같이 정의하고 있다[2].

- Level 1** - Indirect receipt/transmission of UAV-related data and metadata
- Level 2** - Direct receipt/transmission of UAV-related data and metadata
- Level 3** - Control and monitoring of the UAV payload, not the unit
- Level 4** - Control and monitoring of the UAV, without launch and recovery
- Level 5** - Control and monitoring of the UAV, including launch and recovery

Level 5단계는 유인기에서 무인기를 활용한 임무수행을 위한 모든 권한 (FRPSA; Fully Remote Pilot Station Authority)을 가지며 비상 상황 시 지상에서 무인기 제어 임무를 맡는 방법으로 유/무인 항공기 복합운영 시 위험도를 낮춘다. 유/무인기 간 주통신은 C Band를 사용하여, 영상과 같이 용량이 큰 데이터를 주고받으며, 부 통신으로 UHF 채널을 사용하여, 무인기 상태 정보 및 성능 등을 모니터링 하는데 사용한다. 무인기와 지상통제실간도 같은 데이터 통신을 사용하며, 지상통제실과 유인기는 UHF 통신으로 임무 수행현황을 모니터링 한다. 유/무인 항공기 복합 운영 방법 및 데이터링크는 아래 Fig. 1과 같다[2].

본 연구는 NATO (North Atlantic Treaty Organization, STANAG 4586)에서 정의한 Level 2단계 시험환경인 유/무인 항공기 복합운영을 위한 시뮬레이션 환경 구축으로 유인항공기는 독일 Flight Design사에서 제작한 CTLS 모델을 활용한 X-Plane 시뮬레이터와, 한국항공우주연구원에서 개발한 틸터덕트 무인기용 HILS를 인터페이스 시켜 기초 연구에 사용하였다. 또한 실제 비행 시 유/무인 항공기 간 또는 지상통제실과의 통신을 위해 별도의 통신장비를 개발하였다.

따라서 본 연구에서는 유/무인 항공기 실제 복합 운영 전 지상 시뮬레이션 환경 구축을 통해 각각의 시스템 성능 검증을 하는 것이다.

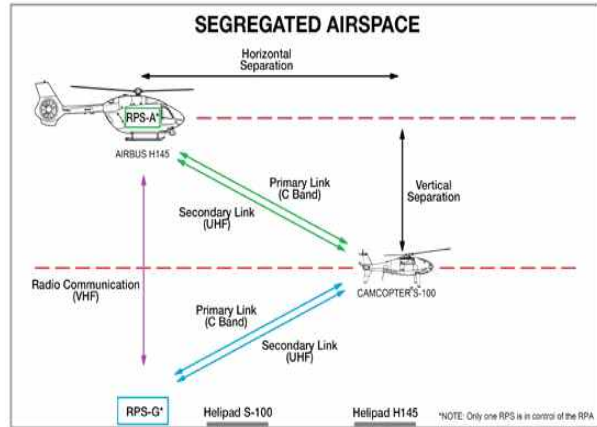


Fig. 1 Manned-Unmanned Teaming Concept[2]

2. 유/무인 항공기 복합운영 시뮬레이션 구성

2.1 무인기용 HILS 구성

무인기 운용을 위한 HILS 구성은 비행시뮬레이션 운동모델, 비행제어컴퓨터, 지상관제시스템, 3차원 가시화 시스템 그리고 Mission Planner로 구성된다. 무인기 모델은 VTOL (Vertical Take Off and Landing)이 가능한 Ducted fan 타입 무인기를 사용하였고, 비행체 사양과 형상은 아래 Table 1과 Fig. 2와 같다.

Table 1 Specification of the Ducted Fan UAV

Specification	
MTOW	40 kg
Payload	3.0 kg
Single Engine Power	15.5 hp
Prop Radius	0.37 m
Max Speed	170 km/h
Overall Length	2 m
Overall Span	2 m



