

# SEAD 임무를 위한 유·무인 협업 모의

조성범<sup>1)</sup> · 최영미<sup>1)</sup> · 오지현<sup>1)</sup> · 명현삼<sup>1)</sup> · 임흥식<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 항공기술연구원

## Simulation for SEAD Mission with MUM-T

Sungbeom Jo<sup>1)</sup> · Young Mee Choi<sup>1)</sup> · Jihyun Oh<sup>1)</sup> · Hyunsam Myung<sup>1)</sup> · Heungsik Lim<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Aerospace Technology Research Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 13 February 2023 / Revised 22 November 2023 / Accepted 24 November 2023)

### Abstract

In the air power, UAVs have played a large and diversified role in performing missions from simple to high-level complex ones. In particular, the suppression of enemy air defenses(SEAD) is very dangerous for a pilot so it is expected that the manned-unmanned teaming(MUM-T) system with tailless stealthy unmanned aerial vehicle(UAV) will greatly enhance effectiveness of the mission while ensuring the pilot safe. This paper describes simulation studies of remote airborne control(RAC) environment for performing the SEAD mission by MUM-T, by which the air force pilot remotely controls tailless UAVs individually or small UAVs in swarm. Through this simulation, air force pilot can derive the concept of MUM-T mission operation with various UAVs in the future, and it can be used to upgrade the MUM-T system by verifying the effectiveness of the mission.

Key Words : Remote Airborne Control(원격공중통제), Manned-Unmanned Teaming(유·무인 협업), Simulation Environment (모의 환경), Suppression of Enemy Air Defenses(적 방공망 제압)

### 1. 서론

미래 공중 전력에서 무인기의 역할은 단순한 정찰, 감시 임무뿐만 아니라 전자전, 표적지 타격 등과 같은 복잡한 임무 수행도 요구된다. 더욱이 유인기와 협업을 통해 조종사의 안전을 보장하면서 적 대공망에 근접하여 향상된 상황인식과 고도의 자율화 수준을 바

탕으로 임무 효과도를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 지금의 자율화 기술 수준으로 보면 유인기와 무인기 간 협업 문제는 단독으로 무인기만을 운용하는 차원 이상으로 인간의 개입 없이 사용하는 데 있어서 선결되어야 할 과제들이 많다<sup>1,2)</sup>. 특히, 공격용 무인기에 대해서는 윤리적인 문제로 완전한 수준의 자율화 운용을 적용하는 것은 어려운 상태이다. 그러나 조종사와 무인기가 통합된 팀으로써 각 플랫폼이 지닌 장점을 활용하면 무인기는 조종사의 수색, 구조 임무나 탐재된 임무 장비로 목표물 표적을 확보할 수

\* Corresponding author, E-mail: heung0@add.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

있고, 디코이, 전자전 공격, 무장 투하 등의 상당한 조종사 임무를 대체하여 수행이 가능하다. 이때 조종사는 적의 방공망으로부터 떨어져 있어 조종사를 위협에 노출시키지 않고 임무수행이 가능함에 따라 조종사의 생존성을 저해하는 임무 일부를 무인기가 대체하면, 조종사는 생존성을 높이면서 경감된 업무 부하를 더 복잡한 임무 수행에 할당할 수가 있게 된다.

이러한 장점 때문에 주요 선진국에서 앞다투어 유·무인협업 체계를 구축한 사례들이 알려져 있다. 미국에서는 F-16 전투기를 무인기 QF-16으로 개조하여 훈련용 적군기로 사용하였고<sup>[3]</sup>, F-22 Raptor 및 F-35 Lightning II 전투기, 무인기 Kratos XQ-58A Valkyrie와 지상체 데이터링크를 통해 연동하는 데 성공하였다<sup>[4]</sup>. 보잉사와 미 해군은 Block III F/A-18E/F에서 조종사가 태블릿을 이용하여 3대 무인기를 원격으로 제어하는 시연을 최근에 성공하였다<sup>[5]</sup>. 러시아는 SU-57 전투기 조종사가 스텔스 무인기 Okhotnik를 낮은 자율화 수준에서 원격으로 통제 데모를 수행하였다<sup>[6]</sup>. 호주 공군과 보잉사는 ATS(Airpower Teaming System) 무인호위기(Loyal Wingman)를 개발하였다<sup>[7]</sup>. 이와 같이 미국을 비롯한 여러 나라에서는 유·무인 항공전력 협업체계를 고도화하기 위해 다양한 프로그램을 수행하였다.

국내에서는 저피탐 형상 무인항공기의 운용기술 연구 중 하나로써 유인기 조종사가 팀을 이룬 저피탐 무인기를 원격으로 통제하여 유·무인기 협업 기반의 방공제압 임무 운용개념과 절차를 분석하고 정성적 평가를 위한 방법론에 관한 연구를 수행한 바 있다<sup>[8]</sup>.

본 논문에서는 국내 관련 연구결과를 확장하여 향후 군의 유·무인 협업 운용개념 수립과 관련 무기체계 개발을 위하여 지상모의환경과 방공제압 임무를 구체화한 시나리오 기반 모의시연을 수행한 연구 결과를 제시한다.

방공제압 임무(Suppression of Enemy Air Defenses, SEAD)는 적군의 공중방위 지대공 체계를 제압하는 작전을 일컫는 공대지 임무 중의 하나로 이 임무는 전투기가 적군의 공중방위 체계를 먼저 타격하여 이를 파괴하거나 기능을 제한하는 등의 방법으로 적군의 항공 작전을 지원하는 것을 목적으로 하고 있어서 SEAD 임무는 군사 작전에서 매우 중요한 역할을 한다. 공중방위 체계의 파괴나 기능 제한은 적군의 공중 지원 능력을 심각하게 제약하는 결과를 가져올 수 있어 실질적으로 공군의 핵심 임무라 할 수 있으며, 이

에 본 연구의 항공작전 임무 대상으로 고려하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 공군 전문가의 의견을 통해 유·무인기의 역할 분석 및 임무 적합도 평가를 수행하여 유·무인 협업 운용개념을 정의하고, 유인 전투기급에서 원격으로 무인기를 통제하며 공대지 SEAD 임무의 한 예를 수행하는 시나리오를 수립하였다. 3장에서는 국내 최초로 지상에서 유·무인 협업 기능을 검증할 수 있는 원격공중통제(RAC, Remote Airborne Control) 지상모의환경을 2단계에 걸쳐 구축한 내용을 기술하였다. 4장에서는 지상모의환경을 이용한 유·무인 협업 시험 수행 내용을 소개하였다. 1단계로써 유인기의 조종사가 원격으로 무인기를 공중에서 통제하여 4대의 저피탐 무인기를 공대지 무장, 감시/정찰 임무 할당으로 적의 타격지점을 확인하고, 공대지 무장발사를 통해 적의 타격지점을 제거하는 SEAD 임무 일례를 모의하였다. 2단계에서는 6대의 소형 무인기를 그룹으로 임무를 할당하고, 감시/정찰 그룹을 통해 확인된 적의 타격지점을 자폭형 무인기 그룹에 임무부여를 통해 타격지점을 제거하는 시나리오를 적용하는 모의시험을 수행하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술하였다.

## 2. 유·무인 협업 SEAD 임무 운용개념

유·무인 협업 SEAD 임무 시나리오는 항공기의 성능지표 설계, SEAD 세부 임무 절차분석 및 평가지표를 기반으로 전문가의 설문 평가를 통해 임무 적합도 평가 결과를 반영하여 도출하였다.

