

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(4), 284-291(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.4.284

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

복수무인기 운용자의 임무과부하지표 효용성 검증을 위한 human-in-the-loop 실험 설계 및 구현

임형진*, 최성환**, 신은철***, 오장진***, 김병수**, 김승균***, 양지현****

Human-in-the-loop experiments design for workload effectiveness verification of multiple-UAV operators

Hyung-Jin Lim*, Seong-Hwan Choi**, Eun-Chul Shin***, Jang-Jin Oh***,

Byoung Soo Kim**, Seungkeun Kim*** and Ji Hyun Yang****

Kookmin University*, ****, Gyeongsang National University**, Chungnam National University***

ABSTRACT

There is no doubt that advances in UAV technology have improved military performance. However, these advances require humans to adapt to new and complex operational systems. UAV has been rapidly expanding to a variety of fields such as reconnaissance, transportation, communication and aerial photographing recently. Also, with the development of UAV automation technology, one operator is able to supervisory-control multiple-UAVs. However, as the number of assigned UAV increases, the amount of information increases and this results in the workload of the operator increasing and deterioration in controlling performance. Accordingly, there is a need for a model to determine the level of overload an operator may encounter with regard to multiple-UAV but nationally this kind of research is currently lacking. Therefore, this paper provides an experimental platform for evaluating workload index effectiveness integrating multiple-UAV operational environments, GCS, and eye-tracking system followed by a limited survey of domestic and international studies of multi-UAV overload studies.

초 록

최근 무인기는 정찰, 수송, 통신, 항공촬영 등 다양한 분야로 급속히 확대되고 있다. 또한 무인기 자동화 기술의 발전으로 한 명의 운용자가 복수의 무인기를 동시에 감독제어할 수 있게 되었다. 하지만 운용자에게 할당된 무인기의 대수가 많아지면 처리가 필요한 정보의 양이 많아져 운용자가 감당할 수 있는 부하보다 커질 수가 있다. 이에 따라 복수무인기를 제어하는 운용자의 과부하를 효율적으로 측정할 수 있는 지표 개발의 필요한 실정이나, 이와 관련된 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 복수무인기 운용자 임무과부하 연구의 국내외 동향을 파악하고, 복수무인기 운용 시나리오와 지상체를 설계하여, 임무과부하 지표의 효용성을 검증하는 실험환경을 구축하여 향후 임무과부하 지표 연구를 위한 기반을 마련하였다.

Key Words : Multiple-UAV(복수무인기), operator(운용자), workload-indicator(과부하 지표), Fan-Out, GCS(지상체), eye-tracking(시선추적)

† Received : October 24, 2016

Revised : February 2, 2017

Accepted : February 27, 2017

**** Corresponding author, E-mail : yangjh@kookmin.ac.kr

1. 서 론

1.1 복수무인기 운용자 임무과부하 연구 동향

1.1.1 무인기 운용 지상체 연구 동향

복수무인기 운용자의 운용성에 대한 관심도가 증가하며, 선진국에서는 운용자의 운용성을 평가하고 향상시키는데 사용되는 지상체에 대한 연구 또한 진행되고 있다. 미국 Lockheed Martin사에 선 미해군과 함께 Command and Control(C2) 임무 기반의 디스플레이 관리 패러다임 지상체 프로토타입인 SUMMIT(Supervision of Unmanned Vehicles Mission Management by Interactive Teams)을 개발한 것이 그 예이다. SUMMIT은 운용자가 제어하는 해당 시스템이 배경되어 있는 기존 모델을 지양하고, 전체 시스템의 컨트롤을 운용자 간에 유동적으로 공유할 수 있도록 구성되었다. 미해군 보조병(watchstander)들은 SUMMIT을 이용해 정보와 임무를 공유 및 업무부하를 분담하고, 임무 분석을 신속히 완료하여 상황 인식(Situational Awareness)능력을 향상시켰다[1].