Fig. 2 The Ducted Fan UAV Configuration

지상통제체계는 지상관제컴퓨터, 조종기, 지상모뎀, Mission Planer 그리고 GCS 통합지원장비로 구성되며 Fig. 3과 같다. 지상통제체계 기능은 무인기의 데이터를 실시간으로 모니터링하고 무인기 제어를 위한 관제 프로그램과 비행중인 무인기의 위치와 지도 정보를 운영자에게 제공한다. Mission Planner는 무인기 비행시험 전 이착륙지점, 점항법 그리고 통신 두절 시 Return Home 등의 기능을 지원하며, 운영자에게 위성 VIEW 모드를 제공한다. GCS 통합지원장비는 관제시스템, 조종기, 지상모뎀, 그리고 비행제어컴퓨터 간의 인터페이스를 구성하고 각 장비로부터 전기적 신호를 받아 데이터를 GCS 관제컴퓨터에 제공하여 GCS 컴퓨터에서 무인기에 대한 제어를 수행한다. 통합지원장비 전원은 220V를 사용하며, 내부에 장착된 전압 변환기를 이용해 조종기와 지상모뎀에 12V의 전력을 공급한다. 그리고 비행시험 중 예상치 못한 정전으로 인해 무인기와 지상관제시스템의 통신 두절을 방지하기 위한 무정전 전원공급장치(UPS: Uninterruptible Power Supply)를 내장하고 있어 비상시 1시간 이상의 전력을 제공한다. 조종기는 무인기의 엔진이나 조종면 또는 자세를 직접 제어하기 위한 무선 조종기와 고도, 속도, 방위각의 명령을 주기 위한 노브(Knob) 조종기로 구성된다. 일반적으로 무선 조종기와 노브 조종기는 수동/자동 제어모드에 따라 구분하며, 조종기 선택은 사용자가 지상관제시스템에서 선택할 수 있다.

지상모뎀은 비행체에 탑재되어 있는 통신장치와 무선 통신을 수행하기 위한 UHF 대역의 통신장비이며, 5 km 이상의 통신 거리를 가지며, 30 Hz 이상의 통신 Rate를 갖는다.

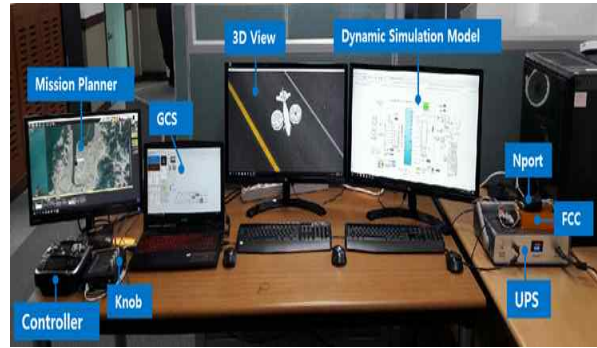


Fig. 3 The Development of HILS Simulation For the Ducted Fan UAV

2.2 유인기 시뮬레이션 구성

유인기 시뮬레이션 시스템은 X-Plane 기반 시뮬레이터 조종석, 통제석, 항공관제시스템(ADS-B: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 서버로 구성된다. X-Plane은 Laminar Research에서 제작한 비행 시뮬레이터로 미연방항공청(FAA; Federal Aviation Administration)으로부터 조종사 훈련용으로 공식 승인을 받았다. X-Plane 시뮬레이터의 장점은 Plane Maker 등을 이용하여 시뮬레이션 하고자 하는 비행체의 특성을 고려한 비행기로 시뮬레이션이 가능하고, 비행 장소 주변의 활주로 및 건물 등의 풍경을 추가할 수 있다. 또한 Plug-in 기능을 활용하면 화면 배경, 다른 비행기 위치 제어, 날씨 제어 등 사용자의 요구에 맞게 시뮬레이터 환경을 변경할 수 있어 실제와 유사한 환경에서 시뮬레이션이 가능하다.

또한 본 연구를 위해 구축한 무인기용 HILS는 Simulink 비행모뎀을 가지고 있어, 3축 속도(u, v, w), 각속도(p, q, r), Euler 각(pitch, roll, yaw), 위치 정보(x, y, z) 및 조정면 각(tilt angle, elevator) 등의 정보를 UDP 통신을 통해 X-Plane과 데이터를 주고받을 수 있다. 그러므로 X-Plane에서 선정한 비행기와 한국항공우주연구원에서 개발된 무인기를 인터페이스시켜 복합운용 시뮬레이션이 가능하다[3].

통제석에서는 ADS-B 장비를 장착 항공기의 항적 모니터링과 비행 시뮬레이션을 위한 X-Plane 항공기를 생성하여 비행시나리오를 만들 수 있고, 조종석은 Pitch, Roll, Yaw 조종입력을 위한 요크(yoke), 페달,

추력 조절을 위한 Throttle로 구성된다. X-Plane을 활용한 유인기용 시뮬레이터 시스템 구성은 아래 Fig. 4와 같다.