SEAD 임무를 수행하기 위한 유·무인 전투기 편대로서 유인 전투기는 F-16E/F급<sup>[9]</sup>, 스텔스 무인전투기는 X-47B급<sup>[10]</sup>으로 선정하고, 기체 성능 및 탑재 기능, 임무의 특징 및 성격을 반영하기 위하여 Table 1과 같이 성능 항목을 구성하고, 유·무인 전투기 별 성능 지표를 Table 2와 같이 적용하여 임무 적합도 평가표를 설계하였다<sup>[8]</sup>. SEAD 임무의 세부 임무 단계에 대한 성능 지표별 가중치( $J$ )는 전직 공군 조종사의 설문을 통해 0 ~ 3에서 선택하도록 하고, Table 3과 같이 가중치가 반영된 임무 적합도 평가 결과를 도출하였다.

SEAD 임무는 아군의 항공 작전을 성공적으로 수행할 수 있도록 적의 지대공 방공 무기 및 지휘 통제 체계를 무력화 또는 파괴하는 것을 목표로 공대지 무장 사용 및 전자전 임무를 수행하는 공세 제공 작전

Table 1. Performance Evaluation Item

Performance Evaluation Item	
Aircraft Performance	(PEI-01) Max. Armament
	(PEI-02) Max. Speed
	(PEI-03) Max. G
	(PEI-04) Max. Range
	(PEI-05) RCS(Stealth)
Mounted Equipment Performance	(PEI-06) Max. Detection Range(Radar)
	(PEI-07) EW(Electronic Warfare)
	(PEI-08) Jamming
	(PEI-09) HARM
	(PEI-10) Jamming Robustness(C2)
	(PEI-11) Identification of Friend or Foe (IFF)
	(PEI-12) Level of Situational Response to Mission Level(Autonomy) - Manned Fighter : Top Score - UCAV : Full Autonomy

의한 임무 형태이다. 방공망 제압을 위해 적 기지에 침투하여 공대지 무장 사용 및 전자전 임무를 수행해야 하므로 기체 성능과 탑재장비 성능을 임무 특성 및 요구 기능으로 선정하고, 접근/탐지-대응(제압)-대응(교란)-임무평가 단계로 임무 완수를 위한 임무 요소로 구성하였다. 임무 적합도 평가 수행 결과 Table 3과 같이 임무 단계별로 Manned와 Unmanned의 점수를 비교하여 더 높은 쪽이 적합한 전투기라고 판단하였다<sup>[11]</sup>.

임무 적합도 평가를 통해 도출한 정량적 결과를 바탕으로 유·무인 협업 운용 및 임무단계별 중요 성능에 대한 정성적 의견을 수렴하여 유·무인 협업 SEAD 임무 시나리오의 일례를 구체화하였다. Fig. 1에서 유·무인 협업의 편대 구성은 정찰형 무인전투기 2대와 무장 캐리어 역할을 할 수 있는 공격형 무인전투기 2대를 유인전투기와 함께 구성하고, 무인전투기는 유인전투기로부터 공중에서 원격으로 통제를 받는 SEAD 임무 수행 운용개념을 설정하였다.

미래에 유·무인 협업 SEAD 임무 고도화를 위해서는 무인 전투기에 자율화 성능이 필요하다. 미 공군 연구소(AFRL, Air Force Research Laboratory)에서 정의한 자율화 수준(ACL, Autonomy Control Level)<sup>[12]</sup> 기준으로 무인 전투기에 필요한 자율화 성능은 최적화된

Table 2. SEAD Mission Suitability Assessment Table

Mission Phase	Manned/Unmanned Fighter Mission Suitability Assessment												
	Aircraft Performance						Mounted Equipment Performance						
	(PEI-01)	(PEI-02)	(PEI-03)	(PEI-04)	(PEI-05)	(PEI-06)	(PEI-07)	(PEI-08)	(PEI-09)	(PEI-10)	(PEI-11)	(PEI-12)	
Enroute/ISR <sup>1)</sup>	I	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	a <sub>1</sub>	2	1	2	1	-2	1	-1	1	2	0	2	2
	a <sub>2</sub>	1	1	-1	1	2	1	1	1	1	0	1	2
Attack-Suppression	I	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	a <sub>1</sub>	2	1	2	1	-2	1	-1	1	2	0	2	2
	a <sub>2</sub>	1	1	-1	1	2	1	1	1	1	0	1	2
Attack-Deception	I	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	a <sub>1</sub>	2	1	2	1	-2	1	-1	1	2	0	2	2
	a <sub>2</sub>	1	1	-1	1	2	1	1	1	1	0	1	2
BDA <sup>2)</sup>	I	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w	w
	a <sub>1</sub>	2	1	2	1	-2	1	-1	1	2	0	2	2
	a <sub>2</sub>	1	1	-1	1	2	1	1	1	1	0	1	2

I : Weight, a<sub>1</sub> : Manned, a<sub>2</sub> : Unmanned

<sup>1)</sup>ISR : Intelligence, Surveillance and Reconnaissance  
<sup>2)</sup>BDA : Battle Damage Assessment

Weight(I, w)  
 • 0 : Unnecessary Functions  
 • 1 : Useful Functions  
 • 2 : Functions that should be retained whenever possible  
 • 3 : Essential Functions

Table 3. Result of Mission Suitability Assessment

Mission Phase	Total Score of Evaluation (Manned/Unmanned)	Suitable Fighter
Enroute/ISR	131/ <u>144</u>	Unmanned
Attack-Suppression	<u>142</u> /124	Manned
Attack-Deception	<u>117</u> / <u>115</u>	Manned, Unmanned
BDA	95/ <u>112</u>	Unmanned

경로를 생성할 수 있는 ACL-5 이상이 되어야 하며, 기만 및 공격 임무 수행을 할 수 있도록 임무 계획 및 실행을 자율적으로 결정할 수 있는 ACL-7 이상의 자율화 성능이 요구될 것으로 예상된다.