미국 해군대학원 (Naval Postgraduate School)의 MOVES 연구소(Modeling and Virtual Environment and Simulation Institute)에서는 MIT에서 개발한 RESCHU 소스코드를 기반으로 MUT(manned-unmanned teaming) 운용 모드 선택 연구에 관한 군집 비행에서의 유무인 인터페이스를 개발하였다[2]. 해당 인터페이스에서는 무인기 자동화 단계에 따라 운용자가 감독만 하고 개입할 수 없는 완전 자동 모드, 옥션 알고리즘 등을 이용한 자동 배치 모드, 그리고 운용자가 직접 개입하는 수동 모드 등 총 세 가지 모드를 제공한다. 또한, 해당 인터페이스는 Zephyr사의 Bioharness와도 연계되어 오퍼레이터의 심박수, 자세 등 생체 신호를 임무 수행과 동시에 모니터링 할 수 있는 기능을 제공한다.



Fig. 1. SUMMIT interface [1]

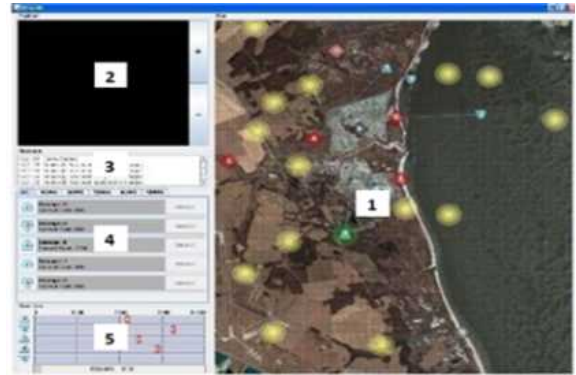


Fig. 2. RESCHU interface [2]

1.1.2 임무지표 및 시선지표 기반 임무과부하 연구 동향

복수무인기를 운용하는 운용자의 부하 정도를 파악하기 위해서는 운용자의 인지적 측면을 고려할 필요가 있다. 예를 들어, 특정 무인기가 제어를 필요로 할 때 운용자가 해당 무인기를 제어하지 않고 있다면, 운용자가 무인기를 인지하지 못하였다거나 운용자의 부하가 커 무인기에 신경 쓸 겨를이 없다가거나 하는 등의 원인이 존재할 것이다. 반대로 운용자에게 부하가 매우 적다면 복수 대의 무인기는 운용자의 적시적지의 제어로 원활히 운용될 것이다. 이러한 이유로 복수무인기 운용 상황에서 운용자의 인지상태 판단을 위해 임무지표 및 시선지표를 분석한 연구가 진행되었다.

임무지표를 통해 운용자의 상태를 판단하고자 했던 연구에선 운용자가 4대의 무인기를 감독제어하였다. 해당 연구에선 운용자에게 위험지역 등장 등의 사건에 대처하여 경로를 재설정하고 목표물을 파괴하는 임무를 수행하도록 하였다[3]. 실험의 독립변수는 무인기의 자동화 수준(인터페이스의 무인기 정보 형식에 따라 4가지) 및 시나리오 종류(부하유도정도에 따라 2가지)로 선정하였다. 또한 무인기가 운용자의 제어를 필요로 할 때(회피, 파괴), 운용자의 무인기 제어내용을 바탕으로 운용자의 인지상태를 WTI(Interaction Wait Time), WTQ(Wait Time in the human decision-making Queue), WTS(A Wait Time due to loss of Situation Awareness) 이상 3가지 임무지표로 분류하였다. 해당 연구에서의 WTI는 운용자가 무인기를 제어하고 있는 시간을 의미한다. 만약 2대 이상의 무인기가 동시에 운용자의 제어를 필요로 한다면 한 대의 무인기 제어로 인해 다른 한 대의 무인기는 대기시간이 필요하게 되는데, 해당 시간을 WTQ로 정의하였다. 또한

제어를 필요로 하는 무인기가 존재함에도 이를 제어하지 않고 있다면, 해당 시간을 WTSA로 정의하였다. 결과적으로 무인기의 자동화 수준이 높을수록 WTI와 WTQ가 짧은 경향을 보였고, 시나리오 난이도가 높을수록 WTQ와 WTSA가 긴 경향을 보였다.

