

행위자 기반 모델링을 이용한 유·무인 복합체계의 전투효과 분석

Combat Effectiveness Analysis of Manned-Unmanned Teaming System using Agent-Based Modeling

김 별¹⁾, 이춘주^{*2)}

Byul Kim¹⁾, Choonjoo Lee^{*2)}

[초 록]

본 연구는 유·무인 복합체계에서 유인플랫폼과 무인플랫폼의 조합형태가 전투효과에 미치는 영향을 분석함으로써 유·무인 복합체계의 효과적인 팀 구성에 대한 시사점을 제시하고자 하였다. 행위자 기반 모델링 프로그램인 AnyLogic을 이용하여 군의 상륙작전 표준시나리오에서 유·무인 복합체계를 구성하는 상륙돌격장갑차(KAAV)와 무인지상차량(UGV) 및 무인항공기(UAV)의 구성 비율에 따른 전투 생존률을 계산하였다. 분석결과 현재의 유인체계인 상륙돌격장갑차(KAAV)를 단독으로 활용하는 것에 비해서 무인무기체계인 무인지상차량(UGV) 및 무인항공기(UAV)의 적절한 조합으로 전투 효율을 최적화할 수 있음을 확인하였다. 연구결과는 국방혁신 4.0이 추구하는 첨단과학기술군 육성을 위해 추진하게 될 유·무인 복합체계의 운용개념을 설정하고 무기체계 획득단계별 M&S 분석을 위한 참고가 될 것으로 기대한다.

[ABSTRACT]

This study tried to suggest implications for effective team composition in the manned-unmanned teaming system by analyzing the effect of the combination of manned and unmanned platforms on the combat effect in the manned-unmanned teaming system. In this study, by changing the ratio of amphibious operation vehicles (KAAV), unmanned ground vehicles (UGV), and unmanned aerial vehicles (UAV), the combat survival rate was calculated in a standard operation scenario using AnyLogic, an agent-based modeling program. As a result of the analysis, it was confirmed that an appropriate combination is possible to optimize the combat efficiency of the unmanned weapon system, the unmanned aerial vehicle (UGV) and the unmanned aerial vehicle (UAV), compared to the use of the current manned amphibious assault vehicle (KAAV) alone. It is expected that the research results will be a reference for M&S analysis for each stage of weapon system acquisition and establish the operational concept of the manned-unmanned teaming system that will be promoted to foster the advanced science and technology forces pursued by Defense Innovation 4.0.

Key Words : Combat Effectiveness(전투효과), Manned-Unmanned Teaming System(유·무인 복합체계), Unmanned Ground Vehicle(무인지상차량), Unmanned Aerial Vehicle(무인항공기), Agent-Based Modeling(행위자 기반 모델링)

1. 서 론

민·관·군·산학연 전문가들은 국방부가 주관한 ‘국방혁신 4.0 세미나’에서 국방혁신 4.0의 개념을 AI·무인·로봇 등 4차 산업혁명 과학기술을 기반으로, 북 핵·미사일 대응, 군사전략 및 작전개념, 핵심 첨단전력, 군구조 및 교육훈련, 국방R&D·전

력증강 체계분야를 혁신하여 경쟁우위의 AI과학 기술강군을 육성하는 것으로 정의하였다.^[1] 국방분야에서는 그간 국방개혁 2.0을 추진하면서 4차 산업혁명의 유망기술을 적용하여 스마트한 전력을 구축하고 병역인구 급감에 따른 전력 공백에 대처하기 위해서 전략적 차원에서 핵심기술과 국방로봇을 포함한 무인무기체계의 획득을 적극적으로 추진해 왔다.^[2]

군사작전에 있어서 적보다 먼저 보고 피아를 식별하여 정확하게 타격함으로써 작전의 효율성을 높이고 아군 피해를 최소화하기 위하여 소요군에서는 무인무기체계에 대한 전력화 요구를 중시하고 있다.^[3] 해병대의 작전에 있어서도 유·무인 무기체계 도입을 통해 작전 초기의 전력 손실을 최소화하고자 '18. 11월 상륙작전 드론봇 전투체계 발전 세미나를 시작으로 해병

