

STANAG 4586을 적용한 소형드론시스템의 상호운용성 설계 및 검증

이종훈^{1,†}, 박태산¹, 성길영¹, 남경래¹, 문정호²

¹LIG넥스원
²청주대학교

Interoperability Design and Verification of Small Drone System Applying STANAG 4586

Jonghun Lee^{1,†}, Taesan Park¹, Kilyoung Seong¹, Gyeongrae Nam¹ and Jungho Moon²

¹LIG Nex1
²Department of Unmanned Aircraft System Engineering, Cheongju University

Abstract

The utilisation of small drones is becoming increasingly widespread particularly in the military sector. In this study, STANAG 4586, a standard interface for military unmanned aerial vehicles, was applied to a multicopter-type small drone to examine the suitability of the military system. To accomplish this, a small multi-copter vehicle was designed and manufactured, integrating a flight control computer, ground control system, and data link. Furthermore, flight control and ground control equipment software were developed by applying the STANAG 4586 interface, followed by HILS and flight tests.

초 록

소형 드론은 활용분야가 다양해지고 있으며 특히 군에서는 전장에서 정찰 및 특수목적 용도로 활용 가능한 드론 체계가 요구되고 있다. 본 연구에서는 군용 무인기의 표준 인터페이스인 STANAG 4586을 멀티콥터 형태의 소형 드론에 적용하여 군용 체계 적합성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 소형 멀티콥터 비행체, 통합비행제어컴퓨터, 지상통제장치, 데이터링크를 설계/제작하고, STANAG 4586 인터페이스를 적용한 비행제어 소프트웨어와 지상통제장비 소프트웨어를 개발하여 HILS 시험과 비행시험을 수행하였다.

Key Words : STANAG 4586, AEP-84, NATO, Drone(드론), Interoperability(상호운용성)

1. 서 론

현재 소형 드론은 촬영, 수송, 측량 등 다양한 산업에서 활용되고 있고 그 활용도가 점점 증가하고 있다. 군에서는 인명피해의 최소화와 작전 효율성을 위해 드론의 활용이 늘어나고 있다. 최근 발생한 우크라이나-러시아 전쟁을 통해 다양한 드론이 정찰과 타격 임무

를 수행함으로써 전장에서 드론의 활용 가능성을 확인하였고 향후에는 활용분야가 더욱 다양해질 것으로 전망된다[1, 2].

이러한 다양한 목적과 형태의 드론이 상호운용성을 가지기 위해서는 표준화된 통신 프로토콜이 필요하다. 보통 산업용 소형 드론에는 2009년 스위스 취리히 대학의 Lorenz Meier가 만들어 오픈소스 기반으로 공개되어 있는 MAVlink(Micro Air Vehicle Link) 프로토콜을 개발 편의성이 높아 널리 사용하고 있다. 반면, 미국을 비롯한 NATO 군은 STANAG 4586 표준을 적용한 무인항공기 시스템을 개발하여 상호운용성을 확보하고 있다. 국내는 중대형 무인항공기를 중심으로

Received: Jul. 22, 2022 Revised: Sep. 28, 2022 Accepted: Sep. 30, 2022

† Corresponding Author

Tel: +82-31-5178-4589, E-mail: jonghun.lee@lignex1.com

© The Society for Aerospace System Engineering

STANAG 4586 표준을 적용하고 있으나, 아직은 적용 수준이 미흡한 상황이고, 특히 소형 무인기에 적용된 사례는 아직 없다[3-7].

본 논문에서는 민수용 소형드론에 주로 사용되는 MAVlink와 NATO군에서 운용하는 무인기에 사용되는 STANAG 4586을 비교하고 STANAG 4586을 소형드론시스템에 맞게 적용하는 방안을 제시하여 향후 군에서 활용 가능하도록 상호운용성 확보 가능성을 검토하였다. 기체, 통합비행제어컴퓨터, 지상통제장치, 데이터링크를 설계 및 제작하고 이를 HILS(Hardware-In-the-Loop Simulation) 시험과 비행 시험으로 검증함으로써 소형드론시스템에 대한 STANAG 4586 적용 가능성을 확인하였다.

