

The Propose of Requirements Based on Safety Assessment for UAV Handover

Young-Min Seung*, Kyeong-Soo An*, Woo-Sik Kim*

Abstract

Recently, UAV manufacturers are developing UAV system in a form that can be controlled by CS regardless of UAV kind and using STANAG 4586 interface standard considering Interoperability. STANAG 4586 is a NATO military standard developed to control various UAVs with standardized equipment. In such a case, UAV handover will inevitably occur and it is one of the most important function for safe UAV flight in platform using STANAG 4586. In the future combat situation where collaboration between AV and UAV is anticipated, seamless handover of UAV is a part of continuous research. In this paper, we propose requirements for UAV handover based on ARP 4761 safety assessment and analyze feasibility of the requirements by comparing UAV handover process in STANAG 4586. As a result of the comparative analysis, the proposed handover requirements based on ARP 4761 includes all the handover procedures of STANAG 4586 and present additional considerations for SOP creation and CS development. Applying the proposed handover requirements in the UAV development process can reduce the probability of loss of UAV control over the handover process and it can be expected to help improve the safety of UAV.

▶ Keyword: UAV, Handover, STANAG 4586, ARP 4761

I. Introduction

기존의 항공시스템은 조종사가 항공기에 탑승하여 지상 관제소와 통신하며 항공기를 직접 조종하는 유인기 시스템이 대부분이었으나, 최근에는 조종사가 직접 탑승하지 않고 지상통제장비 등을 통하여 비행체를 조종하는 무인기(UAV : Unmanned Aerial Vehicle) 시스템이 활발하게 개발되고 있다. 산불과 같은 자연 재해 및 해안 감시, 교통 통제 등을 비롯하여 택배시스템과 같은 물류, 방송 등 다양한 민간 분야에서도 무인기는 지속적으로 발전, 응용되고 있다. 또한 무인기를 군사적으로 활용할 경우 전시 상황에서 인명피해 없이 작전 임무를 수행할 수 있고, 미래전의 핵심인 실시간 전투 정보를 공유할 수 있는 네트워크 중심전(NCW : Network Centric Warfare)에서도 무인기를 활용한 감시 정찰 및 정보 수집뿐만 아니라 직접 타격 임무까지 수행이 가능하여 그 수요가 점점 증가 하고 있다. [1][2].

무인기의 필요성이 증가하면서 다양한 무인기가 등장하고 있는데, 기존에는 기본적으로 각각의 무인기에 대해서 특정 통제장비가 각각 연동되어 동작하는 방식(Stovepipe)으로 개발되다 보니, 새로운 무인기가 개발될 때 마다 기존의 통제장비를 수정하거나, 신규 통제장비를 같이 개발해야 하는 상황이 발생되었다. 이는 개발 기간과 비용에 대한 소모 뿐 아니라, 각각 다른 무인기를 통제하기 위한 무인기 조종사도 각각 훈련되어 공급되어야 하고 상호운용성이 확보되지 않은 무인기와 데이터링크, 통제장비들이 넘쳐나는 비효율성을 야기하게 된다[1][3].

이에 따라 북대서양조약기구 (NATO : North Atlantic Treaty Organization)에서는 회원국 간 연합 임무 수행을 위한 무인기 상호운용성 확보와 표준화된 통제장비 개발을 위해 NATO 군사 표준 중 하나인 STANAG(Standardization Agreement)를 활용하여 STANAG 4586 표준을 제정하고, 하

• First Author: Young-Min Seung, Corresponding Author: Young-Min Seung
*Young-Min Seung (ym.seung@hanwha.com), Avionics R&D Center, Hanwha Systems
*Kyeong-Soo An (spampider@hanwha.com), Avionics R&D Center, Hanwha Systems
*Woo-Sik Kim (woosik321.kim@hanwha.com), Avionics R&D Center, Hanwha Systems
• Received: 2019. 02. 26, Revised: 2019. 03. 28, Accepted: 2019. 04. 03.

나의 통제시스템으로 이중 무인기를 운용할 수 있는 환경을 구축할 수 있는 기반을 마련하였다[4][5][6][7].

사람이 직접 탑승하여 조종하지 않고, 원격으로 운용하는 무인기의 경우 통제장비와의 안정적인 통신이 가장 중요한 요소이며, 무인기가 통제 불가의 상태에 빠지지 않는 것이 최우선적으로 고려되어야 한다. 따라서 하나의 통제 시스템으로 이중 무인기의 제어를 위해서는 안정적인 핸드오버(Handover)가 필수적이다. 특히 무인기를 지상통제장비(GCS: Ground Control System)에서만 운용하던 과거와 달리, 최근에는 유·무인기 협업 관련 개발이 활발하게 이뤄지면서 유인기가 무인기를 통제하는 환경도 고려되고 있고, 이는 곧 무인기가 유인기와 지상통제시스템 간 핸드오버를 통해 조종권이 자유롭게 움직일 수 있는 환경 구축에 대한 필요성을 의미한다.