1) 국방대학교 국방과학 무기체계학과(Korea National Defence University, Korea), Principal researcher, 국방대학교 국방과학 (Korea National Defence University, Korea), Professor, Corresponding author, E-mail: sarang90@korea.kr
Copyright © The Korean Institute of Defense Technology
Received : October 20, 2022 Revised : October 24, 2022
Accepted : December 12, 2022

대 비전2049에서는 자율·인공지능 기반의 유·무인 복합전투 수행을 위한 상륙 드론봇 전투체계, 소부대 유·무인 전투체계 등을 발전시켜 해병대 미래 작전수행체계에 변화를 모색하고 있다.^[4] 이에따라 유·무인 무기체계의 전력화는 작전수행개념이 정립되고 전력을 운용할 조직의 구성에 대한 연구가 요구된다.

본 연구는 유·무인 복합체계의 구성비를 변화시키면서 전투 효과를 분석하기 위해 관련 문헌의 제한사항을 확인하고, 유·무인 복합체계의 유기적인 운용을 필요로 하는 제한된 전장상황을 시나리오로 묘사하여 복잡계 분석모델의 하나인 행위자 기반 모형으로 전투효과를 시뮬레이션 하였다. 문헌연구는 기존 선행연구, ABM(Agents Based Modeling) 기반 프로그램 기술, 연구 모델 등을 조사하였다. 지금까지 진행된 본 연구 관련분야 선행연구는 크게 2가지로 분류할 수 있다. 먼저, UGV 또는 UAV 단일 종의 특정 성능, 알고리즘 등에 대한 연구로 채희서 등(2020)^[5], 백승호 등(2013)^[6]은 UAV 또는 UGV 대한 감시정찰 운용성능을 중심으로 발전방향을 제시하였고, 백종성 등(2009)^[7]은 UGV의 경로계획 알고리즘을 분석, 이상준 등(2016)^[8]은 UGV에 대한 소규모 제어 알고리즘에 대해서 시뮬레이션을 통해 검증한 바 있다. 두 번째로, UGV와 UAV 이종에 대한 기초 운용개념, 시나리오 분석 연구로 김성수 등(2017)^[9], 최재영 등(2013)^[10]은 통합 운용에 대한 기초 방안 및 알고리즘을 제시하였고, 이재영 등(2014)^[11], 홍정완 등(2012)^[12]은 단일종류의 다중 무인무기체계 운용에 대한 시나리오 분석 연구를 통해 특정 성능 검증 결과를 제시한 바 있다. 그러나 다른 종류의 다양한 기능을 가진 다수의 로봇들이 임무의 형태에 따라 협력하여 팀링(teaming) 형태로 전투 효과를 분석하지는 않았다. 본 연구는 복잡계를 해석하고 분석하는데 유용한 행위자 기반 모델링 프로그램 중에서 Anylogic을 활용하여, 유·무인무기체계를 팀으로 구성하였고 전투효과를 분석함으로써 미래 이종 다중 무인체계에 대한 운용방안과 개발 성능 분석에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 모형 개발에서는 문헌연구를 통해 수집된 자료를 바탕으로 ABM을 수행하고 교범 및 최근 세미나를 통해 기술 동향 및 운용개념을 확인하여 모델의 완성도를 높였다.

본 연구의 목적은 무인무기체계의 역할이 증대되는 미래 전장환경에서 이종 및 다중 로봇과 기존 유인 무기체계와의 팀링을 통한 전투효과를 높일 수 있는 가능성을 확인하는 것이며, 분석을 통해 소요제기를 위해 필요한 운용요구서의 운용개념과 핵심운용성능 파라미터를 식별하는데 시사점을 제공하는 것이다.

2장 연구방법론에서는 전투시나리오를 행위자 기반의 모델링으로 구현하기 위해 필요한 행위자를 정의하고, 전투의 규칙에 해당하는 모의논리를 작성하여, 행위자들이 행동을 함으로써 얻게 되는 이득과 전투의 결과를 표현식으로 생존율을 통해 정의하였다. 3장에서는 특정 지형을 선정하여 유·무인 복합체계의 작전 수행간 전투효과로써의 생존율을 측정하였다. 또한 유·무인 복합체계의 구성비를 달리하면서 생존율의 변화를 분석하여 적절한 유·무인 복합체계의 구성비에 대한 시사점을 도출하고자 하였다. 이어서 결론에서는 본 연구의 시사점과 미래 전장환경에서 유·무인 복합체계에 대한 전투모델로의 확장

성에 대한 연구방향을 제시하였다.