2. STANAG 4586

2.1 STANAG 4586 특징

STANAG 4586은 North Atlantic Treaty Organization(NATO)에서 제정한 표준 문서로 미국 및 NATO 가입국들이 운용하는 무인기가 증가하면서 하나의 통합된 지상통제시스템(Ground Control System, GCS)으로 효율적인 작전수행을 위한 상호운용성 확보를 위해 2004년에 제정된 후 2007년, 2012년에 각각 Edition 2, 3으로 개정되었고 최신본인 Edition 4는 2017년에 개정되었다[3].

STANAG 4586 적용 이전에는 Fig. 1과 같이 각각의 비행체를 각각의 지상통제시스템으로 연동해야 하지만 STANAG 4586 적용하면 하나의 GCS를 사용하여 여러 종류의 기체를 제어할 수 있게 된다. 현재 미군을 비롯한 NATO군은 STANAG 4586을 적용하여 하나의 GCS로 여러 종류의 무인기를 운용 중에 있다[5, 8].

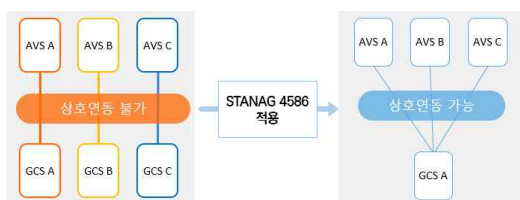


Fig. 1 Characteristic of STANAG 4586

STANAG 4586에서는 지상체, 비행체, 임무장비 간의 상호운용성 수준을 Table 1과 같이 Level of Interoperability(LOI) 5단계로 구분하고 있다. LOI 레벨 정의를 보면 상위 레벨이 하위 레벨을 포함하는 개념은 아니다. LOI 레벨 1~3은 비행체에 탑재된 임무장비 제어 대한 정의이며, 레벨 4~5는 비행체 제어에 대한 정의로 서로 독립적인 개념이다[8].

Table 1 Level of Interoperability

Lv	내용
1	임무장비 데이터 간접수신
2	임무장비 데이터 직접수신
3	임무장비 데이터 직접 수신 임무장비 직접 제어 및 상태 모니터링
4	이착륙을 제외한 비행통제
5	이착륙 통제

STANAG 4586은 무인기 운용을 위한 표준 프로토콜을 제시하며, 이를 위한 메시지와 데이터 항목을 정의한다. 이러한 메시지는 무인기 운용에 공통으로 요구되는 비행체, 임무장비 및 데이터링크를 제어하고 상태정보를 확인하기 위한 공용 메시지(Generic Message)와 GCS-비행체/임무장비 개별 특성을 지원하기 위한 전용 메시지(Private Message)로 구분되고 STANAG 4586에는 Table 2와 같이 현재 26개의 공용 메시지그룹과 196개의 메시지가 정의되어 있다[9].

Table 2 STANAG 4586 Message Group

Message Group	메시지 ID 범위
System ID	0~1999
Flight Vehicle Command	2000~2999
Flight Vehicle Status	3000~3999
Flight Vehicle Payload-Relevant	4000~4999
IFF Command	5000~5999
IFF Status	6000~6999
ATC Interface Command	7000~8999
ATC Interface Status	9000~10999
Vehicle Auxiliary Command	11000~11999
Vehicle Auxiliary Status	12000~12999
Mission Command & Status	13000~14999
Subsystem Status	15000~16999
Miscellaneous Status	17000~18999
Payload Command	19000~20999
Payload Status	21000~23999
Weapons Command	24000~25999
Weapons Status	26000~27999
Datalink Discovery	28000~29999
Datalink Command	30000~31999
Datalink Status	32000~33999
Datalink Transition	34000~35999
Autonomy	36000~39999
General Pre-Connection Configuration	40000~41999
General Post-Connection Configuration	42000~43999
VSM Forced Command	44000~45999
Draw Interface	46000~49999