타 연구에선 시선지표를 통해 운용자의 인지상태를 판단하고자 하였다[4]. 운용자에게 5대의 무인기를 제어하여 위험지역을 피해 목적지에 수하물을 전달하는 임무를 수행하게 하였고, 무인기가 위험지역에 진입하여 제어가 필요한 상황에서 운용자의 시선데이터를 바탕으로 운용자의 인지상태를 분류하였다. 해당 연구에선 제어필요 무인기로 처음 시선이 향하기까지의 시간을 상황 파악시간으로 정의하였으며, 제어불필요 무인기로 시선이 향한 시간을 제어대기시간으로 정의하였다. 이후 시선지표를 이용해 운용자의 과부하를 실시간으로 예측하는 모델을 개발하고, 그 효용성을 검증하였다.

II. 선행연구의 임무지표 및 시선지표 기반 복수무인기 임무과부하지표 선정

복수무인기 운용 상황에서 운용자의 임무지표, 시선지표, 생체지표 등이 운용자의 과부하를 판단하는 임무과부하지표로 사용될 수 있다.

Fan-Out(FO)은 ‘한 명의 운용자가 동시 운용 가능한 무인기의 수’를 의미한다[3],[4]. 예를 들어 3대의 무인기를 운용하는 시나리오에서 운용자의 FO 결과값이 2가 나왔다면, 운용자는 시나리오 중 본인의 운용능력보다 많은 무인기를 운용하여 과부하를 느꼈다는 결론이 나온다. 반대로 3대의 무인기를 운용하는 시나리오에서 운용자의 FO 결과값이 4가 나왔다면, 운용자는 시나리오 중 부하를 느끼지 않고 무인기를 정상적으로 운용했다는 결론을 낼 수 있다.

특정 연구에선 WTI, WTQ, WTSA 이상 3가지 임무지표와 Neglect Time(NT, 무인기가 독립적으로 운용되는 시간)을 고려하여 ‘한 명의 운용자가 동시 운용 가능한 무인기의 수’를 의미하는 Fan-Out(FO)을 아래 식 (1)과 정의하였다[3].

$$FO = \frac{NT}{WTI + WTQ + WTSA} + 1 \quad (1)$$

또한 다양한 연구에서 시선지표를 사람의 인지과정을 파악할 수 있는 지표로써 언급하고 있다. fixation은 주의집중의 판단 지표로써 사용될 수 있고[5], 주의분산 정도가 증가하면 saccade가 증가한다[6]. 또한 인지부하 증가 시 pupil diameter는 커지는 경향을 보였다[7].

서론에서 소개된 선행연구에서는 부하 유도 정도를 달리한 시나리오의 종류에 따라 WTI, WTSA, WTQ의 비율을 조사하였다[3]. 결과적으로 저부하 유도 시나리오에 비해 고부하 유도 시나리오에서 WTI의 비율은 감소하였고, WTSA 및 WTQ의 비율은 증가하였다. 또한 서론의 시선지표를 통해 운용자의 인지상태를 판단한 선행 연구에선 시나리오의 난이도를 조절하여 부하 정도에 따른 임무성공률의 차이를 확인하기도 하였다[4]. 또한 심박변화량(HRV) 등의 생체지표를 과부하 판단지표로 활용한 연구도 존재하였다 [8](Table 1).

III. 복수무인기 운용자 임무과부하지표 효용성 검증 실험설계

3.1 시나리오 및 실험방법

실험환경은 Fig. 3과 같이 상/하 모니터 2대, 시선추적기, 마우스 등으로 구성된다. 본 실험에서 운용자는 설정된 경로를 이동하는 3대의 무인기를 15분 30초 간 감시제어하여, 관심지역 정찰 임무 및 목표물 타격임무를 수행한다. 실험 상

Table 1. Workload indicators surveyed from previous research

구분	지표명	선행연구 결과
메타지표	Fan-Out(FO)	임무부하 증가 시 FO 감소[3]
시선지표	Fixation, Saccade, pupil diameter, Dwell, Blink	인지부하 증가 시 fixation의 시간 증가[5] 주의분산 증가 시 Saccade의 시간 증가[6] 인지부하 증가 시 pupil diameter 증가[7]
임무지표	임무 성공률 임무 수행시간	고부하 유도 시나리오에서 임무성공률 감소[4] 시나리오 난이도에 따라 WTI/WTSA/WTQ의 비율 변화[3]
생체지표	HRV, EEG, fMRI	임무난이도에 따라 HR(심박수) 변화[8]