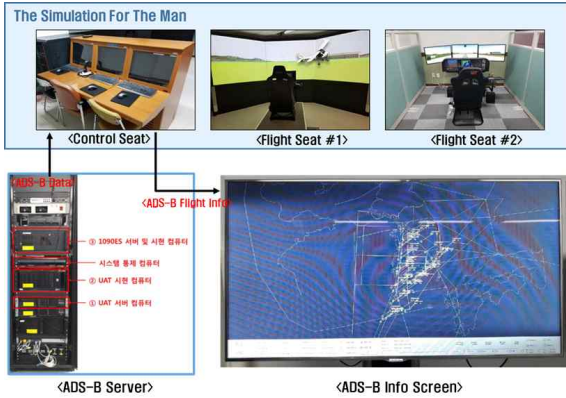


Fig. 4 The simulator based on X-Plane for the manned aircraft training.

이 시뮬레이션 시스템은 대한민국 공역 내 ADS-B 장비를 장착하고 운영되는 항공기(유인기/무인기)의 항행 정보 모니터링을 위해 UAT/1090 기반 ADS-B 시스템 기능을 내장하고 있어 실시간 비행 정보를 통제실에서 모니터링할 수 있다. 이를 통해 ADS-B 장비를 내장한 유/무인기 항공기 복합운영 시 충돌방지를 위한 알고리즘 연구를 수행할 수 있다.

유/무인 항공기 시뮬레이션 환경 구축을 위해 무인기용 킬트릭트 HILS를 X-Plane 기반 시뮬레이터에 연결하여 Fig. 5와 같이 구성 하였다. 이를 통해 비행경로 설정과 항로 모니터링, 항공센터 3D 지형 및 활주로를 구현하여 실제 환경과 유사한 조건에서 시뮬레이션이 가능 하도록 시스템 환경을 구축하였다.

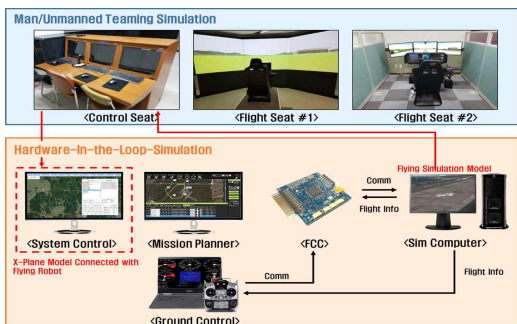


Fig. 5 The Ground Simulator for Manned/Unmanned Teaming Operation.

구축된 시뮬레이션을 이용하여 무인기의 비행성능과 조종 안전성을 평가하였다. Knob를 통해 고도, 속도, 헤딩을 설정 하였으며, 무인기의 기본적인 안전성 테스트를 위해 P 형태의 궤도를 그리며 조종안전성과 비행성능 테스트를 수행 하였고, 시뮬레이션 결과는 Fig. 6 같다. 속도는 30 km/h부터 60 km/h까지 증가 시켰고, 고도는 500m 이하에서 일정하게 유지하였다.

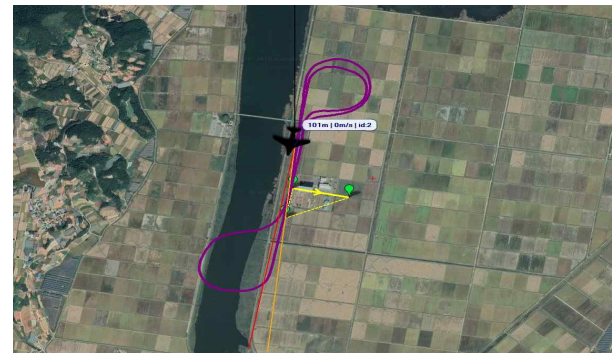


Fig. 6 HILS Simulation: P Turn Flight

3 통신장비 및 시스템 인터페이스

유/무인기 항공기간 통신 및 지상통제실과 실시간 데이터 통신을 위한 장비를 제작 하였다. 통신장비 성능 검증을 위해 유인항공기인 CTLS에 탑재하여 영상정보, 속도, 고도, 위치 등의 항공기 상태정보를 테스트 하였다. 지상으로 전송되는 데이터는 C Band 주파수에 의해 지상의 추적 안테나에 수신되고 이더넷 통신을 통해 통제센터에 전달된다. 또한 유/무인기 항공기간 상태정보는 UHF Band를 통해 송수신 되며, 비행중 모든 데이터 통신은 지상에서 모니터링이 가능하다. 지상통신장치와 탑재 통신장치의 내부 인터페이스는 아래 Fig. 7과 같다.

