

소형 무인항공기의 임무 및 제어를 위한 시스템 구성과 통신 장비 운용에 대한 연구

하영석

국방기술품질원 지휘정찰부 선임연구원

A Study on the System Configuration and Communication Equipment Operation for Mission and Control of Small UAV

Young-Seok Ha

Senior Researcher, Division of C4ISR Systems, Defense Agency for Technology and Quality

요약 무인항공기의 기술이 많이 보급화 되면서 다양한 종류의 무인항공기 및 임무 다변화에 따라 다양한 종류의 임무 장비가 개발되고 있다. 그중에서도 국내에서는 소형 무인항공기가 활발히 개발되고 있으며 소형 무인기의 효과적인 조정을 위한 비행제어 시스템과 임무 장비의 연동 시스템이 필요하고, 또한 데이터를 처리하여 지상 운용시스템으로 전송을 위한 효율적인 통신장비의 구성 및 운용이 요구되고 있다. 본 논문에서는 소형 무인항공기의 임무 및 제어를 위하여 비행제어 시스템과 임무 장비 제어 시스템을 이용한 임무 장비의 확장, 데이터 링크 통합 및 통신장비 운용에 대하여 서술하였으며 이를 통하여 효과적인 소형 무인항공기의 운용에 대하여 정리하였다.

주제어 : 무인항공기, 통신, 임무 장비, 데이터링크, 제어용 데이터, 임무용 데이터

Abstract As Unmanned Aerial Vehicles technology has been widespread, various types of unmanned aircraft and mission equipment have been developed in line with mission diversification. Especially in Korea, small unmanned aerial vehicles have been actively developed. In addition, flight control system and mission equipment interface system for effective control of small unmanned aerial vehicles, efficient communication system configuration and operation for transmission to ground operated systems by processing data are required. This paper addresses efficient system structure and operation of communication equipment for missions and control of small unmanned aerial vehicles.

Key Words : UAV, Communication, Mission equipment, DataLink, TC/TM Data, Mission data

1. 서론

무인항공기의 기술이 많이 보급화 되면서 다양한 종류의 무인항공기 및 임무 다변화에 따라 다양한 종류의 임무 장비가 개발되고 있다. 민간 분야에서는 이륙중량이 25kg 이하의 소형 무인항공기가 많이 개발되고 있다. 농촌 분야에서는 방제 및 입제 살포를 수행하며 경찰에서는 차량인식 또는 방범, 수색 분야, 그 외에도 시

설물 점검 및 항공 촬영 등에서 많은 수요가 발생되고 있으며 또한 개발이 이루어지고 있다.

최근에는 소형 무인항공기의 수요가 늘어나면서 소형 무인항공기에 적합한 임무 장비 및 비행제어 시스템, 통신장비 등이 개발되고 있다. 이러한 소형 무인기는 임무 장비들과 비행제어 시스템은 긴밀하게 연동이 되어야 하며 무인기의 비행제어 컴퓨터를 운

*Corresponding author : Young-Seok Ha(ace1002@empal.com)

용하기 위한 제어 데이터와 임무 장비를 운용하기 위한 임무 장비용 데이터가 사용된다. 하지만 임무 및 제어를 위한 데이터는 실시간으로 지상 운용시스템과 연동되어 무인항공기를 운용하게 된다. 임무 장비가 다변화되면서 비행제어 컴퓨터에서 모든 임무 장비들을 제어하기 어렵기 때문에, 최근에는 소형 무인항공기에서도 비행제어 시스템을 위한 제어용 데이터와 임무 장비를 위한 임무용 데이터를 비행제어 컴퓨터에서 통합으로 관리하지 않고 비행제어 컴퓨터와 미션 컴퓨터를 연동하고 각 시스템을 운용하기 위한 데이터를 따로 관리하여 운용하기도 한다. 이를 운용할 때 통신 장비가 매우 중요한 역할을 수행한다.

현재 무인항공기 운용을 위하여 국제적으로 무인항공기 안정성 향상을 위한 통신 개발 및 상업용 통신에서 대역 점유가 이루어지고 있으며, 주파수에 대한 분배가 논의되고 있고 이에 따라 운용을 위한 통신 장비의 운용 주파수 및 출력 등이 달라지게 된다. 본 논문에서는 소형 무인항공기에서 임무 및 제어를 위하여 효과적인 시스템 구성과 이를 통한 통신 장비 운용에 대하여 기술하고자 한다.[1-3] 1장에서는 소형 무인항공기의 기준 및 임무 장비들에 대하여 기술하였고, 2장에서는 소형 무인 항공기의 임무 장비와 임무 장비 연동을 위한 데이터 링크 구성이 대해서 서술하였고 이를 지상과 운용하기 위한 통신 장비 운용에 대하여 서술하였고, 3장은 결론 및 향후 소형무인기에 대한 규격화 및 확장에 대한 제언을 서술 하였다.