Fig. 3. Experimental environment

자동화 단계가 높은 무인기의 특성상, 비행자세 제어/비행 속도 제어/비행고도 제어/관심지역 및 목표물 탐지 등의 역할은 무인기가 자동적으로 수행한다. 무인기가 운행 중 정찰 및 타격 목표물을 감지하면 인터페이스 상에 임무지시알림이 발생하게 되는데, 운용자의 제어가 필요한 상황은 이 경우로 국한된다. 임무지시알림 발생 시, 운용자는 '카메라조정버튼 2초 이상 클릭 후 카메라촬영 버튼 클릭'으로 정찰임무를 수행하고, 'Lock on버튼 2초 이상 클릭 후 Fire 버튼 클릭'으로 타격임무를 수행한다. 본 연구에선 운용자의 부하정도에 따른 임무과부하지표의 결과값을 비교하기 위해 아래와 같이 2가지 시나리오를 설계하였다.

3.1.1 저부하 유도 시나리오

첫 번째 시나리오는 AT(Available Time: 무인기가 감지한 목표물이 사정권에 있어 운용자의 정찰 및 타격임무 수행이 필요한 임무가능시간)

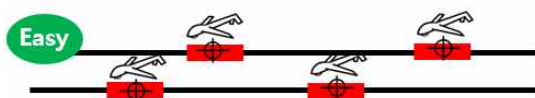


Fig. 4. Low workload scenario



Fig. 5. High work scenario

을 길게(평균 25.27초, 표준편차 15.14초), 임무빈도를 낮게(정찰임무 23회 및 타격임무 7회, 총 30회) 설계하여 운용자의 부하를 적게 유도한 시나리오이다(Fig. 4).

3.1.2 고부하 유도 시나리오

두 번째 시나리오는 AT을 짧게(평균 9.31초, 표준편차: 0.81초), 임무빈도를 높게(정찰임무 30회 및 타격임무 23회, 총 53회) 설계하여 운용자의 부하를 크게 유도한 시나리오이다(Fig. 5). 고부하 유도 시나리오는 저부하 유도 시나리오에 비해 무인기 간 AT이 겹치는 상황이 더 많이 발생하게 된다.

3.2 변수 설계

3.2.1 독립변수

본 실험의 독립변수는 시나리오 종류(2가지, 저부하유도/고부하유도)와 AT 중첩 무인기 수(4가지, 0대~3대), 2 level로 구성되었다. 각 시나리오의 총 실험시간은 15분 30초(930초)이며, 저부하 유도 시나리오의 AT 중첩 무인기 수 별 시간은 중첩 수 0대부터 3대까지 약 407/314/183.8초/25.5초, 고부하 유도 시나리오의 AT 중첩 무인기 수 별 시간은 중첩 수 0대부터 3대까지 약 504.2/368.5/48.2/9.5초이다.

3.2.2 종속변수

선행연구에서 사용된 인지부하 지표 외에 WTCR(Wait Time Cognitive Reorientation, 제어 필요 무인기로 시선이 향하고부터 무인기 제어를 시작하기까지의 시간)의 비율이 실험의 종속변수로 추가되었다. WTCR은 선행연구에서 차후 연구로 남겨두었던 임무지표로, 운용자의 상황판단

Table 2. Classification of WT

기준 1: 해당무인기 제어 중인지 여부			
제어 중	제어 중이지 않음		
WTI	기준 2: 시선의 방향		
	해당무인기	제어필요 타 무인기	그 외
	WTCR	WTQ	WTSA

및 행동결정 시간을 확인할 수 있는 유용한 임무 과부하지표로 사용될 수 있다.