일반적으로 유/무인기 항공기간 통신시스템은 비행체, GCS (Ground Control Station), 그리고 통신링크로 구성되며, 무인기 시스템의 통신링크는 제어용 통신링크와 임무용 통신링크로 구분된다. 제어용 통신기술은 GCS와 무인기를 직접 연결하는 P2P형 링크와 상업용으로 널리 사용되고 있는 LTE, 5G와 같은 네트워크형 링크가 있다.

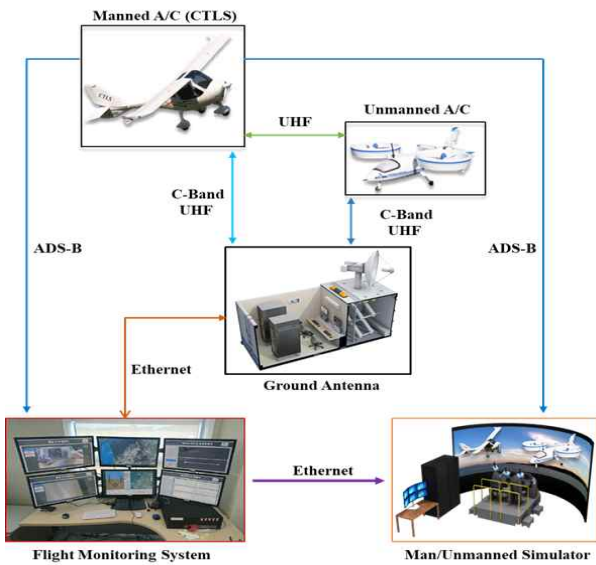


Fig. 7 The System Interface Concept for Operating Simultaneous Man/Unmanned Teaming Operation.

네트워크 링크의 경우 기존에 구축된 통신망을 이용하기 때문에 저렴한 운용비용과 거리 제약 없이 무인기 통제가 가능하며 하나의 GCS로 다수의 무인기들과 통신 링크를 형성하기 용이하다는 장점이 있다. 그러므로 네트워크 링크는 산업용 무인기 분야에 적합하며, 안전한 비행을 위한 네트워크 보안기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. P2P형 링크는 군용환경이나, 재난 상황과 같은 특수한 환경에서 소수의 무인기들을 제어하는 방법으로 한국항공우주연구원에서 개발한 대다수의 무인기 시스템에서도 P2P를 사용하고 있다.

ETRI에 따르면 2018년 우리나라 무인기 통신 기술은 통신 속도와 동시 제어 가능한 무인기 대수에 관한 기술 수준이 세계 최고 수준을 가지고 있는 미국과 대등하지만, 통신거리 및 제어 정밀도 같은 분야를 포함한 전체적 격차는 1년 정도 뒤쳐진다고 평가 하였고 [4] 기술적 평가는 Table 2와 같다.

제작된 무선통신기 자동추적 안테나 시스템은 Electric-Scan 방식을 사용하여 비행체에서 송신되는 C Band 신호 및 GPS 데이터로부터 비행체의 이동방향을 자동으로 계산하고, 그 결과를 안테나의 기계적 구조를 이용하여 자동추적이 가능하도록 설계하였다.

Table 2 Technology Status for UAV

Detailed Tech	USA	Korea	Average Tech Difference (Year)
Communication Speed	34.5 kbps	34.5 kbps	1
Number of Controlled UAV	24 Each	24 Each	
Link-Accessibility	99.8	99.8	