2.2 STANAG 4586과 MAVlink 비교

MAVLink는 리소스 및 통신 대역폭에 제한이 있는 시스템을 위해 설계되었으며 오픈소스로 공개되어 있기 때문에 개발 용의성이 높아 주로 상용 드론에 많이 활용되고 있다. MAVLink는 Table 3과 같이 민수에서 주로 사용하는 추진동력이 모터인 비행체의 모터 시동을 제어하는 기능(arming/disarming), 개발 및 시험간 필요한 비행체 제어이득 파라미터 설정 기능이 포함되어 있다. 그리고 임무장비를 위한 카메라 통제와 수송장치를 통제하는 기능이 있다. 반면에 군에서 필요로 하는 SAR, IFF, Weapon, 등을 제어하는 메시지는 없으며 유사시 비행체에 탑재된 임무정보를 파기하는 기능도 없다[10].

STANAG 4586은 정찰, 공격, 수송 등 군임무를 수행하고 엔진을 추진동력으로 사용하는 비행체에 적용 가능하며 군임무를 수행하기 위한 SAR, IFF, Weapon 등의 제어 기능과 Zeroize 기능을 보유하고 있다.

MAVlink는 오픈소스이므로 개발 용의성이 높고 산업에서 사용하는 주요 임무를 수행하는데 용이하기 때문에 소형드론에 적용할 때 이점이 있지만, 군에서 요구하는 기능을 만족할 수 없어 군용으로 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 MAVlink에는 있지만 STANAG 4586에는 없는 모터 시동 기능, 파라미터 설정 기능을 STANAG 메시지에 추가한다면 배터리 기반의 모터를 추진으로 사용하는 소형드론시스템에도 STANAG 4586의 적용이 가능할 것으로 보인다.

Table 3 Comparison of STANAG 4586 vs MAVlink

구분	STANAG 4586	MAVlink
주요임무	군용임무 (정찰, 공격 등)	산업, 레저용 (농업, 측량, 촬영 등)
추진동력	엔진	모터
임무장비	EO/IR, SAR, Weapon 등	카메라, LiDAR 등
Zeroize	유사시 비행체에 탑재된 임무정보 파기 가능	없음
비행제어 파라미터 설정	없음	파라미터 조회, 수정

2.3 STANAG 4586 적용

본 연구에서 상호운용성 확보를 위해 2017년에 개정된 STANAG 4586 Edition 4(AEP-84)를 적용하였다 [3]. 이착륙을 포함한 비행체 통제를 위해 상호운용성 수준은 LOI 4, 5단계를 적용하였고 이를 만족하기 위하여 사용한 메시지 그룹은 Table 4와 같다.

Table 4 Message Group for Small Drone System

Message Group	메시지 ID 범위	주요 기능
System ID	0~1999	비행체 탐색 및 연결
Flight Vehicle Command	2000~2999	비행체 제어
Flight Vehicle Status	3000~3999	비행체 제어 응답 / 비행체 상태정보 전송
Flight Vehicle Payload-Relevant	4000~4999	관성센서 정보 및 비행 경로 정보 전송
Vehicle Auxiliary Status	12000~12999	비행체 보조장치 상태정보 전송
Mission Command & Status	13000~14999	임무계획 전송
Subsystem Status	15000~16999	부체계 상태정보 전송
Miscellaneous Status	17000~18999	메시지 응답
Data Link Command	30000~31999	데이터링크 제어
Data Link Status	32000~33999	데이터링크 제어 응답

System ID 메시지그룹을 사용하여 비행체를 탐색한 뒤 비행체와 지상체를 연결한다. Mission Command & Status 메시지그룹을 사용하여 자동임무비행을 위한 자동임무점을 장입한다. 그리고 Flight Vehicle Command, Flight Vehicle Status, Flight Vehicle Payload-Relevant 등의 메시지그룹을 사용하여 자동이/착륙, 점항법 비행, 사전 장입한 비행 경로를 추종하는 자동 임무 비행을 할 수 있도록 설계하였다.