2. 소형 무인항공기 통신 제어

2.1 무인항공기 임무 장비

Fig 1과 같이 NATO UAS Classification에 따르면 Class I에서 20kg이하를 Small UAS로 정의하고 있다.

국내에서는 이륙중량 25kg급 이하의 무인항공기가 대다수 운용되고 있으며 건설 및 측량 분야, 시설 점검, 농업, 영상분야등에서 도입 규모가 점차 증가되고 있다.[4,5]

소형 무인항공기에서 많이 사용되고 있는 임무 장비들은 아래 Table 1에 나타내었으며 농업 분야에서는 Fig. 2와 같이 DJI사의 방제용 드론 임무 장비들이 많이 사용되고 있다.

NATO Classification

Class & Weight, w (kg)	Category & Weight, w (kg)	Normal Employment	Normal Operating Altitude, h (ft)	Normal Mission Radius (km)	Example Platform
Class I w < 150	Small w > 20 kg	Tactical Unit (employs launch system)	h ≤ 5000 AGL	50 (LOS)	Luna, Hermes 90
	Mini 2 ≤ w ≤ 20 kg	Tactical Unit (manual launch)	h ≤ 3000 AGL	25 (LOS)	ScanEagle, Skylark, Raven, DH3, Aladin, Strix
	Micro w < 2	Tactical Patrol/section, Individual (single operator)	h ≤ 200 AGL	5 (LOS)	Black Widow
Class II 150 ≤ w ≤ 600	Tactical	Tactical Formation	h ≤ 10,000 AGL	200 (LOS)	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Ranger
Class III w > 600	Strike/Combat	Strategic/National	h ≤ 65,000	Unlimited (BLOS)	
	HALE	Strategic/National	h ≤ 65,000	Unlimited (BLOS)	Global Hawk
	MALE	Operational/Theater	h ≤ 45,000 MSL	Unlimited (BLOS)	Predator A, Predator B, Heron, Heron TP, Hermes 900

Fig. 1. UAS Classification

Table 1. UAV Mission Equipment

Payload	Usage	Weight (kg)
agriculture spray	Agriculture	0.2~1
Granulated spray	Agriculture	1~2
EO Camera	Vision, Inspection	0.2~1
IR Camera	Vision, Inspection	0.2~1
Spectrum Camera	Vision, Agriculture	0.2~3
Altitude Lidar	Control, Inspection	0.1~0.5
Collision avoidance	Control	0.1~3
Ultra Sonic	Control, Inspection	0.1~0.5
Camera Gimbal	Vision	0.2~5
Radar	Vision, Control	0.2~5

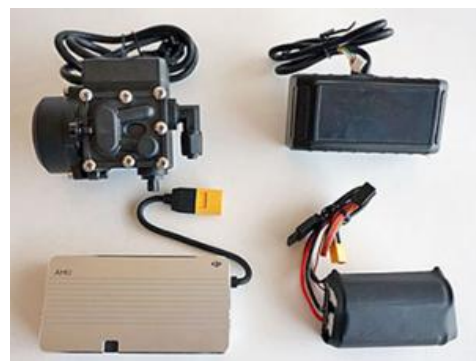


Fig. 2. DJI Spraying System

2.2 무인항공기 임무 장비 연동

소형 무인항공기에는 임무 장비 및 충돌 회피 등을 위한 센서들을 포함하면 2개 이상의 센서 및 장치가 연동

되어야 하며 이를 처리하여 지상과 통신을 수행한다. 임무 장비에 따른 데이터 통신들은 다양한 인터페이스를 지원하며 통신 방식은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Mission Equipment Interface

Interface	Type	Equipment
ADC	Analog	PMU, PDB
PWM	Digital	ESC, Pump
I2C	Digital	Sensor
SPI	Digital	Sensor
Serial(TTL, RS232)	Digital	GPS, Lidar, Radar
CAN	Digital	Sensor
HDMI	Digital	Vision
Ethernet	Digital	GPS, Lidar, Radar

소형 무인항공기에서 드론용으로 판매되는 배터리를 사용하는 제품들은 일반적으로 전원 및 전류는 ADC를 이용하여 데이터를 수집하여 상용제품으로 배터리까지 전용 개발된 제품들은 CAN 통신을 사용하기도 한다.