본 논문에서는 군사적인 관점에서 무인기 통제장비의 상호운용성 확보에 가장 중요한 핸드오버 구현을 위한 요구사항을 도출하여 제안한다. 제안하는 핸드오버 요구사항은 항공시스템 및 장비의 안전성 평가 기준인 ARP 4761(Aerospace Recommended Practice)를 바탕으로 핸드오버 수행에 고려되어야 하는 위험요소를 방지 하여 안전성 확보가 가능한 기준으로 도출하였으며, 도출된 핸드오버 요구사항을 STANAG 4586의 핸드오버 인터페이스와 비교 분석하여 안전성을 검증하였다. STANAG 4586에서 제시하는 ICD(Interface Control Document)는 상호운용성 확보를 위한 기본적인 인터페이스이고, 이를 포함하면서 안전성 측면에서 구현 방식에 따라 달라질 수 있는 핸드오버 요구사항을 제시한다.

II. Preliminaries

1. UAV Operational Concept

기존 군사용 무인기 개발은 기체에 따라 지상에서 조종 및 제어를 위해 개별적인 지상통제장비(GCS)를 같이 개발하는 방식으로, Fig. 1과 같이 각각의 GCS는 Pair를 구성하는 무인기만 조종 가능한 형태였다[1][6]. 상호 운용성이 고려되지 않은 무인기의 개발은 무인기-GCS 간 1:1 제어만이 가능하며, 이에 따른 비효율성과 개발 제약 극복을 위해 최근에는 무인기와 통제장비 간 다대다 연동이 가능한 구조로 개발을 추진하고 있다.

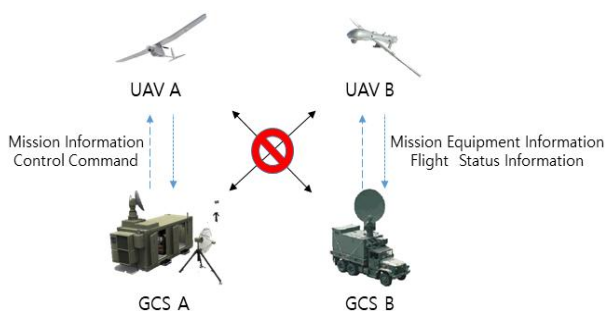


Fig. 1. Stovepipe Type UAV Operation

Fig. 2와 같이 공용으로 연동할 수 있는 인터페이스를 구축하여 무인기 개발에 따라 별도의 통제장비를 추가적으로 개발할 필요가 없고, 하나의 무인기가 여러 통제 장비를 이동하여 연동할 수 있기 때문에 무인기의 활동 반경이 더 넓어 질 수도 있다. 또한 미래전에서는 유인기와 무인기의 협업이 강조되어, 유인기의 통제 아래 무인기를 제어하며 임무를 수행하고, 상황에 따라 무인기를 다른 유인기와 연동하거나 또 다른 통제 장비에 연동하여 임무를 수행하는 경우도 발생 할 수 있다. 이와 같은 경우를 고려하여 본 논문에서는 무인기 통제장비를 GCS로 한정 짓지 않고, 육해공 어디에서나 통제할 수 있는 관점의 CS (Control System : 통제장비)로 기술한다.

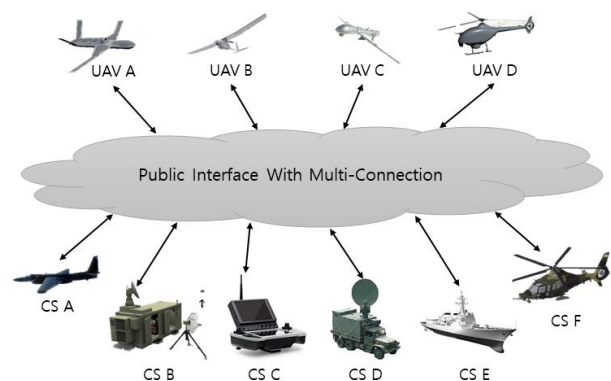


Fig. 2. UAV Operation Considering Interoperability

무인기와 통제장비 간 공용 인터페이스를 구축하는 작업은 무인기의 활용 폭을 현격하게 증가 시키고 다양한 임무를 수행할 수 있게 한다. 하지만 무인기는 통제장비와의 신뢰성 있는 통신이 최우선으로 이뤄져야 하며, 무인기가 이중의 통제장비 이동 간, 데이터링크가 유실되거나 통제 불능 상태에 빠지지 않도록 안전하고 신뢰성 있는 핸드오버 과정이 필수적이다.

2. STANAG 4586

북대서양조약기구(NATO)에서 제정한 STANAG 4586 (Standard Interfaces of UAV Control System for NATO UAV Interoperability)는 NATO 회원국 간 무인기의 상호운용성을 확보하기 위해 인터페이스를 공용화 할 수 있는 표준 문서이다[4][5].