STANAG 4586은 일반적으로 엔진을 사용하는 기체를 제어하기 위해 ICD(Interface Control Document)가 구성되어 있어 주로 모터를 추진 동력으로 사용하는 소형드론에 적용하기 위한 메시지는 따로 존재하지 않는다. 이를 해결하기 위해 STANAG 4586에 있는 엔진 제어 메시지(#2008, Engine Command)의 Engine Start 명령을 모터 시동 기능인 Arming에 적용하고, Engine Stop 명령을 모터 시동 해제 기능은 Disarming에 적용하였다.

비행시험시 비행제어 파라미터 설정이 필수적으로 필요하지만, STANAG 4586에서는 파라미터를 설정하는 메시지가 따로 존재하지 않는다. 이로 인해 비행제어 파라미터 변경을 위해서는 비행시험 이후 로그데이터를 확인하여 제어법칙의 이득 값을 변경 후 다시 비행시험을 해야 하는 번거로움이 있다. 이를 해결하기

위해 STANAG 4586에서 비행체 제어에 사용되는 Flight Vehicle Command 메시지 그룹(#2000~2999)에 #2105, "Parameter setting" Private 메시지를 Table 5와 같이 생성하여 비행시험간 GCS로 비행체어 이득 값을 변경할 수 있도록 설계하였다. 메시지는 기본 STANAG 4586의 메시지 구성을 따라 000 필드에는 Presence Vector, 001 필드에는 Time Stamp가 위치한다. 002 필드에는 이 메시지를 범용성 있게 사용할 수 있도록 파라미터 ID로 두어 운용자가 사용하는 비행체에 따라 변경할 제어법칙 파라미터를 설정하고, 003 필드에는 넓은 범위의 파라미터의 이득 값을 넣을 수 있도록 Float 4 타입으로 설계하였다.

Table 5 Flight control parameters setting messages

Field	Field Name	Field Type	Field Unit	Remarks
000	Presence Vector	Unsigned 1	Bitmapped	
001	Time Stamp	Unsigned 5	0.001 s	$0 \leq x \leq 1099511627$
002	AVS Parameter ID	Unsigned 2	None	$0 \leq x \leq 10000$
003	AVS Parameter Value	Float 4	None	

또한, STANAG 4586에서 비행체를 수동조작하기 위한 메시지(#2010, UA Stick Command)는 각각 조종 스틱의 입력범위가 -127 ~ 127으로 그 범위가 작아 멀티콥터형의 소형드론에서 사용하는 일반적인 스틱의 입력 값을 다 표현할 수 없어 정밀 조종을 하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 #2100, "Control Stick Command" Private 메시지를 생성하였다. 이 메시지는 Lateral, Longitudinal, Rotational, Throttle 제어로 구성되어 있고 각 필드의 입력 범위는 0 ~ 4095까지로 넓혀 비행체를 원활히 제어할 수 있도록 설계하였다. 이 외에는 STANAG 4586의 General 메시지를 사용하여 소형드론시스템을 제어할 수 있도록 설계하였다.

3. 소형드론 시스템 설계

본 연구에서 STANAG 4586 프로토콜을 적용한 소형드론 시스템의 활용 가능성을 확인하기 위해 비행체와 이를 제어하는 통합비행제어컴퓨터, 지상에서 제어하기 위한 지상통제장치 및 비행체와 지상통제장치간 무선 통신을 위한 데이터링크를 설계 및 제작하였다.

3.1 비행체 설계

본 연구를 위해 개발한 비행체는 최대 이륙중량이 5kg이며 Fig. 2와 같이 4개의 모터와 접이식 프로펠러를 적용한 쿼드콥터 형상을 갖는다. 배터리는 비행체 양 옆으로 체결되도록 하였으며 랜딩기어와 탑재통신장치 안테나는 탈부착이 가능하도록 설계하였다.