2. 연구방법론

2.1 시나리오 모의논리 구성

전투효과를 분석하기 위해서는 전장상황을 묘사할 수 있도록 행위자, 전투규칙, 보상체계에 대한 설정이 필요하다. 본 절에서는 행위자 기반 모델링을 위해 Anylogic 프로그램을 활용하여 분석하는 1단계 절차에 해당하는 시나리오 모의논리를 어떻게 구성하였는지를 설명한다. <그림 1>은 청군이 기동 및 정찰을 통해 홍군을 발견하고 교전이 종료되기까지의 시나리오 모의논리 흐름도를 나타낸 것이다. 먼저, 각 행위자는 전술적인 행동으로서 최초 위치에서 목표지역으로 기동 및 정찰을 실시하도록 설정하였다. 이후, 홍군 발견시 탐지거리 밖에서 조기발견 여부를 판단하여 사격준비 소요시간을 단축 또는 유지하도록 한다. 다음 단계로, 무기 사거리를 기준으로 사격가능 여부를 판단 후 사격을 실시하여 명중 여부에 따라 사격 지속여부를 결정하도록 한다. 마지막으로, 청군 생존 및 잔존 홍군 여부에 따라 시뮬레이션 지속여부를 결정하도록 한다.

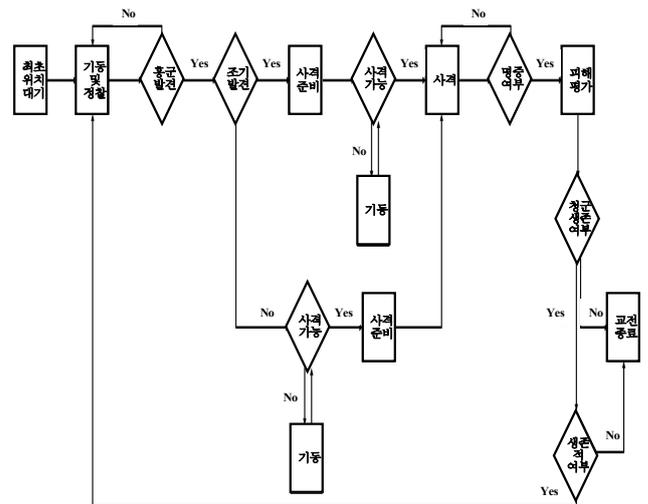


그림 1. 시나리오 모의논리 흐름도
Fig 1. Scenario logic flow chart

2.2 시나리오 개요 및 가정

시나리오 모의논리에 특정한 시나리오를 선정하여 분석하기 위해 Anylogic 활용 분석 절차 2단계에 해당하는 모델의 가정 사항과 초기 입력자료 등을 작성한다. 본 시뮬레이션의 목적은 제한된 소규모 전투 상황속에서 아군의 최고 전투 생존율을 달성할 수 있는 전투체계의 구성과 핵심 운용성능 파라미터를 식별하는 것이다. 이에따라 제한된 전투상황인 상륙작전에서 기존 유인무기체계 KAAV와 이종 다중 무인체계인 UGV와 UAV를 한정된 수량에서 조합하는 방식에 따라 청군의 전투 생존율(FSR : Friendly Survival Rate)이 어떻게 달라지는지 그 변화를 분석하고자 한다. 작전지역은 과거 인천상륙작전을 바탕으로 인천항에서부터 문학산(217고지) 주변 일대로 설정하

였으며, 중대급 규모의 작전을 고려하여 가로 11km × 세로 14km의 작전구역을 설정하였다. <그림 2>와 같이 작전구역의 조건으로 각 행위자의 이동에는 제한이 없었으며 홍군은 최초 지도 상단 문학산이 있는 북쪽 지역에 위치하여 교두보 확보를 시도하는 청군을 저지하고자 Tank를 인천항 쪽 방향인 남쪽으로 기동하고, 청군은 최초 지도 하단인 인천항 남쪽에서부터 교두보 확보를 위해 목표지역 문학산 일대인 북쪽으로 기동한다. 청군과 홍군의 정찰 및 교전을 유도하고자 공격 및 방어 방향 설정을 위한 이정표를 부여하였다.