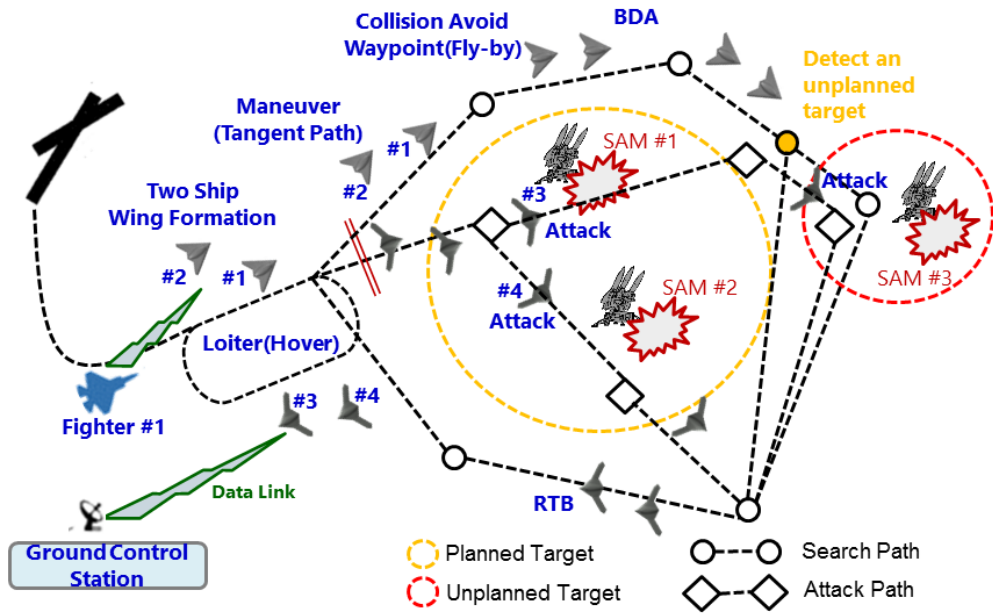
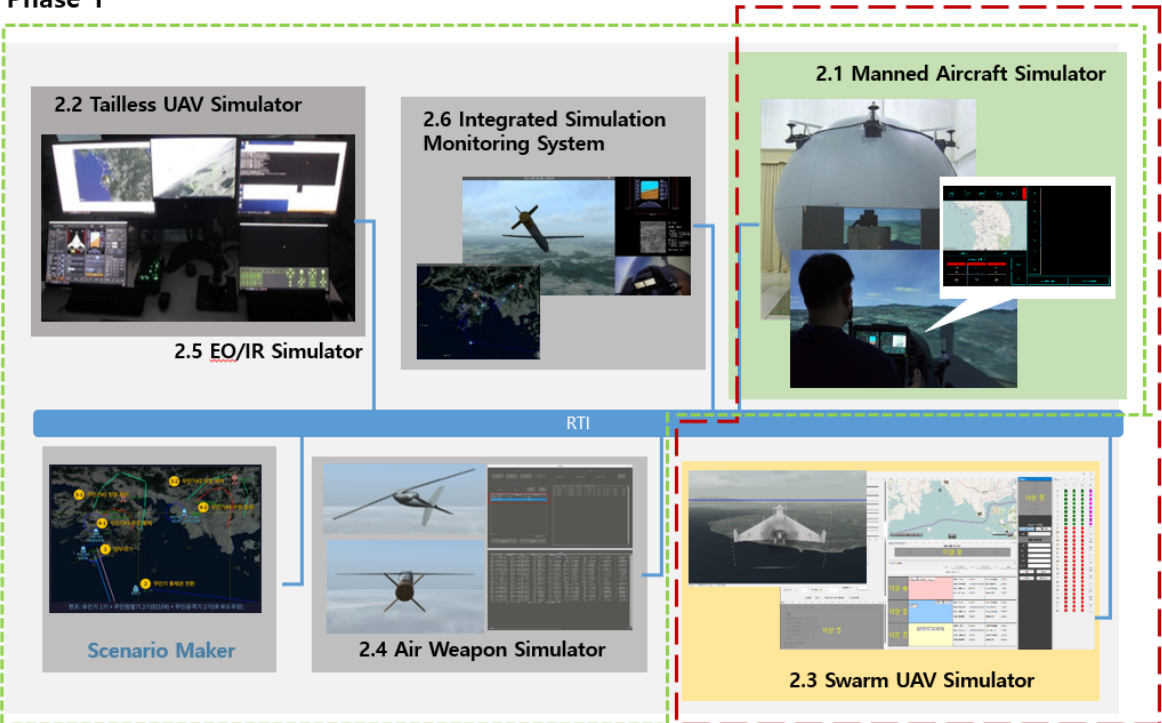


Fig. 1. Manned-Unmanned Teaming SEAD Mission

Phase 1



Phase 2

Fig. 2. RAC Environment

### 3. RAC 모의 환경 구축

Fig. 2에서 RAC 모의시연환경은 유·무인 협업 운용개념을 토대로 생성된 시나리오를 조종사가 원격에서 무인기를 통제하며 효과적으로 협업하여 임무 수행이 가능한지 여부를 검증하는 것을 목적으로 구축되었다.

1단계 모의환경 구성은 다음과 같은데 조종사의 전투기 조종을 모사하는 풀돔(Full-Dome) 형태의 유인기 시뮬레이터, 스텔스 무인기를 모사하는 저피탐 무인기 시뮬레이터, 공대지 항공무장을 모사하는 항공무장 시뮬레이터, 무인기 및 무장정보를 통합적으로 보여주는 통합 모니터링 시스템, 표적 및 시나리오 임무지역 등을 설정, 모사하는 시나리오 설정도구 등으로 구성되어 있다. 각 시뮬레이터는 분산 시뮬레이션 연동 표준인 HLA(High Level Architecture)/RTI(Runtime Infrastructure)를 기반으로 연동 통합되었다<sup>[13,14]</sup>. 2단계 모의환경은 1단계 모의환경을 기반으로 군집무인기 시뮬레이터를 연동하는 것으로써, 유인기 시뮬레이터 내부에 통제 화면을 추가하여 조종사가 다수 무인기를 그룹화하고, 그룹화된 군집 무인기에게 정찰 또는 탐지 업무를 명령할 수 있다. 타격지점으로 확인되는 경우 조종사는 공격 임무를 부여하여 무인기가 타격지점으로 자폭하도록 하는 기능을 업데이트하였다<sup>[15]</sup>.

#### 3.1 유인기 시뮬레이터(Manned Aircraft Simulator)

유인기 시뮬레이터는 고등훈련기 탐색개발형상 전투기급 항공기의 6자유도 모델과 제어법칙이 탑재되어



Fig. 3. Manned Flight

있다. 직경 16 ft, 시야각 120° × 150°의 돔에 Rockwell Collins 사의 EP-8000 영상 생성기에서 생성된 외부 영상이 조사된다. 내부에는 12.1인치 터치 모니터 2대로 구성된 계기시현장치와 단좌 조종석으로 구성되어 있다. 실시간 비행모델 시연 및 개발 통합 환경을 제공하고, 입출력 인터페이스 구동 드라이브 기능이 있으며 비행모델 선택, 연동 분리, 공항 선택, 데이터 로깅 및 재현 기능을 가지고 있다. Fig. 3은 조종석에서 전투기의 비행 통제와 레이더 탐지 화면이다.

#### 3.2 무미익 무인기 시뮬레이터(Tailless UAV Simulator)

무미익 무인기 시뮬레이터는 비행체 모의 모델과 무인기를 통제할 수 있는 지상통제시스템(GCS, Ground Control System)으로 구성되어 있다. 탑재된 무인기 모델은 Fig. 4와 같이 적의 레이더를 회피할 수 있는 저피탐(RCS, Radar Cross Section) 형상으로써 저피탐 비행체는 전방위각에 대한 레이더 탐지에 가장 큰 영향을 주는 미익을 없애는 형상이 일반적이다. 이런 형상의 특징으로 인해 횡/방향축에 대해 정적 불안정성(Statically Unstable)을 내재하고 있어 역요(Reverse Yaw), 실속 회복(Stall Recovery) 기능이 떨어진다. 일정 받음각 이상이 되면 종축이 발산하는 피치 브레이크 현상이 발생하여 조종성과 안정성 확보를 위한 제어기 설계가 쉽지 않은 어려움이 있다. 본 연구에서 비선형 적응제어 방식을 적용하여 비행제어법칙을 설계하여 축소기를 활용한 비행시험을 통해 개발된 형상이 비행성(Flying Quality) Level 2 이상을 만족함을 확인하였다<sup>[16]</sup>.