비행체 내부는 Fig. 3과 같이 비행제어와 모터 출력을 제어하는 통합비행제어컴퓨터를 중심으로 지상통신장치와 무선 통신을 위한 탑재통신장치, EOIR 제어를 위한 영상처리장치, 조종기 연동을 위한 R/C수신기, 배터리의 전압과 전류를 모니터링하기 위한 전원측정장치, 항법을 위한 GPS 안테나와 지자기 센서가 연결되도록 설계하였다.



Fig. 2 Small drone

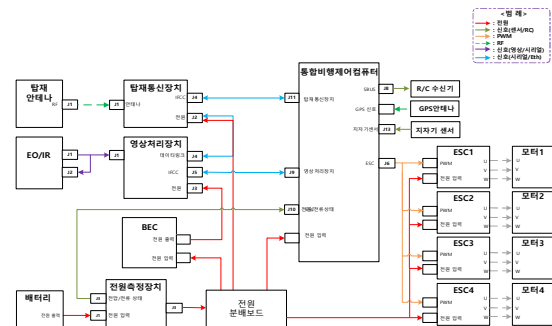


Fig. 3 Block diagram of onboard drone system

3.2 비행제어 계통 설계

통합비행제어컴퓨터는 STANAG 4586 메시지를 처리하고 각각의 항전장비들을 제어하는 FCC보드와 GPS, 지자기 센서, 자이로/가속도 센서를 통합해 항법 데이터를 생성하는 EGI보드로 구성하였다.



Fig. 4 Flow chart of OFP submodules

비행운용 소프트웨어(OFP)는 TI RTOS에서 동작하도록 개발하였으며, 제어법칙은 MATLAB/Simulink로 설계한 후 C언어로 코드를 생성하여 OFP에 통합하였다.

제어법칙은 멀티컴퓨터에서 널리 사용되고 있는 각속도제어/자세제어/속도제어/위치제어기를 포함한 다중루프 PID 구조[11]로 설계하였으며, 제어 구조는 Fig. 5와 같다. 제어법칙과 관련된 명령 메시지는 #2016 Vehicle Operating Mode Command, #2017 Loiter Configuration, 그리고 Private 메시지인 #2100 Control Stick Command이다. 제어법칙 출력으로는 #3001 Vehicle Operation Mode report가 주로 사용되며, 그 외 메시지들은 OFP에서 자체적으로 처리가 가능하다. Fig. 6은 제어법칙 개발 및 시뮬레이션 환경을 나타낸 것이다.

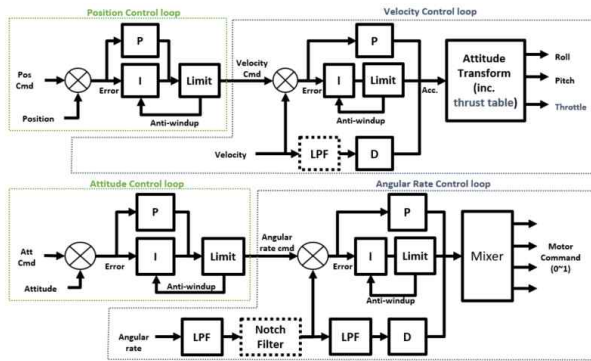


Fig. 5 Flight control law architecture

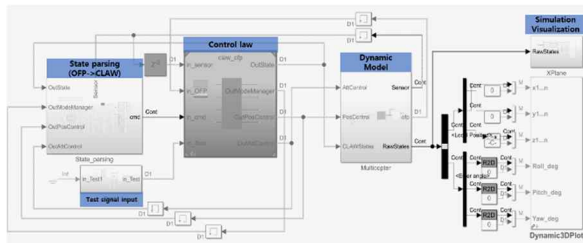


Fig. 6 Control law simulation environment

3.3 지상통제장치 설계

비행체를 통제하고 비행체 상태정보를 도시하는 지상통제장치는 Fig. 7, 8과 같이 지상통신장치와 결합된 형태로 배터리 내장형으로 개발하였다. 기본적으로 터치스크린을 적용하여 비행체 제어가 가능하도록 설계하였고, 조작의 편의성을 위해 비행체 조종 스틱, 비행 조종 노브, EO/IR 조종 스틱과 노브를 적용하였다. 소프트웨어는 STANAG 4586 프로토콜을 적용하여 비행체를 제어할 수 있도록 설계하였다.