STANAG 4586에서 제시하는 UAV System의 기본 구조는 Fig. 3과 같다. UAV에 탑재된 VDT를 통하여 통제 장비와 통신하며 UAV를 제어하는데, 통제 장비의 핵심 요소인 UCS를 VSM과 CUCS로 구분 지어 표준화 하였다. 서로 다른 공급자로부터 개발되는 다양한 UAV의 상호운용성을 확보하기 위해 공통적으로 이중의 UAV 간에 적용 할 수 있는 부분과(CUCS), 기종별로 각각 다른 기능을 제공해야 하는 부분(VSM)을 분리하여 제시하고 있다.

CUCS의 경우 통제 장비를 통해 UAV를 제어하는 운용자에게 GUI 환경을 제공하고, 기존 UAV-GCS 간 1:1 운용만을 제공하던 GCS구조의 임무 컴퓨터, 비행통제 컴퓨터, 영상 컴퓨터 등의 공통적인 임무 기능을 수행하는 부분이다. VSM은 이중 UAV의 특징적인

기능을 수용하여 상호운용성을 제공하기 위한 부분으로, 고유 인터페이스 프로토콜을 갖고 있는 UAV의 메시지 포맷으로 STANAG 4586의 메시지 포맷을 변환시키는 기능, 고정익/회전익 및 각기 다른 탑재 임무 장비의 특성을 반영하고 제어할 수 있는 기능, UAV 수동 조종을 위해 실시간으로 조종 명령을 생성하고 입력/처리하는 기능, 데이터링크 장비 제어를 위한 기능 등을 제공한다 [4][5][7].

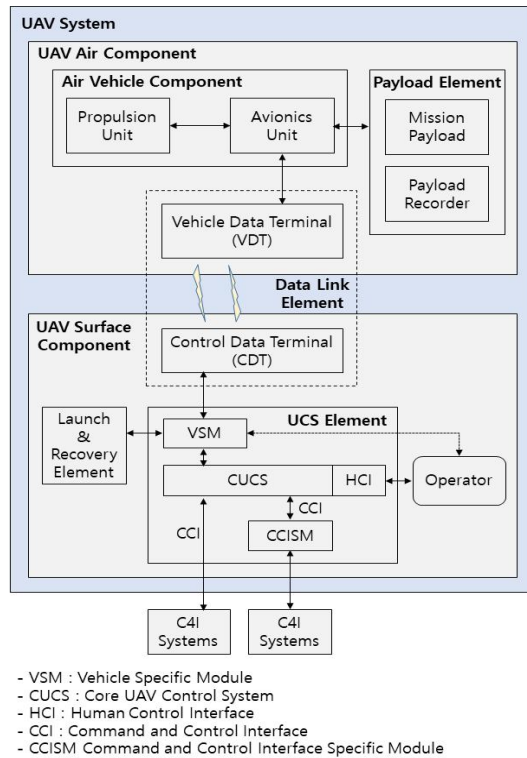


Fig. 3. UAV System Structure based on STANAG 4586

이와 같은 구조에서 UAV가 서로 다른 통제장비로 핸드오버하는 경우 필요한 메시지에 대해 STANAG 4586에서 기본적으로 정의를 하였는데, 이는 III-2장에서 제안하는 핸드오버 요구 사항 검증 시 기술하도록 한다.

III. The Proposed Requirements

1. Proposal of Handover Requirements

UAV를 운용하는데 있어서 가장 우선적으로 고려해야 하는 점은 UAV의 안전한 통제다. 조종사가 직접 탑재하지 않고 통제장비를 통하여 원격으로 제어하기 때문에 UAV의 상태 정보 및 운용자의 명령이 신뢰성 있는 데이터링크를 통해 안전하게 송수신 되어야 한다. 기존과 같이 UAV 마다 각각의 통제장비가 별도로 연동되는 경우 하나의 통제장비로만 특정 UAV를 운용하였지만, UAV-통제장비 간 다대다로 연동되어 운용하는

경우 UAV의 핸드오버가 필연적으로 발생할 수밖에 없고, 이는 안전한 통제가 최우선인 UAV 시스템에서 위험요소가 발생할 수 있는 요인이 될 수 있다.

ARP 4761은 SAE(Society of Automotive Engineers, Inc)에서 제정한 “민간 항공 시스템 및 장비의 안전도 평가 수행 지침 및 방법(Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment)”에 관한 표준이다. ARP 4761을 바탕으로 안전도 평가를 수행하기 위해서는 “기능 위해성 평가(Functional Hazard Assessment)”를 통해 고장 조건(Failure Condition)을 파악해야 하는데, 결함트리 분석 기법, 의존성 다이어그램 분석 기법, 마코브 분석 기법 등의 방법을 이용할 수 있다[8]. 이와 같은 방법을 통하여 UAV 운용 시 안전을 위협하는 위험요소가 Table 1과 같이 428건 식별 되었다[9].