본 실험에선 각 AT event에서의 WT합 (WTI+WTSA+WTQ+WTCR)을 MCT(Mission Conduct Time, 임무수행시간)로 정의하였다. 또한 종속변수인 FO와 각 WT의 비율은 아래 식 (2),(3)와 같이 계산하였다.

$$FO = \frac{\sum AT}{\sum MCT} \quad (2)$$

$$WTI\text{의 비율} = \frac{\sum WTI}{\sum MCT} \quad (3)$$

실험완료 후 메타지표 및 임무지표의 결과값은 시나리오 전체의 평균치를 시나리오 종류에 따라 비교하였고, 시선지표 및 생체지표의 결과값은 시나리오 종류 및 AT 중첩 무인기 수에 따라 2level에서 비교하였다. 아래 Table 3에서는 본 실험의 독립변수 및 종속변수를 정리하였다.

Table 3. Experimental variables

독립 1 : 시나리오 종류		구분	종속변수
저부하 유도	메타 지표 /임무 지표	구분	FO /WTI의 비율 WTSA의 비율 WTQ의 비율 WTCR의 비율 임무성공률
고부하 유도			
독립 1: 시나리오 종류	독립 2: AT 중첩 무인기 수	구분	종속변수
저부하 유도	0대	시선 지표 /생체 지표	fixation의 비율 saccade의 비율 pupil diameter의 평균 / HRV(심박수)
	1대		
	2대		
3대			
고부하 유도	0대		
	1대		
	2대		
	3대		

3.3 실험참가자

실험 참가자는 1명(24세, 남, 군필)이다. 실험은 저부하 유도 및 고부하 유도 시나리오, 각 5회씩 시행하였다. 본 파일럿 실험의 목적은 실험 설계와 구현의 적합성을 검토하는 것이므로, 다수의 실험 참가자에 대한 통계적 유의미성에 대한 분석은 본실험을 통한 후속 연구에서 다루어질 예정이다.

3.4 실험장비

3.4.1 지상제 SW

지상통제 소프트웨어는 MissionPlanner 오픈소스를 활용하였고, Visual Studio C#을 통해 본 연구 진행에 맞도록 수정하여 구현하였다. 지상제 소프트웨어를 활용해 모니터 상에 구현한 실험 인터페이스는 Fig. 6과 같다.

3.4.2 복수 무인기 모델링 및 인터페이스

무인항공기 모델은 정찰형 무미익 무인항공기를 선정하여 모델링을 수행하였다 (WingSpan 4m, Cruise Speed 144km/h(40m/s), Cruise Altitude 500m) 엔진, 랜딩기어, 대기모델이 포함된 비선형 6DOF 무인항공기 모델을 Matlab/Simulink로 구성하였으며, 실험시나리오의 무인기 자동화 수준을 만족시키기 위해 임무 정보 파일을 기반으로, 무인항공기의 경로를 생성하고 추종할 수 있는 유도법칙(Guidance & Navigation Law)을 설계하고, 자동비행을 수행할

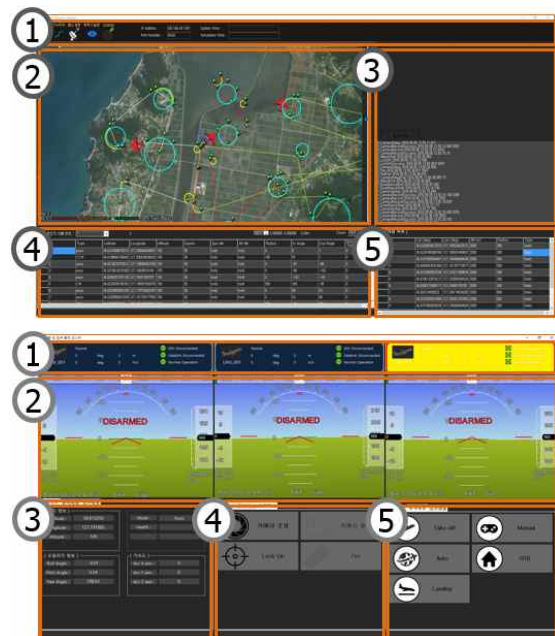


Fig. 6. GCS interface

Table 4. GCS interface configuration(monitor1)