이러한 임무 장비들은 비행제어 시스템에 직접 연결하게 되면 비행제어 시스템 소프트웨어의 신뢰성 향상에 많은 어려움이 있으며 또한 장비에 따른 통신 인터페이스를 모두 지원하기 어렵게 된다.

또한 임무 장비의 변경에 따라 매번 비행제어 시스템

을 다시 개발하는 문제가 발생하게 된다. 그래서 최근에는 임무 장비 제어 시스템을 별도로 구성하여 비행제어 시스템에 직접 연결하는 장비와 임무 장비 제어 시스템에 연결하는 장비를 구분하여 구성해야 한다.

본 논문에서는 GPS, AHRS(Attitude Heading Reference System), PMU(Power Management Unit), PDB(Power Distribution Board) 등 비행제어와 직접적인 관련이 있는 장비들은 비행제어 시스템에 직접 연결을 하고, 그 외 장비들은 임무 장비 제어 시스템에 연동하는 시스템으로 구성하였다. 군사용으로 사용되는 대형 무인항공기들은 이미 전투기 등과 유사하게 임무 제어용 시스템이 별도로 장착되어 있다. 소형 무인항공기는 최근에 임무 장비의 다양화 및 다중화, 충돌방지 센서의 다양화로 임무 장비 통합 제어 시스템이 개발되고 있다. 기본 개념은 Fig 3처럼 상위 대형 무인항공기용 제품과 유사 하지만 중량 감소 및 연결 컨넥터의 소형화, 시스템의 단순화 등 소형 무인항공기 장착에 적합한 크기로 개발되고 있다.

최근 개발된 임무 장비 제어 시스템은 Fig 4 및 Fig 5에 나타난 연결 장비들과 연동 할 수 있으며 데이터를 통합하여 비행제어 시스템에 전달하거나 지상 운용 시스템에 데이터를 전송할 수 있다[6-8].



Fig. 3. UAV Mission Computer

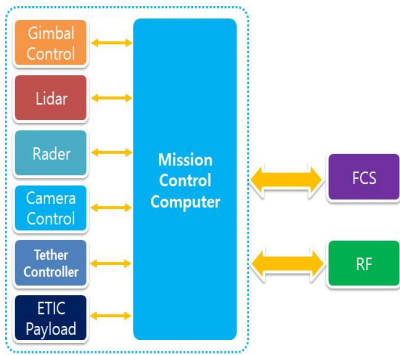


Fig. 4. UAV Mission Computer

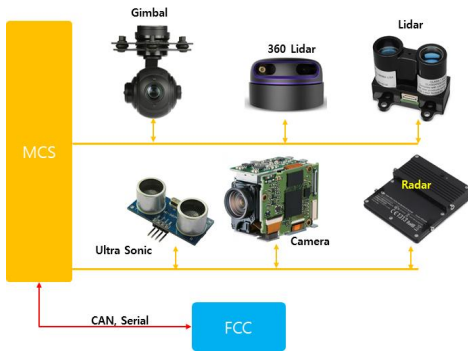


Fig. 5. UAV Mission Computer

2.3 임무 장비 데이터 링크

무인항공기에서 데이터는 크게 임무용 데이터 및 제어용 데이터 2가지로 나눌 수 있다. 임무용 데이터는 탑재 장비 관련 데이터로 영상 관련 데이터가 주를 이루며 제어용 데이터는 무인항공기의 상태 정보 및 임무 전송, 경로 제어 및 자세 제어 등을 담당한다. 영상 데이터는 아날로그 및 디지털 전송 2가지 방식을 주로 사용하는데 최근에는 고화질을 전송하기 위하여 디지털 방식을 주로 사용하며 이 중에서도 무압축 방식 또는 H.264 또는 H.265 압축 전송 방식을 사용한다. 압축 방식과 무압축 방식의 성능 차이에 대해서는 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Video Transfer Type

	uncompressed	compressed
Interface	HDMI	Ethernet
Data Rate	<100Mbps	>20Mbps
Delay(ms)	>5	>1000

무압축 방식은 실시간으로 고화질의 데이터를 받을 수 있는 장점이 있지만 가시선상에 장애물이 있을 경우

전송이 끊어지는 단점이 있다. 그리고 데이터 전송량이 많기 때문에 전용의 영상전송 모뎀을 사용하여야 한다. 압축 방식은 무인항공기에 인코딩 장비를 탑재하며 지상 장비에 디코딩 장비를 탑재하여 영상을 압축 전송한다. 압축 및 압축해제에 따른 지연시간이 발생 하지만 압축률이 높아 데이터링크 모뎀에 직접 연결이 가능하다.