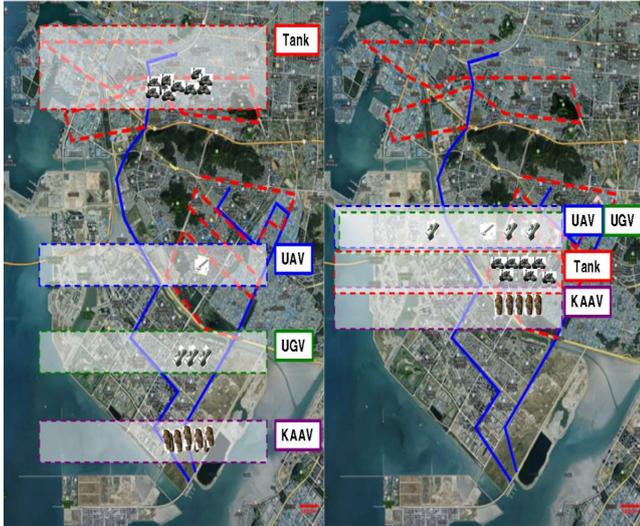


그림 2. 시뮬레이션 진행 과정에서의 행위자 위치 변화
Fig 2. Changes in agent position during simulation process

행위자는 홍군의 Tank, 청군의 KAAV, 정찰용 UGV 및 UAV로 구성된다. Tank와 KAAV는 화력과 기동능력에 중점을 두고 있으며, UGV와 UAV는 화력능력을 제외한 탐지 및 통신 능력에 중점을 두었다. 각 행위자별 기동속도, 탐지확률, 타격 확률, 무인무기체계 운용 수 등은 초기 입력값으로 설정할 수 있도록 시뮬레이션 초기 메인화면에 구성하였다.

청군의 최소 희생으로 작전지역 내 적을 격멸하고, 다음 작전을 위해 전투력을 보존하면서 임무를 완수하기 위한 최적의 유·무인 복합체계의 구성이 가능한지와 핵심 운용성능 파라미터의 식별을 위해 필요한 시뮬레이션 모델의 가정사항은 다음과 같다.

- (1) 교전을 실시하는 청군, 홍군 제대 수준은 각각 중대급이다.
- (2) 문헌 및 작전수행 운용개념을 적용, 상륙작전 전에 청군의 피해를 최소화하기 위해 선행적으로 실시하는 공중 및 해상, 지상사격, 침투 등을 통해 작전지역의 적을 효과적으로 타격하였다고 가정하였다. 이에따라 공격하는 부대인 청군과 방어하는 부대인 홍군의 전력 비율은 약 2.5:1로 설정하였다.
- (3) 적용가능한 유·무인 복합체계의 군사적 운용개념을 고려하여 부대별 운용할 수 있는 UGV 운용 대수는 소대별 1대씩 최대 3대, UAV의 운용 대수는 중대별 1대씩 최대 1대로 제한하였다.
- (4) 청군의 UAV와 UGV는 운용개념에 따라 사전 전개 및 정

찰을 위해 UAV는 KAAV 최초 위치보다 4km 전방에, UGV는 KAAV 최초 위치보다 2km 전방에 배치하였다.

- (5) KAAV와 Tank는 방호능력과 화력을 고려하여 KAAV → Tank 파괴는 사격 2회 명중시, Tank → KAAV 파괴는 사격 1회 명중시로 가정한다. 각 능력 설정은 KAAV의 155mm 포탄 파편 방호능력과 K4 고속유탄기관총 이중목적 고폭탄의 관통력을 고려 화력을 결정하였고, Tank의 전·측면 방호능력과 115mm 활강포의 관통력을 고려 화력을 결정하였다.
- (6) 정찰 및 탐지 간 적 발견 확률과 사격시 적 명중 확률 등은 전장의 다양한 우발사항과 現 무기체계기술의 고도화 등을 고려하여 0.8 ~ 1.0%의 확률을 초기 입력값으로 적용하였다.
- (7) 각 행위자들의 탐지반경과 교전반경 등의 초기 입력값은 공개된 무기 제원을 적용하여 <표 1>과 같이 설정하였다. 홍군 Tank는 북한의 주력전차로 평가되는 폭풍호 제원 분석자료^[13], 청군 KAAV는 제작업체 제원 자료^[14], UAV는 관련 전문 도서자료^[15], UGV는 '21.4월에 다목적무인차량 시범사업에 대한 방위사업청 주요 요구 제원^[16]을 각각 적용하였다.