항 목	내 용
1.메뉴	- 시나리오: 비행계획 데이터 저장 및 불러오기 - 비행운용: 무인기 운용환경 전시 - 통신설정: 무인기 통신 연결 - 통신 IP 주소 및 포트 번호 - 시뮬레이션 타임 표시
2.임무 지도	- 임무 지역 및 무인기의 실시간 이동 경로 표시
3.HMI 데이터	- 임무과부하 데이터 정보 전시
4.경로 점정보	- 비행 경로점 위/경도 및 고도 정보 표시
5.장애 물목록	- 정찰 및 타격 임무 수행지역 목록 전시

Table 5. GCS interface configuration(monitor2)

항 목	내 용
1. 무인기 선택 패널	- 무인기 임무 상황 전시(색상 변화)
2. Head-Up Display	- 무인기 상태 및 비행 정보 전시
3. 무인기 상세 정보	- 무인기 상태 수치 정보 전시
4. 임무 통제 패널	- 정찰 및 타격 임무 명령 전시
5. 비행 제어 패널	- 무인기 비행 통제 명령 전시

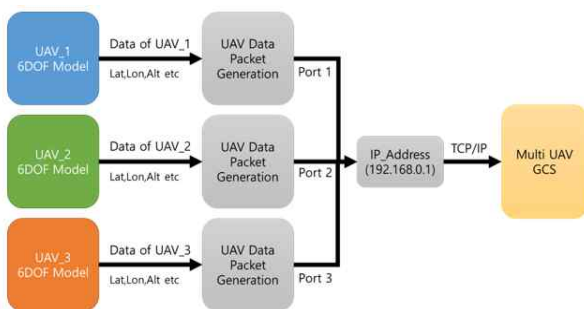


Fig. 7. Multiple-UAV simulation model

수 있도록 PID기반의 제어법칙(Control Law)을 설계하였다.

3.4.3 시선추적기 및 심박수측정기

본 실험에서 운용자의 시선데이터를 얻기 위하여 KOSTECH 사의 Smart Eye Pro 3-camera System, Camera Basler GigE 3대 등의 장비를

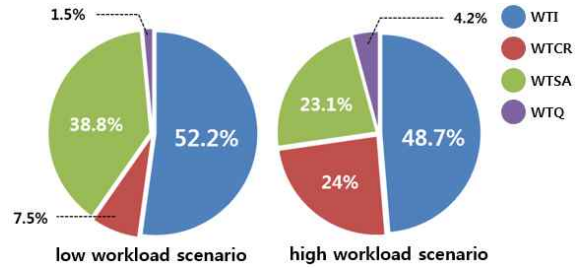


Fig. 8. WT ratio in the two scenarios

사용하였다. 해당 시선추적기는 60Hz의 단위로 데이터를 저장하며, 수집할 수 있는 데이터의 종류는 saccade, fixation, pupil diameter 등 총 154종이다. 또한 운용자의 심박수 측정을 위하여 Zephyr 사의 Zephyr HxM BT Wireless Heart Rate Sensor를 사용하였으며, 해당 심박수측정기는 1Hz의 단위로 데이터를 저장한다.

3.5 파일럿 실험결과의 기술통계적 분석

3.5.1 메타지표 및 임무지표 결과

‘운용자가 동시운용 가능한 무인기의 수’를 의미하는 메타지표인 FO은 고부하 유도 시나리오(평균 1.99, 표준편차 0.07)에서가 저부하 유도 시나리오(평균 5.83, 표준편차 0.23)에서 보다 낮은 결과값을 가졌다. 해당 실험은 무인기 3대를 감시제어하는 실험이므로, FO 값이 3보다 낮게 측정된 고부하 유도 시나리오에서는 운용자가 과부하를 느꼈음을 예상할 수 있다. 반대로 FO 값이 3보다 높게 측정된 저부하 유도 시나리오에서는 운용자가 부하를 많이 느끼지 않았음을 예상할 수 있다.

임무지표인 각 WT 비율의 결과값은 위 Fig. 8 과 같으며, 저부하 유도 시나리오에 비해 고부하 유도 시나리오에서 WTCR 및 WTQ의 비율이 증가하였다.