Fig. 7 Ground control system

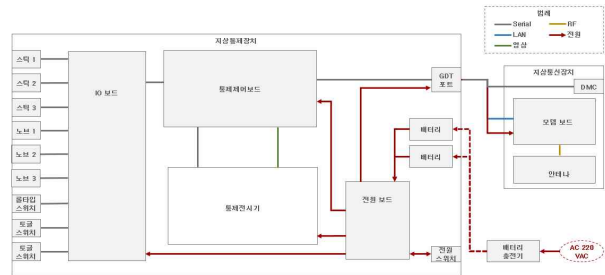


Fig. 8 GCS Hardware Architecture

지상통제장치 소프트웨어는 Fig. 9와 같이 지상통신장치와 통신할 수 있도록 인터페이스 역할 및 메시지 유효성을 체크하는 GDT IF, STANAG 4586 메시지를 받아 지상통제장치 소프트웨어 내부 필드에 값을 입력하고 운용자가 입력한 값을 STANAG 4586 메시지 형태로 지상통신장치로 전송하기 위해 변환하는 기능을 하는 ICD, GUI로부터 받은 값으로 STANAG 4586 메시지를 생성하는 Controllers, STANAG 4586 메시지 필드 값을 GUI에 사용되는 데이터 세트에 값을 입력하는 TM Data Structure, GUI에 값을 전달하는 Models/Views(GUI), GUI에서 받은 TC 값을 Controllers에 전달하는 ViewModels로 구성하였다.

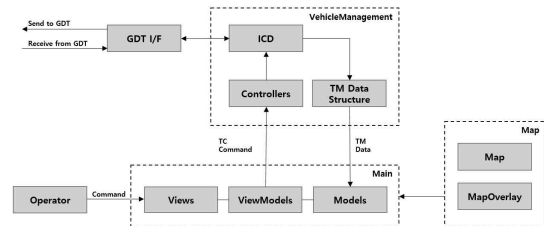


Fig. 9 Flow chart of GCS Software

3.4 데이터링크 설계

데이터링크는 비행체에 탑재되는 탑재통신장치와 지상통제장치와 연동하는 지상통신장치로 나뉜다. 각각의 통신장치는 STANAG 4586을 기반으로 운용할 수 있도록 설계하였다. 무선 통신의 보안성 강화를 위해 KCMVP 기능을 탑재하였고, 주파수 호핑 또는 대역확산을 선택 적용 가능하도록 설계하였다.

4. 통합시험

STANAG 4586의 LOI 4, 5단계를 적용한 소형드론시스템을 검증하기 위해 HILS 환경을 구축하여 구성품 단위 시험 및 자동이륙, 점항법, 자동임무, 자동착륙 등의 비행모드를 검증하였고 이를 비행시험으로 최종 성능을 확인하였다.

4.1 HILS 시험

비행 시험 전 시스템의 기능을 검증하기 위해 HILS 시험장비를 설계하였다. 소형드론시스템의 HILS 장비는 이동 편의성을 위해 1인이 운반 가능한 형태로 개발하였다.

HILS는 항전 구성품 및 구동부와 시뮬레이션을 위한 비행체 모의 PC로 구성되며, 아래의 Fig. 10과 같다. 비행체 모의 PC는 Fig. 11과 같이 비행체 및 센서를 모사할 6DOF 모의 SW, 비상상황을 모사할 운용통제 SW로 구성되어 통합비행제어컴퓨터와 연동된다.