무압축의 경우 상용으로 나온 대다수의 제품들은 RF모듈을 탑재하여 출시 되기 때문에 제어용 데이터 RF 모뎀과 전송거리 및 성능의 차이가 있을 수 있는데 통신 거리는 영상전송 RF 모뎀에 따라 차이가 결정된다. 압축 방식의 경우에는 데이터 전송 모뎀의 인터페이스 및 성능에 따라 통신 거리가 결정된다. 무압축 영상 전송 장비의 경우 본 논문에서는 실시간으로 고화질의 영상 획득이 필요하여 무압축방식의 영상전송 시스템인 AMIMON을 사용하였으며 Fig 6에 나타내었다. 또한 압축방식 및 무압축 방식에 따른 연결 구성을 Fig 7과 Fig 8에 나타내었다. 압축방식은 무인항공기의 연결 시스템을 단순화 시킬수 있고 또한 탑재 장비의 경량화로 탑재장비의 무게를 감소 시킬 수 있다. 하지만 영상에 데이터를 같이 나타낼 경우 영상 지연으로 인하여 데이터와 영상의 시간차가 발생한다[9].



Fig. 6. Uncompressed video Module AMIMON사

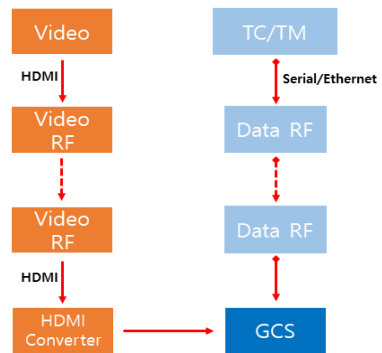


Fig. 7. Uncompressed video Configuration

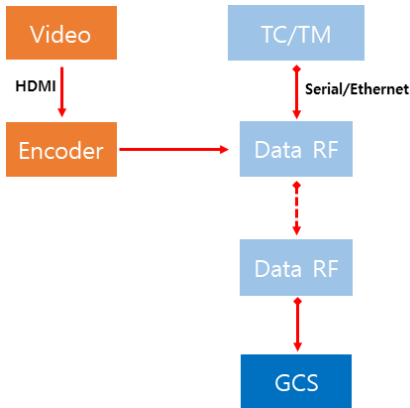


Fig. 8. Compressed video Configuration

2.4 제어 장비 데이터 링크

제어용 데이터는 소형 무인항공기의 경우 탑재 장비의 무게를 고려하여 소출력의 통신 모듈을 사용한다. 제어용 데이터는 주로 Serial 통신을 사용하며 Open Source 방식의 비행제어 시스템에서도 Serial 통신을 주로 사용한다. DJI사의 경우에는 통신 인터페이스로 CAN 통신을 주로 사용한다. 상업용 Serial 통신 모듈의 경우 통신속도는 9,600bps에서 115,200bps까지 주로 지원하며 Open Source 비행제어 시스템에서 가장 많이 사용하는 Pixhawk 모듈의 경우 기본으로 57,600bps의 통신속도로 설정이 되어 있고 MAVLink(Micro Air Vehicle Communication Protocol)를 사용한다. MAVLink는 소형 무인항공기에서 사용하기에 적합하도록 설계된 제어용 데이터링크 프로토콜이다.

MAVLink는 복수의 GCS 및 복수의 무인항공기의 운용도 가능하도록 프로토콜이 구성되어 있다. MAVLink의 기본적인 패킷 구성은 Fig 9에 나타내었다[10].