Table 1. Hazard identification for UAV safety assessment

| Classification | Failure Condition | Cases |
|-----------------------------|----------------------------------|-------|
| Stability & Control | Altitude and Speed | 7 |
| | Stability Change | 4 |
| | Manoeuvre UAV | 10 |
| | Manual Control | 4 |
| | Launch Control | 4 |
| Air Navigation | Control Flight Path | 18 |
| | Position, Heading, Altitude | 12 |
| | Save & Update Mission Route | 7 |
| | Monitoring Flight Path | 3 |
| | Automatic Take off & Landing | 33 |
| | Terrain Avoidance | 15 |
| | Sensitive Area Avoidance | 10 |
| | Controlled Airspace Avoidance | 10 |
| Ground Control | Danger Areas Avoidance | 10 |
| | Control Speed on the Ground | 20 |
| Data-Link Management | Control Position on the Ground | 29 |
| | Monitoring Data-Link | 11 |
| | Control Data-Link Path | 22 |
| | Data-Link Failure/Degrade | 5 |
| | Defend Jamming & Stealing | 2 |
| Payload | Monitor LOS Terrain Proximity | 3 |
| | Control Sensor | 5 |
| Monitoring Mission Progress | Telemeter S&C Parameters | 3 |
| | Telemeter Air Nav. Parameters | 3 |
| | Telemeter GND Control Params. | 3 |
| | Telemeter Flight System Status | 3 |
| | Monitoring Weather Change | 24 |
| Flight System Management | Flight System Status | 6 |
| | System Emergency Actions | 12 |
| Flight Preparation | Mission Planning | 33 |
| | Launch Preparation | 26 |
| Communication Management | Airfield ATC Voice Comms | 9 |
| | Detect Airfield Visual Signals | 3 |
| | ATC En-Route Comms | 10 |
| | Visibility Tracking | 7 |
| | ATC Frequency Management | 5 |
| | Comply ATC Procedures | 8 |
| | Emergency Broadcast | 7 |
| Collision Avoidance | Detect Traffic | 6 |
| | Determine Traffic Relative Track | 4 |
| | Traffic Separation | 2 |
| | Collision Emergency Avoidance | 5 |
| | Visual Air Traffic Recognition | 5 |

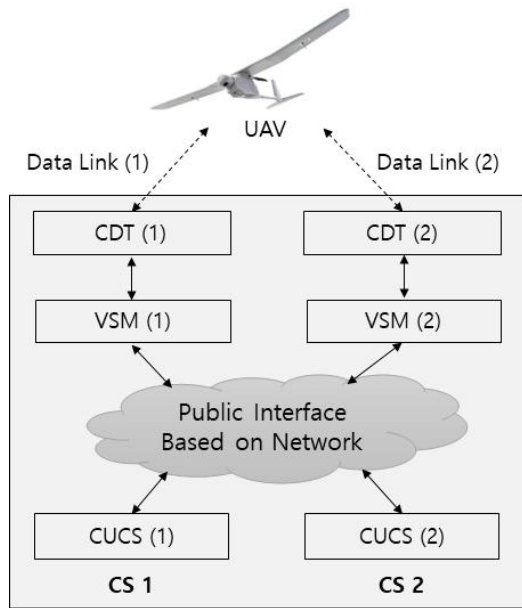


Fig. 4. UAV Operation Considering MBB Handover

Table 1의 428건에 대한 위험요소를 분석하여 Fig. 4와 같이 2 개의 데이터링크가 존재하는 상황에서 UAV가 MBB (Make Before Break) 방식으로 CS1에서 CS2로 핸드오버를 수행한다고 가정하고, 핸드오버의 안전성과 직접적으로 연관이 있는 위험요소 92건을 도출하였다. 이러한 위험요소를 제거하고 UAV 운용의 최우선 고려 사항인 안전성을 만족할 수 있는 핸드오버 요구사항을 Table 2와 같이 최종 도출하여 제안한다.

Table 2. Proposed UAV Handover Requirements

| ID | Proposed Handover Requirements |
|------|---|
| A | Control And Operation |
| A-1 | The UAV shall be controlled by a single CS. |
| A-2 | The UAV operator shall inform the CS that the UAV is under control. |
| A-3 | It should be able to identify the UAV ID and type and mission plan for H/O. |
| A-4 | UAV should be ordered to plan their missions with H/O coverage in mind. |
| A-5 | The UAV should perform a handover when the signal quality of the data link is above a minimum threshold level. |
| A-6 | Monitor signal quality of CS1 and CS2 to determine whether H/O is enabled or disabled, and CS with low signal quality don't control UAV. |
| A-7 | The UAV shall be able to respond to engine cut commands for flight termination after H/O. |
| A-8 | If the response to flight information such as speed, altitude and direction of UAV is normal, handover is performed. |
| A-9 | After the H / O, the operator should be able to change the UAV configuration and configurable parts. |
| A-10 | All messages that transmit and receive from the UAV and CS should be clearly identified or ignored. |
| A-11 | It should be possible to check whether the UAV-CS message is damaged. |
| A-12 | CS1 shall transmit dish coordinates of the UAV to CS2 in the H/O message. |
| A-13 | The position data of the UAV in H/O should distinguish/identify the data of the current position and the arrival position according to the movement route of the UAV. |