Fig. 4. Configuration of Tailless UAV

#### 3.3 군집무인기 시뮬레이터(Swarm UAV Simulator)

군집무인기 시뮬레이터는 군집 비행제어 알고리즘에 기반하여 무인기의 군집운용을 모의할 수 있는 시뮬레이터이다. 본 연구에서는 군집무인기를 최대 3개의 그룹으로 구분하여 운용할 수 있으며, 각 그룹 단

위로 임무를 지정, 변경하고 명령을 인가하도록 하였다. 군집으로 수행하는 임무의 형태는 기존의 4가지 비행 형태(군집 선회 비행, 근거리 집결비행, 두 점간 왕복하는 경로비행, 개별 대기 비행)에 더하여 목표물에 대응하는 종말유도 비행을 추가하였다. 표적 탐지 기능 모의는 전파를 방사한다고 가정된 표적과의 상대 거리와 상대 시야각 이내인 경우 탐지되는 것으로 모의하였다. 무인기를 유인기에서 원격으로 통제하기 위한 절차 및 기능을 모의하는 관점에서 군집무인기 지상통제시스템과 유인기 간에 통제권이 이양될 수 있도록 하였다. Fig. 5에서는 조종석에서 군집 그룹을 선택하고 임무를 부여할 수 있도록 제어하는 통제화면이다.

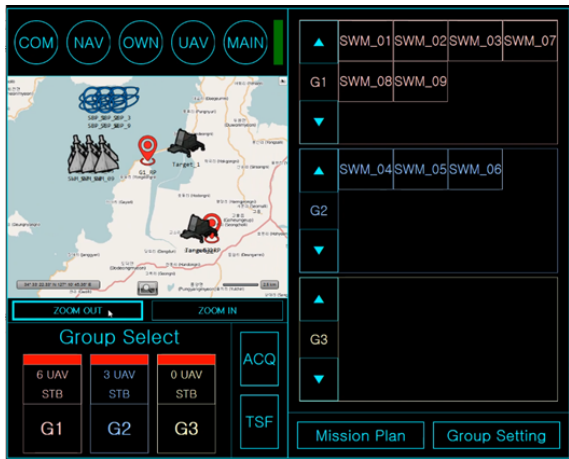


Fig. 5. Swarm Control

### 3.4 항공무장 시뮬레이터(Air Weapon Simulator)

항공무장 시뮬레이터는 무장 유도법칙을 기반으로 2종의 항공무장을 모의할 수 있으며, 단독 운용과 유/무인기 연동 운용이 가능하다. 통합 시뮬레이션 모니터링 시스템을 통하여 개체가 도시된다. Fig. 6은 유인기에서 조종사가 무장을 제어하는 통제화면이다.

### 3.5 영상모의장치(EO/IR Simulator)

영상모의장치에서는 비행체 또는 무장의 비행 및 EO/IR 센서 영상 모의가 가능하도록 개발하였다. EO/IR 영상은 상용으로 판매되고 있는 MAK사의 VR-Vantage SensorFX 및 VR-Forces에서 제공하는 기능을 활용하여 모의하였다. Fig. 7은 EO/IR 통제 화면이다.

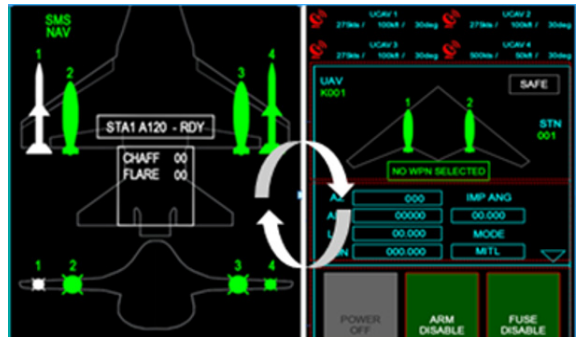


Fig. 6. Weapon Control

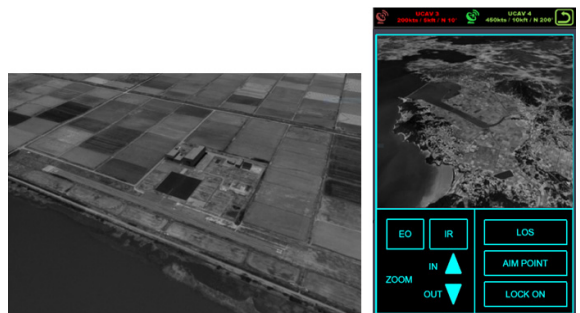


Fig. 7. EO/IR Control

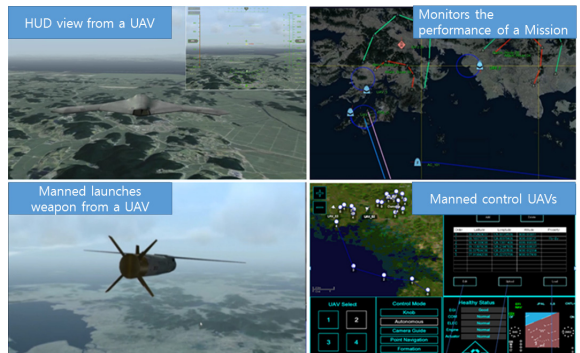


Fig. 8. Integrated Monitoring

### 3.6 통합 시뮬레이션 모니터링 시스템(Integrated Simulation Monitoring System)

통합 시뮬레이션 모니터링 시스템은 Fig. 8과 같이 유인기, 저피탐 무인기, 항공무장 시뮬레이터 기반의 유/무인 협업 운용 상황을 시현하는 장치로써, 상용가시화 도구인 MAK사의 VR-Vantage를 기반으로 2D 및 3D 시뮬레이션 상황 도시, 유인기(폴덤), 저피탐 무인기, 무장 객체 및 IR 영상 도시 기능 등이 있다.

82인치 대화면에 객체들의 목록, 항적, 상태정보가 전시되며, 2차원 항적 또는 3차원 영상을 선택할 수 있다. 무장의 IR 영상을 동시에 전시하며, 폴돔 내에 설치된 CCTV가 연동되어 있어서 유인기 조종사의 계기운용을 모니터링할 수 있도록 하여, 원격공중통제 시연 수행 내용을 전체적으로 확인할 수 있다.

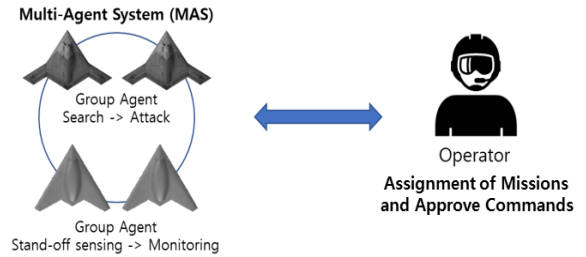


Fig. 9. Mission Teaming

#### 4. 모의 시연

RAC 환경이 2단계에 걸쳐 업그레이드를 수행하였기 때문에 모의시연 역시 2단계에 걸쳐 수행하였다. 1 단계에서는 원격공중통제 기본 기능에 해당하는 유인기 조종사에 의한 무인기 제어권 전환, 원격공중통제를 이용한 무인기 경로 제어, 적 타격지점을 정찰하기 위한 EO/IR 임무장비 운용, 공대지 무장을 통제하는 기능의 4가지 항목을 검증하기 위한 SEAD 임무 시나리오를 수립하였으며, 총 4회 시연을 수행하였다. 2 단계에서는 다수 무인기를 그룹화하고 감시와 공격이라는 임무를 군집 무인기에 할당함으로써 SEAD 임무 모의시연을 수행하였다.