Fig. 10 HILS testing equipment

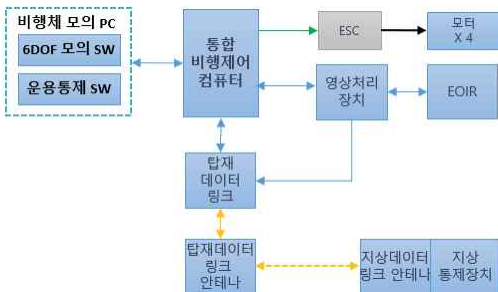


Fig. 11 Block diagram of HILS system

6DOF 모의 SW는 통합비행제어컴퓨터(IFCC)와 연동하며, IFCC에서 모터 출력을 받고 이를 기반으로 비행체 상태를 계산하여 센서 정보를 모의해 IFCC에 제공한다. 운용통제 SW는 통신두절, GPS 수신 불량, 배터리 부족 등의 비상상황을 운용자가 가상으로 설정하도록 하며, 이를 6DOF 모의 SW에 제공하여 비상상황을 모사한다. IFCC에 탑재되는 OFP는 모의된 환경에서 비행을 수행하며 항전 장비, 구동부 및 지상통제장치와 연동을 수행함으로써, 비행중에 발생할 수 있는 오류 사항을 사전에 확인하였다. Fig. 12는 HILS를 통해 임무 비행을 수행하는 모습이다. 우측 그래프는 롤, 피치, 헤딩 자세 명령 대비 응답 결과이며, 롤, 피치 명령이 임펄스 형태로 나타난 것은 항로점 통과 직후 다음 항로점으로 이동하기 위한 자세 명령이 생성되었기 때문이다. 전체적으로 롤, 피치, 헤딩 자세 모두 명령 값을 잘 추종하는 것을 볼 수 있다.

피치, 헤딩 자세 명령 대비 응답 결과이며, 롤, 피치 명령이 임펄스 형태로 나타난 것은 항로점 통과 직후 다음 항로점으로 이동하기 위한 자세 명령이 생성되었기 때문이다. 전체적으로 롤, 피치, 헤딩 자세 모두 명령 값을 잘 추종하는 것을 볼 수 있다.

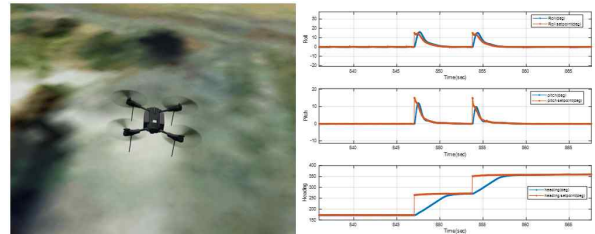


Fig. 12 Small drone HILS test scene

4.2 비행시험

STANAG 4586 LOI 4, 5단계를 적용한 소형드론시스템은 최종적으로 비행시험을 통해 기능과 성능 및 체계 적용 가능성을 검증하였다. 자동 이륙, 자동 착륙, 점항법, 자동 임무 등의 기본적인 1 쏘티의 비행 임무 수행 가능성을 확인하였다. Fig. 13은 자동 이륙 → 점항법 → 자동 임무 비행 → 점항법 → 자동 착륙을 수행하는 GCS 화면이다.

STANAG 4586의 #1(CUCS Authorization Request), #2(VSM Authorization Response)를 사용하여 비행체와 지상체를 연결하고 #13000(Mission Transfer Command), #13001(UA Route), #13002(UA Position Waypoint)로 자동임무점을 장입하고 #2016(Vehicle Operating Mode Command), #3001(Vehicle Operating Mode Report), #4000 (Inertial States) 등의 메시지를 사용하여 자동 이륙, 운용자가 입력한 위치로 점항법 비행, 사전 장입한 비행 경로를 추종할 수 있는 자동임무 비행, 자동착륙을 수행하였다. 비행시험 수행장면은 Fig. 13, Fig. 14와 같으며, HILS시험결과와 유사하게 롤, 피치, 헤딩 모두 명령 값을 잘 추종하는 것을 확인하였다.