추적 안테나 시스템은 신호처리를 담당하는 Feeder부, 기계적 구동을 담당하는 Pedestal부, 그리고 추적 알고리즘과 GUI (Graphic User Interface)를 담당하는 ACU (Antenna Control Unit)부로 구분된다. Feeder부는 비행체로부터 수신되는 C-Band 및 GPS 신호의 크기와 위상차를 디지털 신호처리 기술을 이용해 계산한 후 이더넷 데이터로 변환하여 추적알고리즘에 적용할 수 있도록 ACU에 전송한다. Pedestal부는 방위각과 고각 방향의 구동이 가능하도록 설계 되었으며, 제어명령은 ACU부터 CAN 통신방식으로 각 축의 서보모터 및 드라이버를 이용하여 방위각과 고각의 방향을 조절한다. ACU는 Feeder부로부터 수신된 데이터를 이용하여 추적 알고리즘에 따라 비행체와 무선통신기 추적안테나의 방향이 일직선이 되도록 Pedestal을 제어하는 운용프로그램을 구동시키는 역할을 수행한다. 지상추적장치는 130노트 이상의 비행체 속도를 추적할 수 있으며, 추적방식은 GPS 신호를 수신하여 자동 추적이 가능하다. 지상통제체계와 유/무인 항공기와의 무선 통신 데이터 전송률은 상향링크 28.8 kbps 이상이며, 하향링크는 영상과 같은 용량이 큰 데이터를 지상으로 보내야하기 때문에 8 Mbps 정도다. 제작된 통신장비와 안테나는 Fig. 8과 Fig. 9와 같다.

4 체계통합 시험 절차

구축된 시스템의 지상통제체계 및 탑재장비와의 연동성 검증을 위해 아래 Fig. 10과 같은 시험 항목을 식별하여, 비행체, 지상통제장비, 그리고 탑재장비의

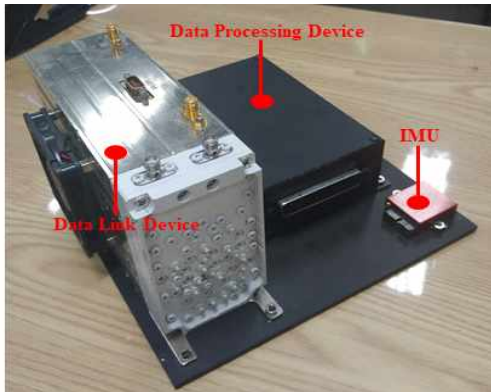


Fig. 8 Onboard Data Link Device

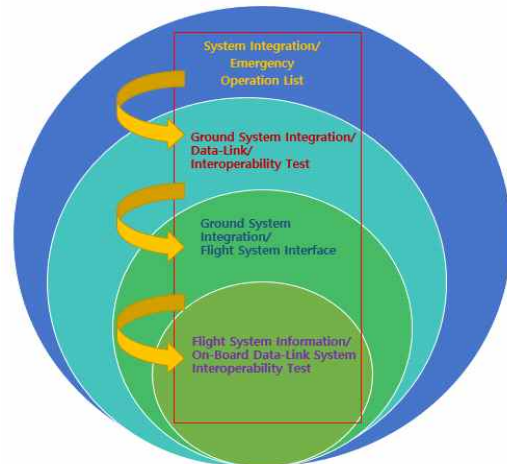


Fig. 10 The Interface Verification Process For the MUM-T



Fig. 9 Ground Antenna Installation Process

기능시험 및 연동시험을 하였다. 비행체는 유인기(CTLS) 및 무인기(Ducted Fan)의 조종계통, 연료계통, 항전장비 등의 계통 점검 및 탑재장비와의 데이터 링크 체계 검증을 하였고, 안테나를 포함한 지상통제 체계와의 탑재통신장비의 성능 시험을 수행하였다. 통신거리는 유무인 항공기간 통신 거리를 고려하여 5 km 이내로 가정하고 지상시험을 통해 평가를 수행하였다. 그 결과 지상안테나와 유인기, 그리고 무인기간 통신 문제는 발생하지 않았으나, 유인기와 무인기간 영상 송수신 문제가 발생하여 시스템 업그레이드를 통해 개선하였다.

C Band 및 UHF 채널을 통해 내려오는 정보는 Table 3과 같으며, 지상통제체계는 Table 4와 같은 특성을 가진다. 일반적인 단일 무인기 지상통제 시스템은 무선통신을 통해 대상 무인기에 임무를 전달하는 것이 기본이다. 그러나 유/무인 항공기 복합운영 시 임무 수행 중 모든 상황에 대비하여 비행체 상호간 정보

공유 및 공동 임무 수행을 할 수 있도록 장비 구성을 갖추어야 한다[5]. 하지만 본 연구에서 구축된 체계는 이런 기술체계를 갖추고 있지 않아 시스템 보안을 통해 검증 과정이 필요하다. 예를 들어 비행 중 유/무인 항공기간 통신 문제가 발생하면 지상통제실에서 문제를 해결 할 수 있는 방법이 없어 비상 상황을 고려한 보조 통신 장비를 설치해야 한다. 또한 같은 공역에서의 충돌 상황이 발생하면 회피 알고리즘이 필요 하지만[6], 무인기 시스템의 복잡성과 비용 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 향후 체계 업그레이드를 통해 문제를 해결하고 통합시험을 거쳐 체계 검증 과정이 필요하다. 또한 유/무인 항공기 복합운영 시 통신 두절에 대비한 비상 절차서를 만들어 사전에 준비 한다면 보다 안전한 임무 수행이 가능할 것이다.