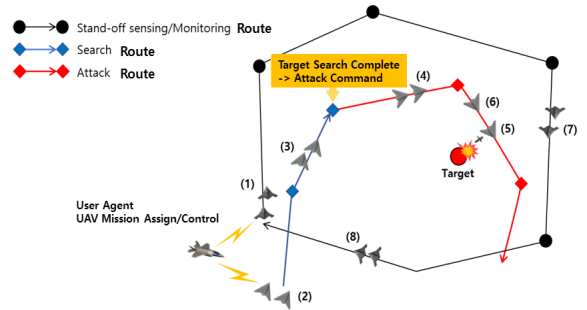


Fig. 10. Mission Scenario

##### 4.1 1단계 시연 및 고찰

1단계 시연에서는 Fig. 9과 같이 유·무인 협업 구성 편조는 1대 유인기에서 조종사가 4대 원격공중통제 무인기 운영하는 것으로 2대는 탐색-공격, 나머지 2대는 정찰-감시 임무를 부여하였다. 이를 위해서 무인기는 정찰용 EO/IR 임무 장비와 공대지 무장을 탑재하고, 유인 조종사의 공격 허가 시 표적 타격 및 표적 피해 평가 수행하는 것으로 4가지 항목에 대해 임무 시나리오를 작성하였으며, 이를 기반으로 실시간 모의시연을 수행하였다<sup>[13,14]</sup>.

Fig. 10에서 임무 시나리오는 다음과 같다.

- (1) Group Stand off sensing Agent : 장거리 센서를 이용한 탐색 영역 스캔
- (2) Group Search Agent : 획득한 정보 기반 경로 생성
- (3) Group Search Agent : 표적 탐색 임무 수행
- (4) Group Attack Agent : 표적 추적
- (5) Group Attack Agent : 타격 임무
- (6) Group Attack Agent : 타격 후 표적 이미지 수집
- (7) Group Monitor Target Agent : 표적 모니터링
- (8) Group Monitor Target Agent : 임무 결과 피드

모의시연은 Fig. 11에서 협업 시나리오(Run Card)에 따라 무인기, 지상체, 유인기별 비행준비 단계, 자동이륙 단계, 임무준비단계, 정찰임무단계, 공격임무단계, 귀환/자동착륙단계 상태에 따라 운용자가 시뮬레이터를 운용하여 다음 4가지 시연을 수행하였다. Fig. 12는 전체 시연 시나리오를 지도상에 간략히 보여주고 있다.

- (1) 무인기 통제권의 유인기 전환 시연
- (2) 원격공중통제를 이용한 유인기의 무인기의 경로 제어 시연
- (3) 원격공중통제를 통한 유인기의 정찰 무인기 EO/IR 운용 시연
- (4) 원격공중통제를 통한 유인기의 공격 무인기 무장 통제 시연

1단계 시연은 원격공중통제 시뮬레이터의 기능 및 운용성을 확인하는 것으로써, Fig. 11의 시나리오를 여러 차례 반복 시연하며 시뮬레이터의 검증(Verification and Validation)을 함께 수행하는 방식으로 이루어졌다. 개발을 목표로 한 원격공중통제 시뮬레이터의 세부 구성품 단위로 상세 요구사항을 식별하여 기능 점검

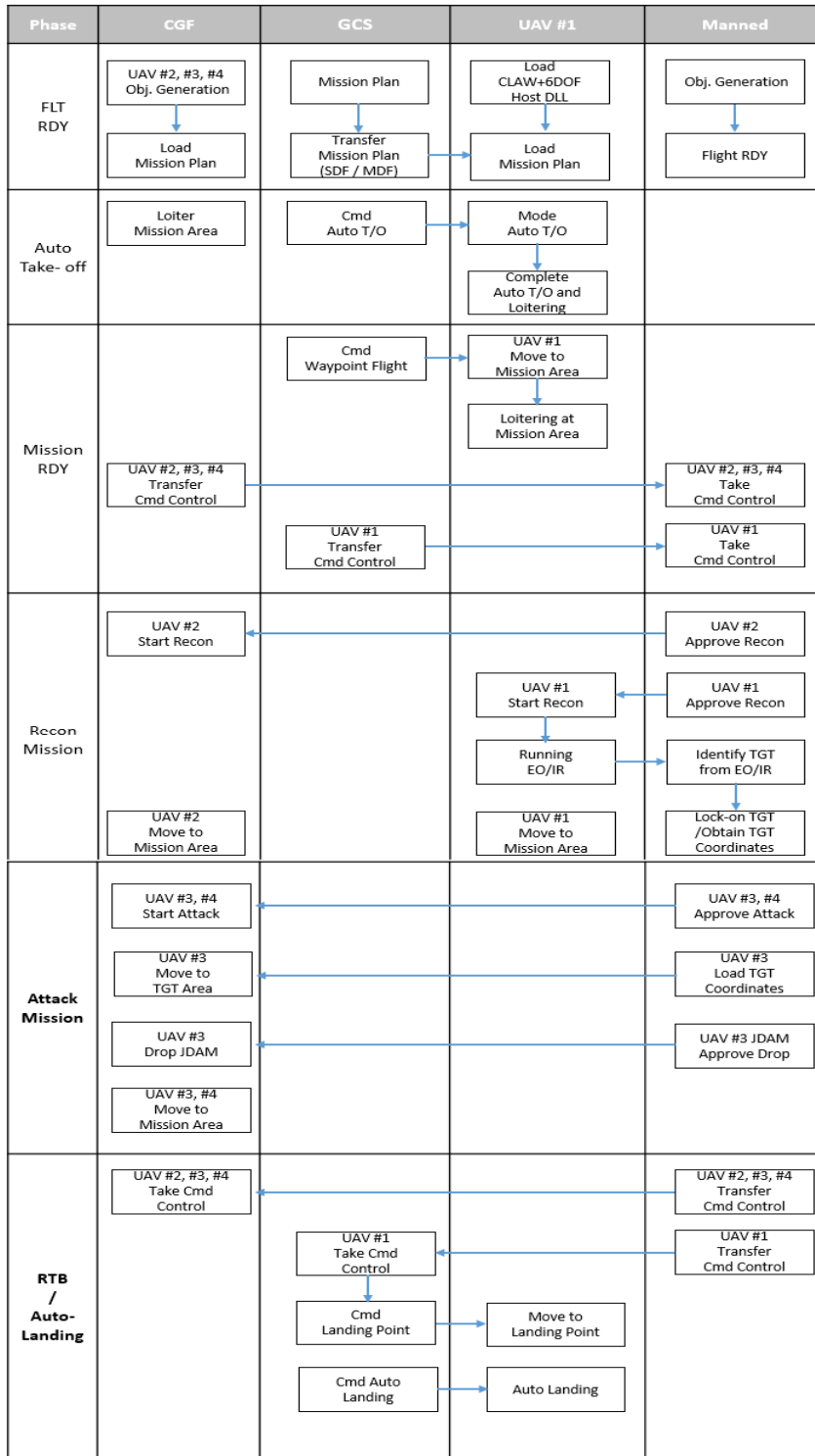


Fig. 11. Scenario(Run-Card)