운용자의 부하가 증가함에 따라 상황인지를 하는데 어려움을 겪었고, 다수의 무인기가 동시에 제어를 필요로 하는 상황이 발생함에 따라 무인기가 운용자의 제어를 기다리는 임무대기시간이 증가하게 되었음을 확인할 수 있다. 임무성공률은 저부하 유도 시나리오(평균 98.7%, 표준편차 1.8%)와 고부하 유도 시나리오(평균 98.5%, 표준편차 0.8%)의 경우에 큰 차이를 보이지 않았다. 임무성공률 결과값에 따라, 본실험 설계에선 고부하 유도 시나리오의 난이도를 더욱 높일 필요가 있을 것이다.

3.5.2 시선지표 및 생체지표 결과

Figure 9와 같이, 시선지표 중 saccade의 비율

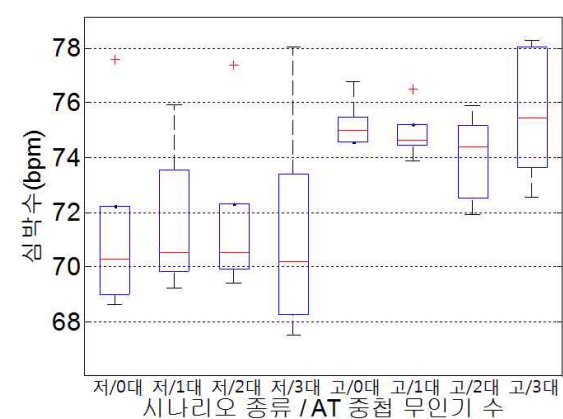
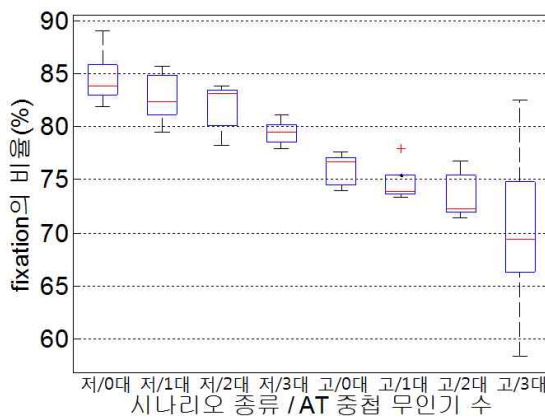
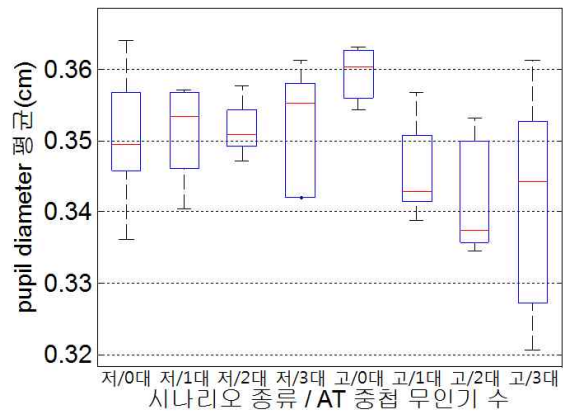
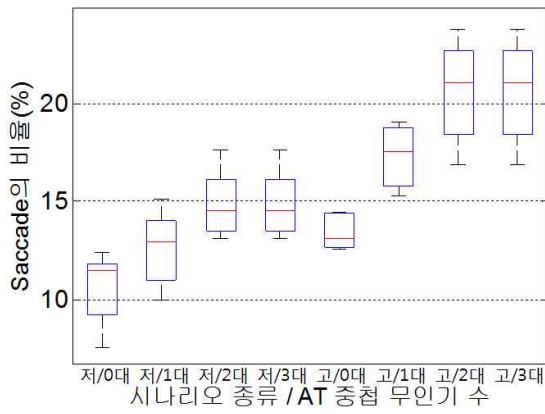


Fig. 9. Result of saccade ratio / Result of fixation ratio

Fig. 10. Result of pupil diameter / Result of HR

과 fixation의 비율은 독립변수에 따른 결과값이 반대의 경향으로 나타났다. saccade의 비율은 고 부하 유도 시나리오와 많은 AT 중첩 무인기 수의 경우에 그 값이 높은 경향을 보였고, fixation의 비율은 해당 경우에 그 값이 낮은 경향을 보였다. 위 결과에 따라, 운용자의 부하가 높을 경우 시선고정의 비율은 감소하고 시선이동의 비율은 증가함을 확인할 수 있다.