표 1. 행위자별 능력 초기 입력값
Table 1. Initial ability by agents input

구 분	탐지거리	전투반경	속도	
청군	KAAV	2.2 km	1.5 km	72 km/h
	UGV	2 km	-	30 km/h
	UAV	0.5 km	-	55 km/h
홍군	Tank	2 km	1.5 km	60 km/h

2.3 행위자의 구성

본 절에서는 Anylogic 활용 분석 절차 3단계를 적용하여 각 행위자들을 생성하고 상호작용 관계를 정립하는 단계이다.

2.3.1 KAAV

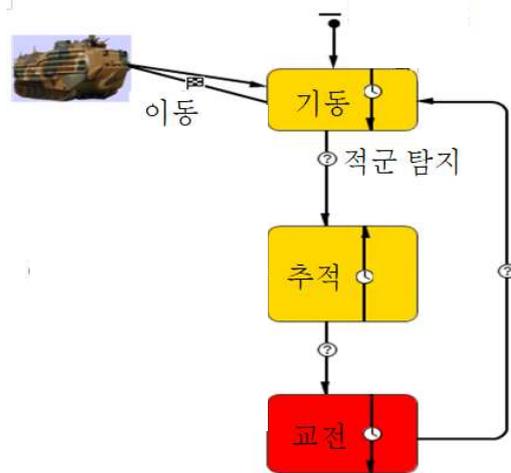


그림 3. KAAV의 Statechart
Fig 3. Statechart of KAAV

청군 KAAV는 상륙돌격장갑차로 중대급 제대 편성에 따라

총 18대로 구성되며 본 시뮬레이션에서는 유인무기체계의 주어진 고정값으로 작용한다. <그림 3>과 같이 기동, 추적, 교전의 상태를 가진다. 기동 단계에서는 교전을 위해 최초 설정한 이점표를 따라 행위자가 이동하면서 일정 주기로 탐지 기능을 수행한다. 탐지거리내 홍군 Tank를 발견하게 되면 사격을 위한 준비과정(조준, 장전, 보고, 행정소요 시간 등)을 묘사하는 추적 단계로 진입하게 된다. 설정된 전투반경 내 홍군 Tank가 위치하게 되면 교전 단계로 진입하며 사격을 실시하게 된다. 사격에 따른 홍군 Tank 파괴시에는 기동 및 탐지 단계로 돌아가 시뮬레이션 종료시 또는 행위자 소멸 전까지 위 과정을 반복 수행한다.

2.3.2 UGV와 UAV

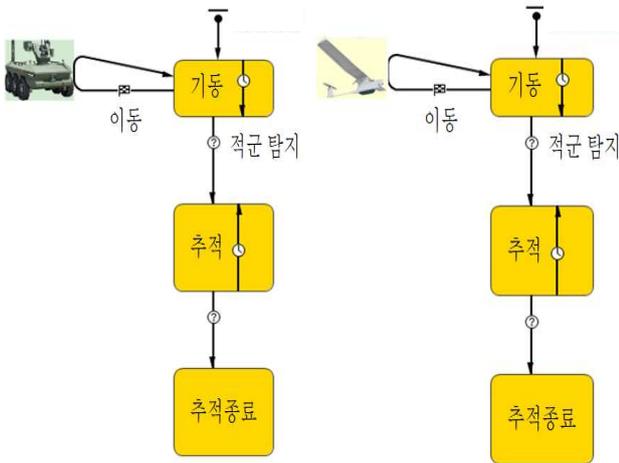


그림 4. UGV(좌측)와 UAV(우측)의 Statechart
Fig 4. Statechart of UGV(left) and UAV(right)