| | |
|------|--|
| A-14 | The operator should be notified when an incorrect command is entered. |
| A-15 | UAV altitude and location tracking shall be monitored throughout the time under the control of the operator. |
| A-16 | The UAV operator should be able to monitor the UAV mission planning process in real time. |
| A-17 | The UAV operator should be able to check the UAV mission map and route update status in real time. |
| A-18 | The operator of CS2 should be able to reconfigure and initialize the CS and ensure sufficient initialization time. |
| A-19 | UAV-related warning messages received in CS1 should be shared with CS2 before handover starts. |
| A-20 | Inspection and warning messages of CS should be checked/processed before H/O. |
| A-21 | When CS initialization is performed before H/O, the ATC frequency should be set. |
| A-22 | CS1/CS2 shall define the standard operating procedure (SOP) for the UAV to be controlled. |
| A-23 | Communications between CS1 and CS2 should not be through UAV. |
| A-24 | CS1/CS2 should inform the ATC of UAV H/O occurrence information before H/O and communicate for local information transmission. |
| B | Data-Link Return |
| B-1 | CS1 shall be able to recover the control through the stop command in the UAV H/O process. |
| B-2 | If the UAV ID and type can not be identified or are different from the mission plan, the H / O should be canceled. |
| B-3 | In case of non/incorrect response such as speed, altitude, direction of UAV, H/O should be stopped and returned to original CS. |
| B-4 | If the UAV operator can not control the UAV, or if the path can not be changed, the H / O should be stopped and returned to the original CS. |
| B-5 | The control of the UAV is only possible with mission planning & updates, and H/O should be stopped if direct control is not possible. |
| B-6 | When a UAV-CS message is corrupted or missing, the message is requested to be retransmitted, and if the message can not be transmitted normally, the H/O should be stopped. |
| B-7 | If CS2 does not respond to the H/O command of CS1 or if loss of data link to UAV before H/O completion is expected, H/O should be stopped. |
| B-8 | When the data link returns to CS1 due to some H/O stage failure, it should inform that UAV is under control of CS1. |
| B-9 | The UAV emergency situation occurring during H/O is controlled by CS1. |
| B-10 | In case of data corruption due to bad signal quality in securing the data link with UAV in CS2, the data link should be switched to CS1. |
| B-11 | If the data link is lost during H/O, the UAV should follow the SOP to recover the data link with CS1. |
| C | Handover (H/O) stop and landing |
| C-1 | In case of loss of data link with both CS1/CS2 during H/O, H/O stop and UAV should be automatically landed immediately. |
| C-2 | H/O should be interrupted if the Flight Instruments in the H/O continue to be empty or unchanged, and if the data link can not be returned, the UAV should land automatically immediately. |
| C-3 | If the exact informations of position, speed, direction, etc. of the UAV in H/O are not provided CS1 or CS2, H/O should be stopped, If the data link can not be returned, UAV must land immediately. |
| C-4 | If the UAV status, fuel, and D/L signal informations in H/O are not provided CS1 or CS2, H/O should be stopped, If the data link can not be returned, UAV must land immediately. |
| C-5 | If CS1/CS2 can not communicate with ATC, H/O should not start. CS1. |

UAV의 신뢰성 있고 안전한 핸드오버를 위해서 UAV는 CS1의 제어를 받으며 CS2의 데이터링크 신호를 감지해 핸드오버에 충분한 신호 품질인지 확인하고, CS2에서 UAV의 정보가 정상적으로 수집되는지 사전에 CS1으로부터 전달받은 데이터와 비교하며, 명령 전달에 문제가 없는지 검증이 되었을 때 핸드오버를 완료하는 과정으로 이뤄진다. 가장 중요한 것은 핸드오버에 실패하는 경우, 원래의 CS로 복귀하는 과정과 CS1, CS2 모두의 데이터 링크를 손실하였을 때 안전하게 자동으로 비상착륙이 가능한 프로세스가 확립되어 있는 것이다.

Table 2는 3가지 카테고리로 핸드오버 요구사항을 분류하였는데, 첫째는 핸드오버 과정 중에 UAV-CS간 제어 및 통신이 안전하고 신뢰성 있게 유지되어야 한다는 요구사항이고, 둘째는 핸드오버 과정 중에 장애 발생 시 원래의 CS로 복귀 가능해야 하며, 셋째로 핸드오버 취소 및 비상 착륙에 관한 요구사항이다. 제안하는 핸드오버 요구사항은 ARP 4761 표준에서 제시하는 UAV 안전성 검증을 위해 식별한 위험요소에서 핸드오버 안전성 검증을 위한 위험요소를 예방하고 제거할 수 있도록 도출 되었다.

2. Verification based on STANAG 4586 of Handover Requirements

UAV의 상호운용성 확보와 효율적인 개발을 위해 NATO가 제정한 STANAG 4586 인터페이스 표준에서는 UAV 핸드오버를 지원하는 메시지를 제공하고 있고, 기본적인 절차도 제시하고 있다.