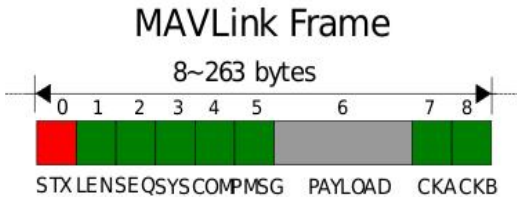


Fig. 9. MAVLink Packet Anatomy

MAVLink의 구조는 크게 8개의 부분으로 나누는데 총 8바이트 ~ 263바이트로 구성되며 첫 번째 바이트의

패킷 시작 신호가 0xFE 일 경우 새로운 패킷의 시작을 의미한다.(v1.0 이상일 경우 0xFE 일 경우 0x55) 이외에도 페이로드의 길이, 패킷순서등이 있으며 패킷의 페이로드 외부에서 데이터의 발신지와 수신지 그리고 어떠한 메시지를 전송하고자 하는지 명확하게 나타내고 있다. 데이터가 실리는 페이로드는 Message ID에 따라 길이가 변화하게 된다. 또한 데이터의 무결성을 확인하기 위해 체크섬을 사용하는데 ITU X.25와 SAE AS-4 표준에서 사용되는 체크섬과 같다. Message ID는 MAVLink에서 제공하는 Common MAVLink Message Documentation에 있으며 사용자가 필요한 메시지를 선정하여 사용할 수 있다[11].

본 논문에서 제시한 무인기 시스템 구성과 기체는 Fig. 10 및 Fig. 11에 나타내었다.

임무용 데이터인 영상 데이터는 무압축 전송 방식을 사용하였으며 제어용 데이터는 비행제어용 데이터 링크 및 임무 장비 제어용 데이터링크로 따로 분리하였다. 비행제어와 임무 장비 제어용 데이터는 각각의 비행제어 시스템 및 임무 장비 제어 시스템으로 직접 연결된다.

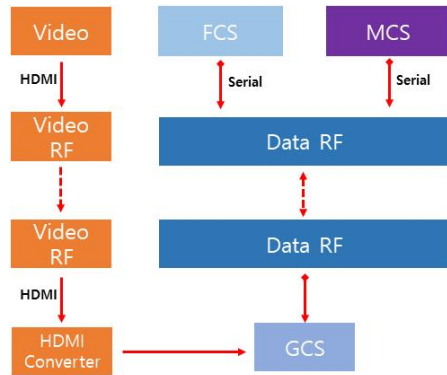


Fig. 10. Test UAV System Configuration



Fig. 11. Test UAV

2.5 통신 장비 운용

무인항공기에서 통신시스템은 유인항공기에서의 통신보다 더 큰 비중을 차지한다. 무인항공기는 조종사가 탑승하지 않는 특성 때문에 유인항공기에 비하여 통신량이 많을 수밖에 없으므로 더욱 독립적이고 안전한 통신체계가 요구된다[12].

통신장비를 선정할 때에는 무인항공기에 탑재된 장비들의 통신 주파수를 고려하여 선정해야 한다. 따라서 무인항공기에 탑재된 장비중에서 통신을 사용하는 장비들의 주파수를 파악하여 간섭이 되지 않는 임무 및 제어용 통신 장비를 선정해야 한다. 일반적인 소형 무인항공기에 탑재되는 장비중 GPS 및 R/C가 통신을 사용하며 Video의 경우 아날로그 또는 무압축 방식의 경우 별도의 RF를 사용한다. 각 사용 주파수 범위는 Table 4에 나타내었다.

Table 4. UAV Equipment Frequency

Equipment	Use Frequency(Mhz)
GPS	L1 : 1,575.42 L2 : 1,227.60
GLONASS	L1 : 1,602 L2 : 1,246
BeiDou	B1C : 1,575.42 B2A : 1,176.45 B3I : 1,268.52
R/C	2,400
Video RF	5,100-5,800
LTE	850, 900, 1800, 2100, 2600

그리고 제어용 데이터의 경우 Link Budget 및 Link Margin을 고려해야 한다. 제어용 통신 RF의 경우 Fig. 12와 같은 Serial 방식 및 Ethernet 방식이 가장 많이 사용되고 있다.



Fig. 12. Serial RF Module(9XTend)



Fig. 13. Ethernet RF Module example (RipEX)

최근에는 군집비행을 위하여 Fig 13과 같은 Mesh Networks방식을 지원하는 RF 모듈을 사용하기도 한다. 현재 무인기용 상용 통신 링크는 전 세계 어디서나 소출력 기준(10mW/Mhz)의 경우 비면허로 사용이 가능한 2.4Ghz 및 5.8Ghz 대역이 주로 사용되고 있다. 이 대역은 가시권내 무인항공기 운용시 사용이 가능하다. 비 가시권의 경우 LTE를 주로 사용한다. 통신장비는 장착 위치에 따라서도 성능의 차이가 있기 때문에 이를 고려하여 적절한 위치를 선정하여야 한다[13,14].