Table 3 The Onboard Components Properties

Equipment	Function	Standard	Input/Output
Camera	Input-Image	SD-1 HD-1	Input
Flight Control Equipment	Flight Command and Status	RS232 115.2 kbps	Output
Electric	Power Input	12 Vdc	Input

Table 4 The Ground Monitoring System Properties

Equipment	Function	Standard	Input/Output
Ground Control Equipment	Input-Image	SD-1 HD-1	Output
	Flight Control/Status	Ethernet, 100 Mbps UDP/IP	Input/ Output
	Digital Video Streaming	Ethernet, 100 Mbps UDP/IP	Output
	Electric	220 Vac	Input

5 결론

비행체들 간 직접 통신은 지상통신 인프라가 없는 상황에서도 보다 넓은 영역에서 다양한 임무를 수행할 수 있다. 또한 지형에 따른 통신 영향성이 적을 뿐만 아니라, 통신 딜레이 및 비행체 위치 및 자세에 따른 정보 손실을 방지하여 더욱더 우수한 통신 품질을 유지 한다. 그리고 위험 지역에서의 임무수행을 무인기가 대체함으로써 조종사의 안전과 상황인지능력을 향상시켜 임무의 효율성을 극대화할 수 있다. 본 연구에서는 수직이착륙이 가능한 틸트덕트 무인기와 경량 유인항공기를 이용하여 유/무인 항공기간 복합운영에 관한 지상 시뮬레이션 환경을 구축하여 기초연구를 수행하였다. 틸트 덕티드 팬 형 무인기는 제자리비행이 가능하므로 정밀 탐색이 가능하며, 최대 비행 시간은 2 시간으로 장시간 비행이 가능하여 현재 배터리를 동력원으로 사용하는 무인 비행체보다는 더 넓은 지역을 탐색할 수 있다는 장점이 있다. 또한 실제 비행 시 유/무인 항공기간 통신이 가능함으로써 GCS와 무인기간 P2P 통신으로 인한 거리 제약 한계 극복과 비행영역 확장이 가능 할 것으로 예상된다. 그러므로 본 연구를 통해 유/무인 항공기 복합운영에 필요한 기초 연구를 수행 하여 지상통제체계 인프라를 구축하였고, 향후 충돌회피 및 통신 이중화 체계 향상을 통해 비행시험

시 위험성을 줄이고 신뢰성을 향상 시켜 더욱더 효율적인 비행임무를 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 주요사업과제(2019년 다중 전기추진 비행체 비행기술연구, FR19113) 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] S. Y. Yun, S. J. Park, "A Study of Foreign Military UAV Development Trend and Operational Cases for the UAV Development of Republic of Korea Armed Forced," *Strategic Study*, vol 74, May 2018.
- [2] AIRBUS H145 Manned-Unmanned Teaming Operations, (<https://schiebel.net/wp-content/uploads/2018/04/2018-04-24-Manned-Unmanned-Teaming-Factsheet.pdf>).
- [3] B. Adrino, B. Helosman, G. Poliana, C. M, Alessandro, "Guidance Software-in-The-Loop Simulation Using X-Plane and Simulink for UAVs," *Proc. of International Conference on Unmanned Aircraft Systems*, pp. 27-30, May. 2014.
- [4] Domestic Technology Status for UAV ICT from Institute for Information and Communications Technology Promotion, Mar. 2018.
- [5] S. Kim, S. Cho, S. B. Cho and C. H. Park, "Development of Operation Network System and Processor in the Loop Simulation for Swarm Flight of Small UAVs," *Journal of Institute of Control, Robotics and System*, pp. 433-438, 2012.
- [6] Joo-won Choi, "Study on Establishment of Airworthiness Level of Safety for UAV," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol 4, Dec. 2008.