Fig. 5와 같이 핸드오버를 통하여 UAV의 통제권을 옮겨 오려는 통제장비를 CS2 라고 가정하면 STANAG 4586에서는 메시지 #1을 브로드캐스팅 하여 CUCS의 인증을 요청하는 것으로 핸드오버의 사전 절차가 시작된다. 이에 대한 응답과 UAV 제어를 위한 필드를 구성하기 위해 필드 구성 정보를 요청하고, 이에 대해 UAV ID를 비롯한 필드 구성 데이터의 응답이 정상적으로 수신되면 데이터링크 할당을 요청하게 된다. 이에 대해 데이터링크 구성에 필요한 정보들을 전송하는데, 데이터링크 설정 및 유지, 정상 동작의 확인은 핸드오버의 핵심 절차 중 하나이다. 따라서 데이터링크의 상태보고서를 전송하고 핸드오버를 통하여 제어권을 가져갈 수 있는 수준의 데이터링크라고 판단이 되면 원래의 CS1에게 제어를 위한 CUCS 인증을 수행하고 데이터링크 전환을 보고 및 핸드오버 성공 여부에 대한 보고를 수행한다. 이렇게 되면 핸드오버 절차가 1차적으로 완료되지만 핸드오버 이후 운용자 디스플레이를 위한 정보와 UAV 동작 명령, UAV 이동에 따른 상태 정보를 요청/수신하여 UAV가 CS2의 제어 하에 완전히 정상적으로 제어되는지 확인하는 절차를 거친다[10][11]. 하지만 직접적으로 구현할 경우 제시된 메시지 구현 외에도, 운용과 안전성 측면에서 표준작동절차(SOP)를 따라야 하거나, UAV 개발 특성에 따라 추가적으로 구현이 고려되어야 하는 부분들은 따로 정의되지 않았고 이에 대해 UAV 안전성 관점에서의 핸드오버 요구사항을 본 논문에서 제안하였다.

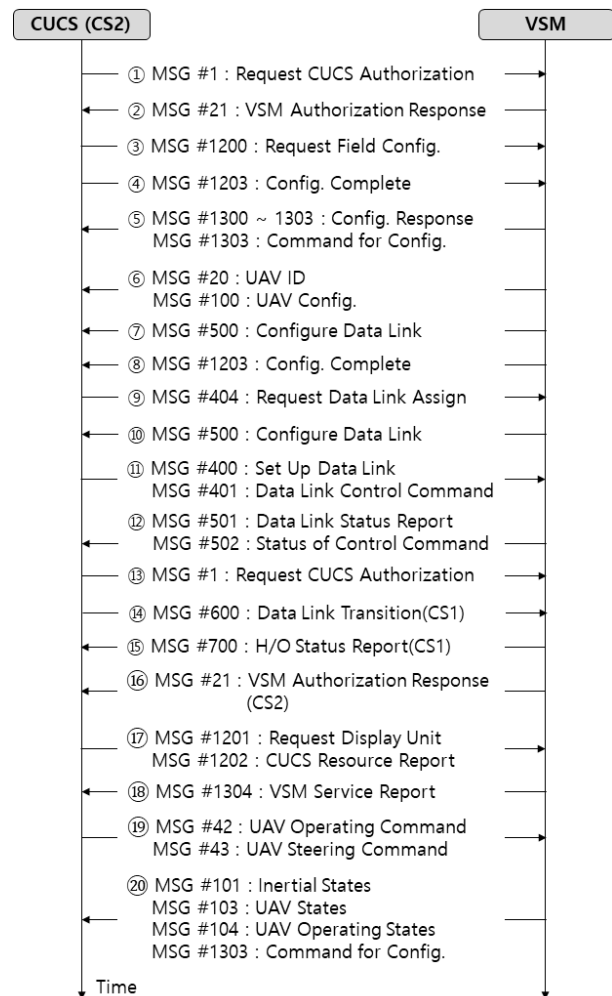


Fig. 5. Handover Procedure Presented in STANAG 4586

본 논문에서 제안한 안전성이 고려된 핸드오버의 요구사항과 Fig. 5의 STANAG 4586과 같은 표준화된 핸드오버 절차를 바탕으로 비교 검증하여 핸드오버에 필수적인 절차를 모두 포함하고 있는지 검증한 결과를 Table 3에 기술하였다. 기본적으로 UAV 핸드오버를 위해 CUCS 인증 요청 및 UAV 상태 정보 전송, 데이터링크 확보, 핸드오버를 통한 제어권 이동 과정 모두를 요구사항이 포함하고 있고, STANAG 4586에서 제시하는 핸드오버 절차 외, 안전성과 신뢰성 측면에서의 추가 요구사항들은 UAV의 표준작동절차(SOP) 준용 또는 CS 구현 선택사항으로 구분하여 표기하였다. 특히 STANAG 4586의 경우 핸드오버 장애 시, 제어권을 원래의 CS로 회수 가능한 시점이 제한되기 때문에 제안하는 요구사항에서는 CS2가 명확하게 제어권을 확보하기 전까지 CS1으로 회수 가능해야 하는 점을 강조하였고, 데이터링크의 손실 또는 UAV-CS간 정보 이동이 원활하지 않을 경우 즉시 비상착륙 해야 하는 점을 핸드오버 절차에 삽입할 수 있도록 하여 무인기 개발 시, 핸드오버 안전성 향상을 기대할 수 있다. ARP 4761을 바탕으로 안전성 분석을 통해 무인기 핸드오버 시 발생할 수 있는 위험요소를 식별하고, 이를 사전에 방지하거나 제거할 수 있는 무인기 핸드오버 요구