청군 UGV는 본 시뮬레이션 상 무장 및 사격 기능 없이 탐색 및 통신기능만 수행하며 운용개념에 따라 중대급 KAAV 구성 대비 0대에서 최대 3대까지 운용 가능한 것으로 정의하였다. 운용개념 상 KAAV 기동 전에 앞서서 정찰을 실시하여 정보를 제공하기 때문에 시뮬레이션 시작 시 최초 위치는 KAAV 최초 위치보다 2km 앞선 위치에서 시작하도록 설정하였다. <그림 4>의 좌측은 UGV의 상태를 나타내고 있으며 기동, 추적, 추적종료의 상태를 가진다. 기동 및 추적단계의 내용은 KAAV와 동일하며 시뮬레이션 종료시 또는 행위자 소멸 전까지 위 과정을 반복 수행한다. 차이점으로 추적 단계에서 탐지거리내 홍군 Tank를 탐지하게 되면 획득된 홍군 Tank 위치 정보를 가까이 있는 청군 KAAV 6대에게 전송한다. 이러한 행위는 UGV 운용개념상 KAAV 소대급당 UGV 1대 운용을 바탕으로 하고 있기에 UGV가 소속된 부대에서 장비를 운용시 연계되는 정보유통의 라인을 고려 위와 같이 설정하였다. 이러한 정보를 수신한 KAAV는 기존 추적 단계에서 사격으로 전환되는데 소요되는 사격 준비시간을 단축하게 되는 이점을 가지게 되어 더욱 신속히 홍군 Tank에 대한 타격이 가능하게 된다. 이때 홍군 Tank는 UGV에 대해서 부피가 작아 식별이 어렵고 효과적인 청군 여건조성작전으로 탄약수급이 원활하지 못해 탄약이 제한, 저가치 표적으로 간주하여 공격하지 않는 것으로

가정하였다. 단, 전장의 우발상황을 고려 파괴, 고장 등 작동불능의 상태를 확률적으로 적용하였다. 본 시뮬레이션에서 UGV 운용 수는 변수로 작용한다.

청군 UAV는 중대급 KAAV에 탑승하는 보병제대가 대대급 병력임을 고려하여 대대급 UAV를 모델로 하였으며 상태도는 <그림 4>의 우측 그림과 같으며 UGV와 동일한 운용개념을 가진다. 운용개념 상 KAAV 기동 전에 앞서서 정찰을 실시하여 정보를 제공하기 때문에 시뮬레이션 시작 시 최초 위치는 KAAV 최초 위치보다 4km 앞선 위치에서 시작하도록 설정하였다. 운용개념에 따라 중대급 KAAV 제대 구성 고려 0대에서 최대 1대까지 운용 가능한 것으로 정의하였다. UGV 설정과 다른 점은 탐지 간 획득된 홍군 Tank 위치 정보를 KAAV 전 행위자에 메시지를 보낸다. 이러한 행위는 UAV 운용개념상 KAAV 중대급 제대당 UAV 1대 운용을 바탕으로 하고 있기에 소속된 부대에서 장비를 운용시 연계되는 정보유통 라인을 고려 위와 같이 설정하였다. 이때 홍군 Tank는 UAV의 운용고도와 북한의 폭풍호 대공무기체계인 SA-16 휴대공 미사일의 실용 상승 한도, 북한 무기체계 타격 신뢰도 등을 고려 UAV에 대한 타격이 제한되는 것으로 가정하였다. 단, 전장의 우발상황을 고려 파괴, 고장 등 작동불능의 상태를 확률적으로 적용하였다. 본 시뮬레이션에서 UAV 운용 수는 변수로 작용한다.

2.3.3 홍군 Tank

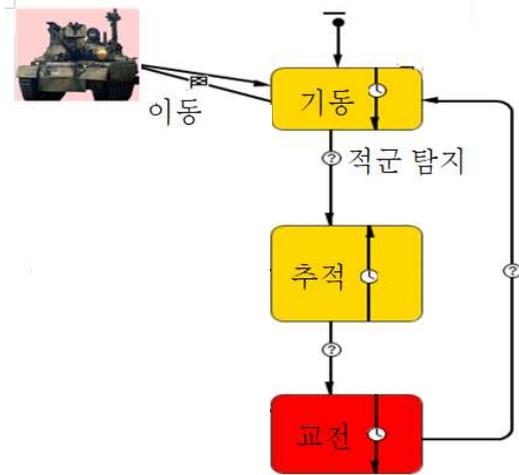


그림 5. Tank의 Statechart
Fig 5. Statechart of Tank

홍군 Tank는 북한의 중대급 제대 편성에 따라 총 10대로 구성되며 본 시뮬레이션 상 고정값으로 작용한다. <그림 5>는 Tank의 상태도이며 기동, 추적, 교전의 상태를 가진다. 각 단계별 내용은 KAAV와 동일하다.