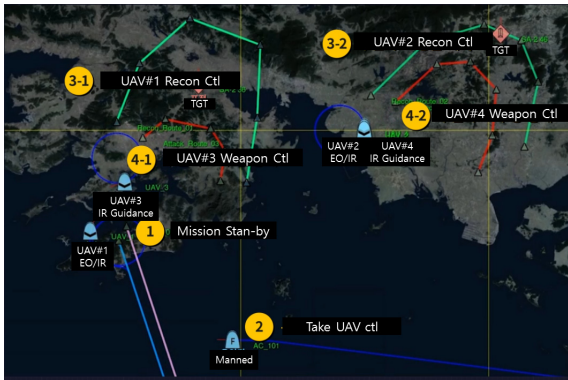


Fig. 12. Manned A/C controls 4 UAVs

원격공중통제 시뮬레이터 기능 점검표

번호	구분	항목	시험결과	요구사항 식별지
1		Host 기상상황 설정	Pass	T-A-SFR-001
2		영상 해상기차 연동	보완 후 Pass	T-A-SFR-002
3		영상 해상기차 연동	Pass	
4		영상 해상기차 연동	Pass	
5		영상 해상기차 연동	Pass	
6		영상 해상기차 연동	Pass	
7	Host 소프트웨어 개발	조종석과 연동	Pass	T-A-SFR-003
8		6 자유도 모뎀 개발	Pass	T-A-SFR-004
9		VR-Force 연동	Pass	T-A-SFR-005
10		조종 입력장치 연동	Pass	T-A-SFR-006
11		Sound 연동	Pass	T-A-SFR-007
12		운용 환경 - OS 연동	Pass	T-A-ECRR-001
13		비행정보 도시	Pass	T-A-SFR-008
14		레이더 운용 정보지 개발	Pass	T-A-SFR-009
15		무인기 운용 정보지 개발	보완 후 Pass	T-A-SFR-010
16	계기 시현 시스템 개발	무인기 임무제어 표시기 개발	Pass	T-A-SFR-011
17		무인기 레이더 통합 운용 가능 개발	Pass	T-A-SFR-012
18		무인기 탑재 무장 통합 운용 가능 개발	Pass	T-A-SFR-013
19		무인기 탑재 임무정보 운용 가능 개발	Pass	T-A-SFR-014
20		운용 환경 - 계기시현 S/W를 운용할 PC 설정	Pass	T-A-ECRR-002
21	항공무장 3D 그래픽 이미지 모뎀 개발	무장 모뎀 개발 및 Moving Part 동작 제어	Pass	T-B-SFR-001
22		영상 환경에 탑재 및 연동	Pass	T-B-SFR-002
23		항공무장 3D 그래픽 이미지 모뎀 개발	Pass	T-B-ECRR-001
24		항공무장 탄두 시뮬레이션 수행 가능	Pass	T-B-SFR-003
25	항공무장 비행정보 모뎀 소프트웨어 개발	항공무장 탄두 시뮬레이션 수행 가능 - GUI 구성	Pass	T-B-SFR-004
26		RTI 연동	보완 후 Pass	T-B-SFR-005
27		관공 비행 운용모뎀 실시간 연상추진 가능	Pass	T-B-SFR-006
28		운용 환경 - 항공무장 시뮬레이터를 운용할 PC 제공	Pass	T-B-ECRR-002
29	항공무장 탑재 IR Seeker 영상 모의	IR Seeker의 워드모드 motion 모의 가능	Pass	T-B-SFR-007
30		IR Seeker 영상 생성	Pass	T-B-SFR-008
31		표적 지척 IR 영상 생성	보완 후 Pass	T-B-ECRR-003
32		운용 환경 - IR Seeker 영상 생성을 위한 계공	Pass	T-B-ECRR-004
33		격침의 상황 정보 도시	Pass	T-C-SFR-001
34		격침 환경 도시	Pass	T-C-SFR-002
35	격침연동 복합공중 임무 상황 모의된 워 소프트웨어 개발	Zoom In / Out 기능	Pass	T-C-SFR-003
36		격침 정보 도시	Pass	T-C-SFR-004
37		시정 제어	Pass	T-C-SFR-005
38		열외 유도 설정 가능	Pass	T-C-SFR-006
39	모의탄형 영상장치 구현	운용환경 - 82식형 모의탄	Pass	T-C-ECRR-001
40		운용환경 - 복합공중 임무 상황 모의탄형 화면 전시 확인	Pass	T-C-ECRR-002
41	조종입력장치 조종석 장착	조종입력장치 그래픽 장착	Pass	T-D-ECRR-001
42		무인기 조종입력 신호를 무인기 호스트와 연동	Pass	T-D-SFR-001
43	조종입력장치 제어 시스템/Host 통신 소프트웨어 개발	무인기 조종입력 신호를 무인기 호스트와 연동	Pass	T-D-SFR-002
44		스위치 신호 연동	Pass	T-D-SFR-003
45		조종 정보 신호 연동	재확인 후 Pass	T-D-SFR-004
46	프로젝션 장착 및 연동	프로젝션 장착 및 연동	Pass	T-E-ECRR-001
47	영상 환경에 연동 및 영상 도킹 및 보정	영상 환경에 연동 및 영상 도킹 및 보정	Pass	T-E-ECRR-002
48	무인기 비행상황 평가용 조종석 외부 이음식 구조물 교체	조종석 외부 이음식 구조물 교체	Pass	T-E-ECRR-003
49	Full-Scene simulator	HUD 연동	Pass	-
50	원격공중통제 장인	운용실 및 연동	Pass	-
51	계기 시현 시스템 개발	비행정보 종료 시 제어권 반환	Pass	-
52		조종석과 연동	Pass	-

Fig. 13. Simulator Function Check-up Table

표(Fig. 13)를 작성하였다. 주요 보완 사항들로는 연동 신호의 연동 및 해상도, 무장 운용 절차 상세화, 무인기 비정상 종료 시 제어권 반환 등과 관련한 점검 항목이 식별되었다. 무장 운용 절차는 시나리오 운용 시 통제 화면 운용 절차를 보완하였고, 그 외에는 관련 모의 소프트웨어를 수정함으로써 보완하였다. 시나리오 기반 운용성 측면에서는 먼저 무인기 단독 모의시험을 통해, 무인기 시뮬레이터 단독 운용으로 무인기의 이/착륙 및 임무 수행을 위한 단독 지상 통제 기능을 검증하였다. 유·무인 복합 임무 시나리오에서도 유인기에서 무인기의 무장 및 비행 모드 등을 제어함으로써 유인기의 임무를 보조하여 유인기의 위험도 감소와 무인기의 임무 능력 향상을 동시에 달성할 수 있음을 확인하였다. 이 과정에서 무인기 단독 운용 시뮬레이터 개발에서 고려하기 힘든 이슈 사항들을 추가로 식별할 수 있었는데 주요 사항은 다음과 같다. 공중 무인기 통제장치를 통해 유인기 조종석에서 조종사가 비행통제와 동시에 무인기 통제를 수행하므로 지상 통제 운용자에 비하여 매우 제한된 통제 화면이 제공된 상태에서 비행 중 통제화면 조작이 필요하다. 따라서 통제 화면의 시인성 확보와 통제 편의성이 매우 중요하게 된다. 또한 과도한 정보를 주기 보다는 임무의 중요성과 우선순위를 고려한 정제된 통제 기능 제공이 매우 중요한 것으로 식별되었다. 또한 지상 운용자와 달리 비행통제 시 기상 상태에 영향을 받을 수 있으므로 이에 대한 고려도 필요하다. 한편 기상 등 다양한 이유로 통신 두절 시 무인기의 통제권 관리 방안이 필요함을 식별할 수 있었다.

4.2 2단계 시연 및 고찰

2단계 시연에서 탐지/정찰과 자폭 기능이 결합된 군집무인기가 공중에서 발사하여 임무별 그룹으로 지정되어 탐지/정찰을 수행하면서 표적을 확보하면 종말유도 명령에 따라 표적을 공격하는 임무를 수행하는 시나리오를 설정하였다<sup>15)</sup>.