사항을 도출하여 기존에 무인기 제어 표준화 인터페이스인 STANAG 4586의 핸드오버 절차와 비교한 Table 3의 결과에 따라 본 논문에서 제시한 핸드오버 요구사항이 STANAG 4586의 핸드오버 기본 절차를 포함하고 ARP 4761 기반의 안전성을 확보 하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 3. Comparison of STANAG 4586 Handover Procedure and Proposed Requirements

| ID | Handover Procedure in STANAG 4586 Standard |
|------|--|
| A-1 | The VSM CSU authentication request is only possible for one CS with UAV control (message #1). |
| A-2 | Message #21 (VSM authentication response) can be used to notify. |
| A-3 | Through message #20, UAV ID and type can be identified and confirm CS1 and mission plan with SOP before handover. |
| A-4 | SOP Application |
| A-5 | The handover is performed according to the result of the data link status report on the signal quality through the message #501. |
| A-6 | |
| A-7 | Executed by message #45 (engine command), CS implementation option according to the situation. |
| A-8 | The handover is performed using the information of the acceleration, altitude, and direction through the message #43 and the dual response of the message #1301 (initial configuration field information). |
| A-9 | UAV status information can be monitored through message #104, UAV can be configured using specific message fields from #2000 to #2399. |
| A-10 | Notation in message header. |
| A-11 | Visible by message wrapper. |
| A-12 | corresponding coordinate transmission is transmitted using the message #600 in the data link switching information.. |
| A-13 | Message #101 Position data can be classified by inertia status information. |
| A-14 | CS implementation option |
| A-15 | SOP Application |
| A-16 | SOP Application |
| A-17 | SOP Application |
| A-18 | SOP Application |
| A-19 | Use Message #1100 System Health Warning Messages and |
| A-20 | #1101 System Health Report Information. |
| A-21 | SOP Application |
| A-22 | SOP Application |
| A-23 | CS implementation option |
| A-24 | SOP Application |
| B-1 | CS1 can be recovered through message #1 CUCS authentication request of override control option when handover is in progress and UAV is being controlled. |
| B-2 | Through message #20, UAV ID and type can be identified and confirm CS1 and mission plan with SOP before handover. |
| B-3 | If the information of acceleration, altitude, direction through message #43 and double response of message #1301 (initial configuration field information) is missing or inaccurate, handover is stopped. |
| B-4 | Control can be recovered during handover, but control can not be recovered if control is not available after handover, and it is possible to stop flight using message #46. |
| B-5 | |
| B-6 | Retransmission through message # 1400 |
| B-7 | Utilizing the function that the data link is switched to CS1 when handover is not achieved within the set time through message # 600. |
| B-8 | Message # 21 (VSM authentication response) can be used to notify. CS implementation option |
| B-9 | SOP Application and CS implementation choices |
| B-10 | The data link is switched to CS1 using message #600 only if handover is not achieved within the set time |

| | |
|------|---------------------------------------|
| B-11 | SOP Application |
| C-1 | SOP Application |
| C-2 | No message returning data link to CS1 |
| C-3 | SOP Application |
| C-4 | SOP Application |
| C-5 | SOP Application |

IV. Conclusions

민간영역 뿐만 아니라, 군사적인 측면에서도 UAV의 중요성과 필요성은 지속적으로 증대되고 있다. 하지만 기존의 UAV 개발 방식은 UAV 기체와 통제장비를 1대 1로 개발하여 새로운 UAV 개발 시, 필연적으로 신규 통제장비를 도입해야 했다. 이에 따라 NATO에서는 회원국 간 UAV를 이용한 연합임무 시 UAV 기종에 구애받지 않고 제어가 가능하도록 STANAG 4586 ICD 표준을 제정하였는데, 이 표준 인터페이스에서 UAV의 핸드오버 구현에 필요한 필수 메시지를 제공하고 있다. 하지만 필수적인 핸드오버 절차 및 구현 관점에서의 공통 인터페이스 제공 외, 개발자의 선택사항으로 구현 여부와 방법을 결정해야 하는 부분이 다수 발생한다. 또한 표준화된 핸드오버 요구사항이 불분명하여, 향후 다수의 무인기가 여러 공역에서 다양한 통제장비를 통해 제어 받게 될 경우 위험요소가 발생 할 수 있음을 간과할 수 없다.