Fig. 13 GCS display with mission planning

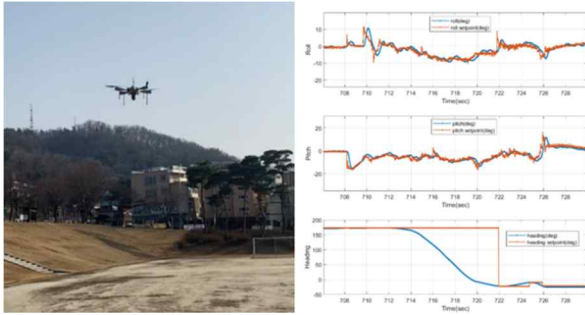


Fig. 14 Flight testing of the drone

5. 결 론

본 논문에서는 일반적으로 MAVlink를 적용하여 개발되는 소형 무인기에 NATO 군 표준 프로토콜인 STANAG 4586을 적용할 수 있는지 확인하였다. LOI 4, 5단계 상호운용성 수준을 만족하기 위해 소형드론시스템을 설계 및 제작하고 HILS 시험과 비행 시험을 수행하였다.

모터를 추진동력으로 사용하는 소형드론에 맞게 엔진 제어 메시지를 모터 시동에 활용하는 방안을 제안하였고, 개발의 편의성과 운용의 안정성을 고려하여 STANAG 4586에 없는 비행제어 파라미터 세팅 메시지와 안정적인 수동 비행을 위한 조종스틱 제어 메시지를 제시하였다.

STANAG 4586 메시지 처리가 가능하도록 통합비행 제어컴퓨터, 데이터링크, 지상통제장치를 설계 및 제작하여 HILS 및 비행시험으로 검증함으로써, 소형 무인기에 대한 STANAG 4586의 활용가능성을 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 소형 무인기를 위한 메시지를 포함하여 향후 한국형 무인기 표준프로토콜이 개발되면 중대형 무인기 뿐만 아니라 소형 무인기에서도 비행통제 및 이착륙 통제에 대한 상호운용성 확보가 가능할 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청)재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 민군겸용기술개발 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다(과제번호 19CM0006).

References

[1] S. Yun and S. Park, "A study of foreign military UAV development trend and operational cases for the UAV

developments of Republic of Korea Armed Forces," *KRIS*, pp. 205-232, Mar. 2018.

[2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Drone Industry Development Basic Plan(Draft) 2017~2026," 2017.

[3] NATO, "AEP-84 Volume II", A Ed., ver. 1, 2017.

[4] <https://mavlink.io/en/>.

[5] <https://nso.nato.int/nso/nsdd/main/standards/ap-details/2436/EN>.

[6] U. S. Army UAS Center of Excellence, "U. S. Army roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035," 2010.

[7] U.S. OUSD A&S, "Unmanned Systems Integrated Roadmap FY 2017-2042," 2018.

[8] I. Kang, H. Lee and I. Cho, "The Development and Standardization of UAV Ground Control Software based on STANAG 4586," *Journal of KIIS*, vol. 30, no. 9, pp. 46-56, 2012.

[9] H. Kim, C. Yoon, S. Hong, W. Lee, I. Yoo and S. Jo, "Application of STANAG 4586 Ed. 4 based Standardization for Up-to-Dated Interoperability of Military UAV System," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, pp. 99-107, June 2019.

[10] G. Nam, J. Go, C. Kwon and S. Jeong, "A Study on the Analysis and Improvement of STANAG 4586 / MAVLink Protocol for Interoperability Improvement of UAS," *Journal of the KIMST*, vol. 23, no. 6, pp. 618-638, Dec. 2020.

[11] Y. Lee, S. Shin, J. Mok and S. Ko, "Pixhawk mission mode flight control-law structure analysis based on Open-Source," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 45-52, June 2018.