Fig. 14 1번에서는 군집무인기 공중 투하 및 대기 전개된 후 공중에서 대기하고 있다. Fig. 14 2번에서는 통제권 변경(지상→유인기)하고, 그룹으로 분리 후 종말유도 임무 및 정찰 임무를 할당한다. 군집 무인기 통제권을 이양 받은 유인기 조종사는 예상지역의 표적 탐지를 위해 군집 무인기 그룹1을 설정한다. 유인기 조종사는 그룹1로 지정된 군집무인기들이 예상지역의 근거리 정찰 임무를 통해 표적(A)을 탐지하도록

1. Swarm UAVs from the air perform standby as Group 1

2. Control Change(GCS → Manned)  
Manned divides swarm UAVs into two groups. Group 1 is loitering mission, and Group 2 is surveillance mission

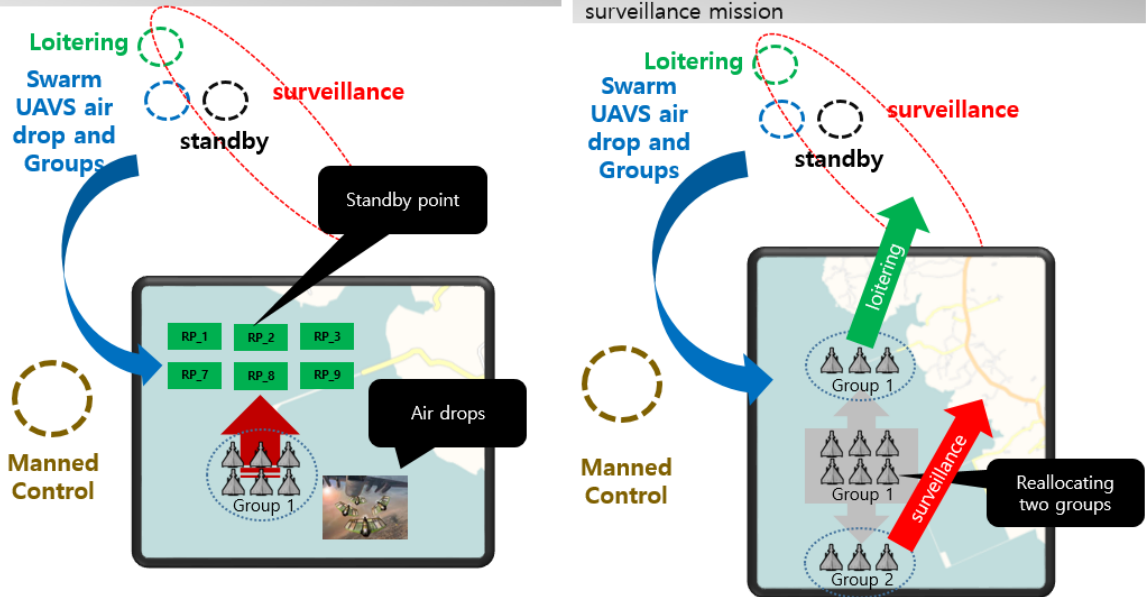


Fig. 14. Manned A/C and Unmanned Swarm Collaboration Scenario(1 of 3)

3. Group 1 detects target(A) and provides attack validity.  
Manned commands to perform loitering mission.

4. Target detection UAVs hit the target(A), the others continue loitering mission.  
After Manned checks to eliminate the target(A), Commands to perform standby mission.

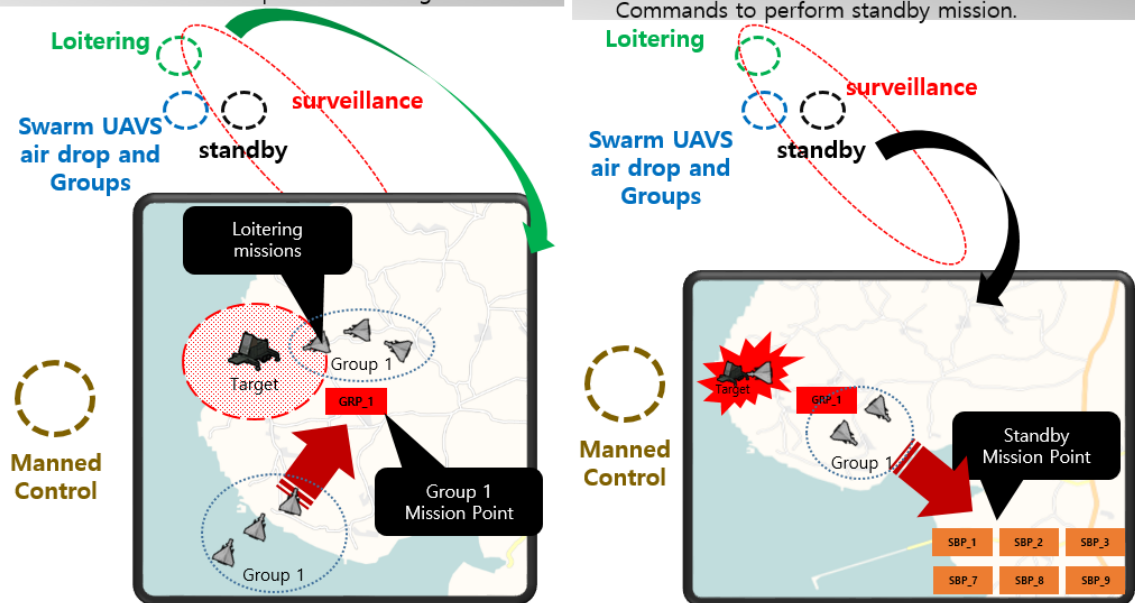


Fig. 15. Manned A/C and Unmanned Swarm Collaboration Scenario(2 of 3)

5. Group2 detects new target(B) during surveillance. Manned commands to perform loitering mission. Target detection UAVs hit the target(B), the others continue loitering mission.

6. After Manned checks to eliminate target(B), commands to return to Group2 and perform standby flight while returning to Group1

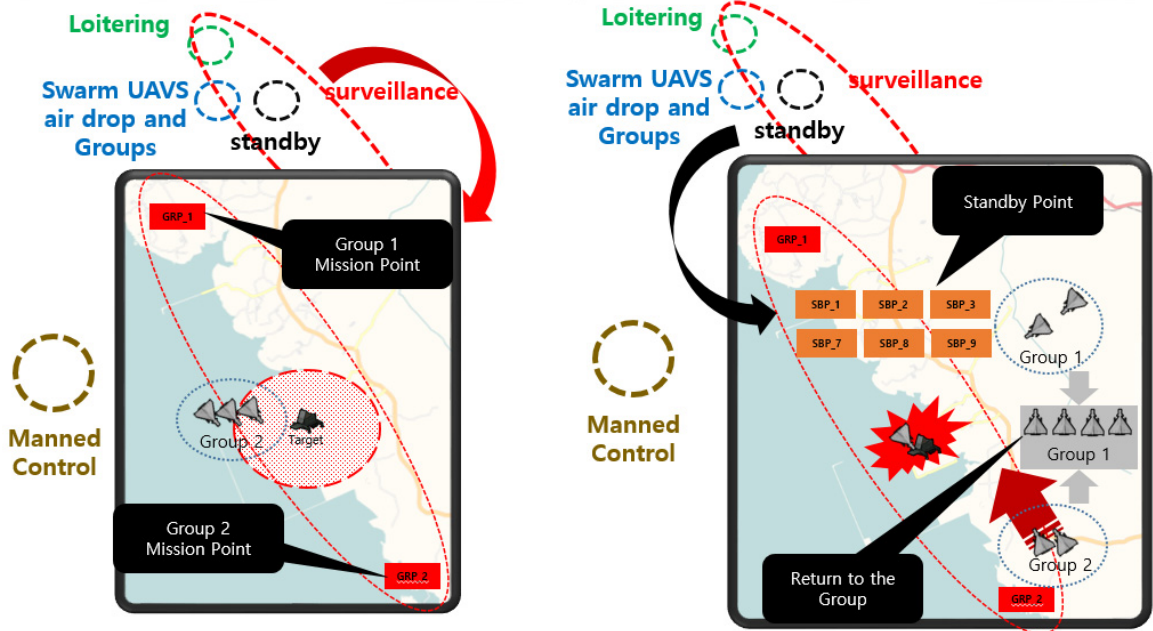


Fig. 16. Manned A/C and Unmanned Swarm Collaboration Scenario(3 of 3)

하고, 인근지역에 대한 정찰 임무를 부여하기 위해 일부 무인기를 그룹2로 지정하여 임무를 재할당한다.