2.3.4 효과분석 척도 설정

전투모형의 구성시, 전투 보상에 따른 전투효과의 척도를 설정해야 한다. Anylogic 활용 분석 절차의 마지막 단계에 해당하는 내용으로 실험을 통해서 분석하고자 하는 파라미터에

대한 분석 척도를 설정한다. 본 시뮬레이션에서는 전투효율성 분석을 위한 척도로 이재영(2015)^[17] 이 연구한 UGV 효과분석 실험간의 척도를 참고하여 청군 생존율(FSR : Friendly Survival Rate)과 홍군 생존율(ESR : Enemy Survival Rate)을 <식 (1)>, <식 (2)>와 같이 정의하였다.

$$FSR = \frac{F_E}{F_0} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

$$ESR = \frac{E_E}{E_0} \times 100 \quad \text{식 (2)}$$

<식 (1)>, <식 (2)>에서 F_E 와 E_E 는 본 시뮬레이션 상 종료시점의 청군 및 홍군의 잔존전투력이며 F_0 와 E_0 는 청군 및 홍군의 초기전투력이다. 초기전투력 중 유인무기체계인 청군 KAAV와 홍군 Tank 수는 정해진 고정값이며 무인무기체계인 UGV와 UAV의 운용 대수는 변수로 정의한다.

3. 적용결과

유·무인 복합체계의 구성에 따른 전투효과를 시뮬레이션 하기 위해 조건변수를 변화시키면서 3가지 세트로 구성하였다. 첫 번째 세트는 고정값인 유인무기체계 KAAV 18대만 운용하고, 두 번째 세트는 유인무기체계 KAAV 18대에 무인무기체계 UGV와 UAV를 각각 추가 운용한다. 이때, 실험 간 UGV 또는 UAV의 운용 대수 증가에 따른 각 실험값을 측정하였다. 세 번째 세트는 미래 운용개념을 적용하여 유인무기체계 KAAV 18대, 무인무기체계 UGV 3대 및 UAV 1대를 동시 운용하는 것으로 구성하였다. 각 세트에 대한 반복 실험 횟수는 50회로 설정하였다.

먼저 첫 번째 세트에 대한 실험결과는 <그림 6a>, <그림 6b>, <그림 6c>와 같다. <그림 6a>, <그림 6b>는 시간의 흐름에 따른 ESR과 FSR의 변화를 보여주는 그래프이고 <그림 6c>는 <식 (1)>, <식 (2)>에서 정의된 것처럼 ESR이 0일때의 FSR의 범위를 정리한 그래프이다. <그림 6a>에서는 약 8 ~ 13시간이 지나고 나면 홍군 생존율이 급격히 0으로 수렴하며 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 KAAV의 숫자가 Tank에 비해 약 2배가 많고, 무장의 특성상 KAAV가 Tank에 비해 동일 시간내 사격발수가 상대적으로 많이 발생하는 결과로 보인다. <그림 6b>에서는 <그림 6a>의 수렴하는 구간에서 다소 산발적인 청군 생존율을 볼 수 있는데 이는 전장의 우발상황을 적용하기 위해 탐지시 적 발견확률과 사격시 적 명중확률의 설정값을 0.8 ~ 1.0%로 설정한 영향성으로 분석된다. <그림 6c>에서 보이는 것처럼 전투효율성의 중앙값은 52.78%이다. KAAV만 운용시에는 작전 투입 병력의 약 절반이 손실되는 것으로 나타났다.