Figure 10과 같이, pupil diameter의 평균값은 고부하 유도 시나리오의 경우 더 큰 경향을 보였다. 생체지표인 심박수 또한 고부하 유도 시나리오에서 더 큰 값을 나타내었고, AT 중첩 무인기 수에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다.

의 효용성을 검증하는 실험환경을 통합 구축하고, human-in-the-loop 실험안을 설계하여 파일럿 실험을 진행하여 데이터 분석의 방향성까지 보였다. 이에 따라 추후 임무과부하 지표 효용성 검증을 위한 본실험에 대한 플랫폼을 제시하였고, 차후 지속적 연구를 통해 효용성이 높은 임무과부하 지표를 찾아나가는 노력이 필요할 것이다. 또한 선정된 지표를 통해 실시간으로 운용자의 과부하를 판단하는 모듈 개발하고 운용자의 상태가 과부하로 판단되는 경우 적절한 피드백을 통해 복수무인기 운용에 도움을 줄 수 있는 적응형 지상체를 개발함으로써, 궁극적으로 운용자의 운용성능을 향상시키는 결과를 가져와야할 것이다.

IV. 결론

후 기

본 논문에서는 복수무인기 운용자 임무과부하 관련 연구의 동향을 파악하고, 복수무인기를 운영하는 운용자의 과부하를 판단할 수 있는 지표

본 연구는 국방과학연구소의 국방 특화연구실의 일환으로 수행하였음[계약번호: UD150047]D, 지능 기반 무인기 제어].

References

- 1) Robert F. Chevalier, E. Vincent Cross II, Jerry L. Franke, R. Chris Garrett, Mike Kopack, Michael Kozak, Meghann Lomas, Vera Zaychik Moffitt, James S. Taylor, and Justin Wetherell, "SUMMIT: an Open Architecture Framework That Enables Operator Workload Balancing Through The Integration of Standalone Applications," Proceedings of Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), At Las Vegas, NV, 2012.
- 2) J. Yang, M. Kapolka, and T. Chung, "Autonomy balancing in a manned-unmanned teaming (MUT) sw arm attack," accepted to The 1st International Conference on Robot Intelligence Technology and Application (RiTA), Gwangju, Korea, 2012.
- 3) M.L. Cummings and P.J. Mitchell, "Predicting Controller Capacity in Supervisory Control of Multiple UAVs," IEEE Trans. on Systems, Vol. 38, No. 2, 2008, pp. 451~460.
- 4) Leonard A. Breslow, Daniel Gartenberg, J. Malcolm McCurry, and J. Gregory Trafton A, "Dynamic Operator Overload: A Model for Predicting Workload During Supervisory Control," IEEE Trans. on Human-Machine Systems, Vol. 44, No. 1, 2014, pp. 30~40.
- 5) I.D. Brown, "A review of the 'looked-but-failed-to-see' accident causation factor; road safety research," Dept. for Transport, U.K., London, U.K., Rep. no. 60, 2002.
- 6) M. S. Peterson, A. F. Krame, and D. E. Irwin, "Covert shifts of attention precede involuntary eye movements," Perception Psychophysics, vol. 66, 2004, pp. 398 - 405.
- 7) Beatty, J., "Task-Evoked Pupillary Responses, Processing Load, and the Structure of Processing Resources," Psychological Bulletin, 91(2), 1982, pp. 276-292.
- 8) Matthews, G., Reinerman-Jones, L. E., Barber, D. J., & Abich, J., "The Psychometrics of Mental Workload: Multiple Measures Are Sensitive but Divergent," Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 57(1), 2015, pp. 125-143.