Fig. 15 3번에서 그룹1이 표적(A)을 탐지하여 종말 유도 가능 여부를 표시하면, 유인기 조종사는 종말 유도 명령을 인가한다. Fig. 15 4번에서 표적(A)을 식별한 무인기는 종말유도 비행, 미식별 무인기는 임무 비행을 지속하고, 유인기에서 표적(A) 제거 확인 후 대기 임무를 인가한다.

Fig. 16 5번에서 그룹2가 정찰 임무 중 새로운 표적(B)을 탐지하면, 유인기 조종사는 종말유도 명령을 인가, 표적(B)을 탐지한 무인기는 종말유도, 미탐지 무인기는 임무비행을 지속한다. Fig. 16 6번에서 그룹2가 표적(B) 제거가 확인되면, 유인기 조종사는 그룹2에 그룹 복귀를 인가하고, 그룹2가 그룹1에 복귀하며 대기 비행을 수행하도록 명령한다.

군집무인기를 원격공중통제 화면을 통해 다수 무인기를 그룹화하고 그룹별로 임무를 할당하여 표적을 확보하게 되면 자폭하도록 설정받은 그룹이 표적을 공격하는 시나리오대로 잘 운용되고 있음을 확인할

수 있었다.

한편 다수 무인기의 통제를 위해 1단계 개발 결과의 시사점을 반영하여 직관적이고 간략화된 인터페이스로 시인성과 운용성을 높여 조종사의 업무 부하를 줄이고자 노력하였다. 그러나 현재의 환경은 유인기 시뮬레이터가 단좌로 제한되어 있어, 조종사가 비행을 통제하면서 무인기들을 운용하는데 상당한 부하가 가해질 수밖에 없음을 알 수 있었다. 따라서 복좌 개념으로 조종사와 운용사로 이원화된 운용이 필요한 것으로 확인이 되었다.

본 연구에서는 무인기의 자율 의사결정, 데이터링크 제한과 지상 위협 등은 저자의 연구 범위의 제한으로 고려되지 않았기 때문에 향후 관련 연구 시에는 이에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

## 5. 결론

공군 전문가의 의견을 통해 유·무인기의 역할 분석

및 임무 적합도 평가를 수행하여 유·무인 협업 운용 개념을 정의하고, 유인 전투기급에서 원격으로 무인기를 통제하며 공대지 SEAD 임무를 수행하는 시나리오를 수립하고, 임무장비, 공대지 무장, 저피탐형상 무인기를 통합하여 유·무인 협업 기능을 검증할 수 있는 RAC 지상모의환경을 2단계에 걸쳐 구축하여 지대공 임무 SEAD 임무 시나리오를 적용하는 모의시험을 시연하였다. 이 결과를 바탕으로 군에서 요구하는 다양한 유·무인 협업운용 개념을 적용하는 무기체계 개발에 활용할 수 있음을 확인하였다. 단, 지상 위협이나 데이터링크 제한에 의한 영향 등은 고려되지 않았으므로, 본 연구는 공중 통제 개념의 가능성과 무인기의 운용성을 고찰하기 위한 것으로 보는 것이 타당하다.

앞으로 RAC 모의시연환경은 군 운용개념의 확장에 따라 지속적으로 업그레이드가 필요할 것으로 예상하며, 특히 본 연구소에서 운용 중인 돔 시뮬레이터는 물리적으로 1인 조종 좌석으로 구축되어 있어, 조종사의 업무 과부하가 발생할 수 있으므로 무인기 자율화 수준의 향상과 함께 조종사 이외의 운용사가 무인기를 운용 통제하는 복좌 유인기 형태로 운용할 필요성을 확인하였다.

## 후 기

이 논문은 2021년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임(UI912537501).

## References

[1] Ethics and autonomous weapon systems: An ethical basis for human control?, International Committee of the Red Cross (ICRC), Apr, 2018.

[2] D. Amoroso, G. Tamburrini, Autonomous Weapons Systems and Meaningful Human Control: Ethical and Legal Issues, Current Robotics Reports, August, 2020.

[3] US Air Force, "QF-16 Full-Scale Aerial Target (FSAT)," FY16 AIR FORCE PROGRAM, 2016.

[4] P. Host, "Update: Lockheed Martin, Pentagon establish bi-directional communications between fifth-

generation aircraft, ground units," Jane's International Defence Review, May 2011.

[5] "Boeing, US Navy Conduct Joint Test of F/A-18 Controlling 3 UAVs," <https://www.flightglobal.com/featured/f/a-18-controls-three-unmanned-air-vehicles-in-us-navy-demonstration/149406.article>, 액세스 날짜: 2023년 3월 28일.

[6] G. Jennings, "Russia flies MUM-T trial with Okhotnik UAV and Su-57 fighter," Jane's Defence Weekly, Sep. 2019.

[7] A. Giovanzanti, "Australia progressing Loyal Wingman development programme," Jane's Defence Weekly, Nov 2021.

[8] W. Seo, H. Lee, J. Kim, K. Choi, C. Jee, "A Methodology for Evaluating Mission Suitability of Manned-Unmanned Aircraft Teaming for SEAD Missions," Journal of Aeronautical and Space Sciences, pp. 935-943, October, 2020.

[9] "Lockheed Martin - F-16 Fighting Falcon," <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-16.html>, 액세스 날짜: 2023년 3월 28일.

[10] "Northrop Grumman - X-47B," <https://www.northropgrumman.com/x-47b-unmanned-combat-air-system-demonstrator/>, 액세스 날짜: 2023년 3월 28일.

[11] J. Kim, W. Seo, K. Choi, C. Ryoo, "Analysis of SEAD Mission Procedures for Manned-Unmanned Aerial Vehicles Teaming", Journal of Aeronautical and Space Sciences, pp. 1225-1348, August, 2019.

[12] Bruce T. C., "Metrics, Schematics! How The Heck Do You Determine A UAV's Autonomy Anyway?," Air Force Research Laboratory Wright-Patterson AFB, OH, Technical Report, August 2002.

[13] S. Jo, M. Cho, M. Lee, Y. Choi, D. You, H. Myung, H. Lim, "Manned Unmanned Teaming Simulation Environment," Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference, pp. 351~352, November, 2021.

[14] Y. Choi, "Development and Application of Remote Airborne Control Simulator for Experimentation of Manned-Unmanned Teaming of Fixed Wing UAV," Journal of Aerospace System Engineering, Vol. 15, No. 1, pp. 56-62, 2021.

- [15] H. Myung, S. Jo, Y. Choi, J. Byun, D. Kim, J. Lee, H. Lim, "Simulation Environment for Teaming up of Fixed-Wing Manned and Unmanned Swarm Vehicles based on RAC," Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference, pp. 1070~1071, November, 2022.
- [16] S. Jo, Y. Choi, H. Lim, "Development of Flight Control Law and Flight Test using Small Scale Model for Double-Swept Flying Wing Aircraft," Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference, pp. 1339~1340, November, 2022.