UAV는 원격으로 제어를 수행하기 때문에 비행의 안전도가 가장 중요하며, UAV의 핸드오버 수행 시 제어권의 명확한 확보와 핸드오버 중 제어권 손실 시 UAV의 안전성을 보장하는 것이 가장 중요한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 ARP 4761의 항공기에 대한 안전도 평가 수행지침을 바탕으로 분석한 UAV 운용 시 발생할 수 있는 위험요소 428건 중 핸드오버 수행 시 발생할 수 있는 위험 요소를 92건 식별하였고, 이러한 위험요소를 제거 및 방지 할 수 있는 안전성 기반의 UAV 핸드오버 요구사항을 도출하여 제안하였다. 제안된 UAV 핸드오버 요구사항은 기존의 STANAG 4586에서 제시하는 핸드오버 기본 필수 절차를 포함하고, 핸드오버 과정에서 발생할 수 있는 위험요소를 제거할 수 있도록 도출되었음을 Table 3으로 비교 분석하여 검증하였다. 제시된 UAV 핸드오버 요구사항은 기존 STANAG 4586 인터페이스에서 제시한 핸드오버 구현 절차를 보완하여 개발자마다 상이할 수 있는 부분을 공통화 시키고, 안전한 UAV를 개발 하는 가이드라인으로 사용될 수 있다. 또한 본 논문에서 제시한 UAV 핸드오버 요구사항 도출 방식을 향후 유무인기 협업 환경 및 다수의 UAV 동시 제어 등 더 복잡하고 다양한 UAV 운용 환경에서 안전성이 확보된 핸드오버 요구사항을 도출하는 연구를 수행하는데 적용 할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Im-ju Kang, Han-suk Lee, In-je Cho, "The Development and Standardization of UAV Ground Control Software based on STANAG 4586," Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers 30(9), pp. 46-56, September 2012.
- [2] Denise S. Ponchak, Fred L. Templin, Greg Sheffield, Pedro Taboso and Raj Jain, "Reliable and secure surveillance, communications and navigation (RSCAN) for Unmanned Air Systems (UAS) in controlled airspace," 2018 IEEE Aerospace Conference, March 2018.
- [3] Raj Jain and Fred L. Templin, "Requirements Challenges and Analysis of Alternatives for Wireless Datalinks for Unmanned Aircraft Systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC) Special Issue on Communications Challenges and Dynamics for Unmanned Autonomous Vehicles, Vol. 30, No. 5, pp. 852-860, June 2012.
- [4] North Atlantic Treaty Organization Allied Engineering Publication, "Standard Interfaces of Unmanned Aircraft (UA) Control System (UCS) for NATO UA Interoperability Interface Control Document," NATO Standardization Office NSO), Vol. I, Edition A Version 1, April 2017.
- [5] North Atlantic Treaty Organization Allied Engineering Publication, "Standard Interfaces of Unmanned Aircraft (UA) Control System (UCS) for NATO UA Interoperability Interface Control Document," NATO Standardization Office (NSO), Vol. II, Edition A Version 1, April 2017.
- [6] Templin, Fred L., Raj Jain, Greg Sheffield, Pedro Taboso-Ballesteros, and Denise Ponchak, "Considerations for an Integrated UAS CNS Architecture," Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, April 2017.
- [7] L. Gupta, R. Jain, and G. Vaszkun, "Survey of Important Issues in UAV Communication Networks," IEEE Communications Surveys Tutorials, Vol. 12, No. 2, pp.1123-1152, Secondquarter 2016.
- [8] SAE(Society of Automotive Engineers, Inc., "ARP(Aero space Recommended Practice) 4761 - Guidelines And Methods For Conducting The Safety Assessment Process On Civil Airborne Systems And Equipment," Feb. 1996.
- [9] Andrew R Evans, "The Hazards of Unmanned Air Vehicle Integration Into Unsegregated Airspace," The University of York, September 2006.
- [10] North Atlantic Treaty Organization Allied Engineering Publication, Standards Related Document AEP-84.1 Implementation Guidelines for AEP-84," NATO Standardization Office (NSO), Edition A Version 1, April 2017.
- [11] Cummings M. L, Kirschbaum A. R, Sulmistras A, Platts J. T, "STANAG 4586 Human Supervisory Control Implications", Air and Weapon Systems Dept, Dstl Farnborough & the Office of Naval Research, 2006.

Authors



Young-Min Seung received the B.S. and M.S. degrees in Information and Telecommunication Engineering from Korea Aerospace University, Korea, in 2006 and 2008, respectively. Mr. Seung worked as a Hardware & system engineer from

2008 to 2011 at SOLID and SINDOH. He is currently a Senior Engineer in the Avionics R&D Center, Hanwha Systems. He is interested in Avionics system, wireless signal processing and military communications equipment.



Kyeong-Soo An received the B.S. degree in Computer and Electronics from Busan National University, Korea, in 2003 and M.S degree in Electronics from Kyeongbuk National University, Korea, in 2009. Mr. An worked for Hanwha Systems since 2002.

He is currently a Center Leader of Avionics R&D Center Hanwha Systems and superintends all Avionics R&D Program of Hanwha Systems. He is interested in Avionics system of Manned and Unmanned Aerial Vehicle.



Woo-Sik Kim received the B.S. and M.S. degrees in Information and Telecommunication Engineering from Keimyung University, Korea, in 1995 and 2001, respectively. Mr. Kim worked for Hanwha Systems since 2001. He is

currently a Chief Engineer in the Avionics R&D Center, Hanwha Systems. He is interested in Avionics system of Manned and Unmanned Aerial Vehicle.