3. 결론

본 논문에서는 소형 무인항공기에서 주로 사용되고 있는 임무 장비들과 이를 비행제어 시스템과 같이 사용하기 위한 임무 장비 제어 시스템, 그리고 이를 지상 운용시스템과 연동하기 위한 통신장비 운용 및 선정에 대한 방안을 기술하였다. 기존에는 상용 소형 무인항공기 시스템에서는 항공 촬영이 주를 이루었으나 최근에는 정부 및 수요처의 증가 및 임무의 다변화에 따라 다양한 장비들이 탑재되고 있다. 이를 적절히 운용하기 위한 시스템 구성과 통신이 점점 중요해지고 있기 때문에 이를 잘 활용할 수 있도록 임무 장비 시스템의 규격화 또는 통신 장비의 규격화가 중요하다고 판단된다. 본 논문에서 제안한 시스템의 특징은 임무 장비 제어 시스템을 통한 다양한 장비들의 연결 확장성과 비행제어 시스템과 통합 또는 분리가 가능한 데이터링크 운용이 가능한 것으로 현재 대표적인 Opens Source 비행제어 시스템인 Pixhawk 보다 확장성 면에서 유용하다. 또한 자세 또는 위치 제어기과도 임무 장비의 데이터를 통한 연동이 가능하다는 장점이 있다.

무인항공기의 운용범위를 확장하기 위해서는 통신

장비의 출력 및 LTE, 5G 등의 통신이 중요하기 때문에 이 부분이 제도적으로 출력이나 사용에 대한 제한 완화가 진행되면 무인기에 대한 운용이 더욱 확장될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] B. S. Song. (2015). *Control Communication Standardization Trend(2015) of the Civil Unmanned Aerial Vehicle(UAV)*. 2015 KSAS Fall Conference, 1396-1399.
- [2] S. G. Gupta, M. M. Mangesh, Ghonge & Dr. P. M. Jawandhiya. (2013). Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 2(4), 1646-1658.
- [3] Department of Defense (DoD). (2010). *U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010-2035*. Office of the Secretary of Defense. US Fort Rucker, Alabama.
- [4] Korea Transport Institute. (2017). Drone Activation Support Roadmap. *Drone conference*, Seoul : KOTI
- [5] K. Nonami, F. Kendoul, S. Suzuki, W. Wang & D. Nakazawa. (2010). *Autonomous Flying Robots, Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles*. Tokyo Dordrecht Heidelberg London New York : Springer
- [6] CAP 722, (2010), *Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace - Guidance(www.caa.co.uk)*. ISBN 978 0 11792 372 0, Civil Aviation Authority.
- [7] J. Chesebro. (2011). *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*, <https://www.trade.gov/about.asp>
- [8] Torun, Erdal. (1999). *RTO SCI Symposium on "Warfare Automation: Procedures and Techniques for UAV Requirements and Design Consideration*.
- [9] Uncompressed video Module AMIMON, www.amimon.com/connex-uav-market/connex-mini/
- [10] MAVLink Developer Guide. <https://mavlink.io/en/>
- [11] J. H. Jeung. D. H. Cho & J. H. Noh. (2016). *Study on Mavlink for Development of Small Drone*. Fall Conference of KSAA, 240-243.
- [12] B. S. Song. (2014). Operating Frequency and Technology Trend of Unmanned Aerial System.

Current Industrial and Technological Trends in Aerospace 12(1), 101-107.

- [13] Serial RF Module.
<https://www.digi.com/products/models/xt09-si>
- [14] Ethernet RF Module(RipEX).
<https://www.racom.eu/eng/products/radio-mode-m-ripex>.

하 영 석(Young-Seok Ha)

[정회원]



- 1999년 2월 : 창원대학교 전기공학 학과(학사)
- 2002년 2월 : 창원대학교 전기전자 제어공학과(석사)
- 2012년 2월 : 한양대학교 전자 컴퓨터통신공학과(박사수료)

- 2007년 11월 ~ 현재 : 국방기술품질원 지휘정찰부 선임 연구원
- 관심분야 : 무인항공기, 비행제어 시스템, 통신
- E-Mail : ace1002@empal.com