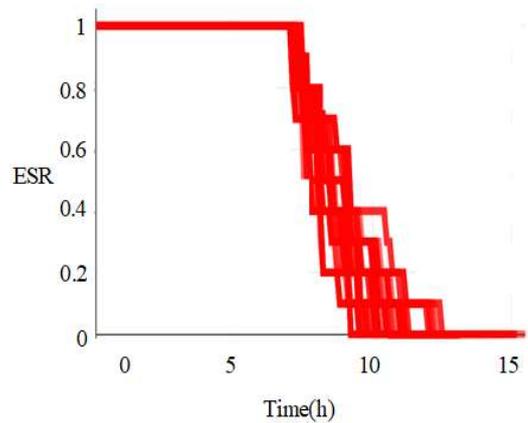


그림 6a. KAAV 단독 운용시 홍군 생존율
Fig 6a. Survival rate of enemy forces during operation of only KAAV

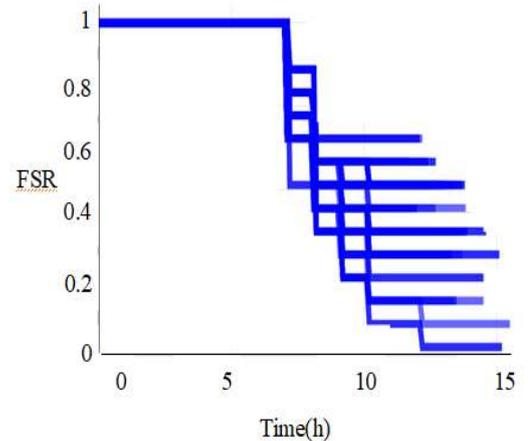


그림 6b. KAAV 단독 운용시 청군 생존율
Fig 6b. Survival rate of friendly forces during operation of only KAAV

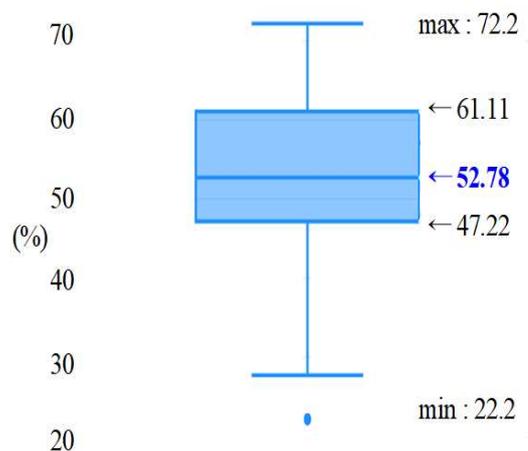


그림 6c. KAAV 단독 운용시 청군 전투효율성
Fig 6c. Friendly combat efficiency during operation of only KAAV

두 번째 세트 간 UGV 운용 대수 증가에 따른 실험 결과는 <그림 7a>, <그림 7b>, <그림 7c>와 같다. <그림 7a>에서는 <그림 6a> 대비 약 8 ~ 13시간 대에 0으로 수렴하는 수치가 증가하여 밀집도가 높아진 것을 알 수 있다. 청군의 UGV의 정찰능력으로 KAAV의 타격 준비시간이 줄어들며 따라 사격횟수가 많아져 상대적으로 홍군 Tank의 생존율이 낮아진 것으로 보인다. <그림 7b>에서는 <그림 6b> 대비 산발범위가 줄어들고 청군 생존율이 높아졌다. 이는 UGV 운용에 따른 적 탐지 확률이 증가하여 전장의 불확실성이 줄어든 것으로 분석된다. <그림 7c>에서 보이는 것처럼 전투효율성의 중앙값은 61.11%가 되겠으며 KAAV만 운용할 때보다 UGV를 3대 추가 운영시 전투효율성이 8.33%p 향상되었다.

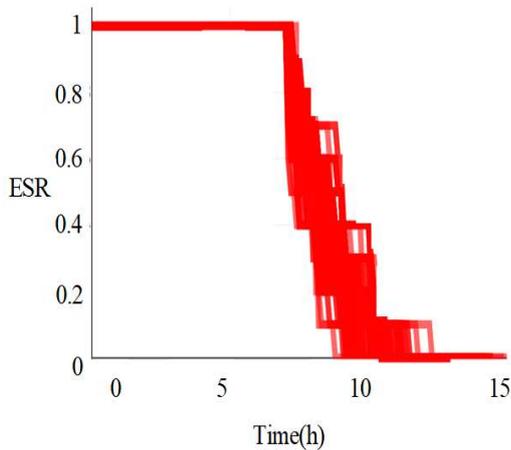


그림 7a. KAAV와 UGV 운용시 적 생존율
Fig 7a. Survival rate of enemy forces during operation of KAAV and UGV

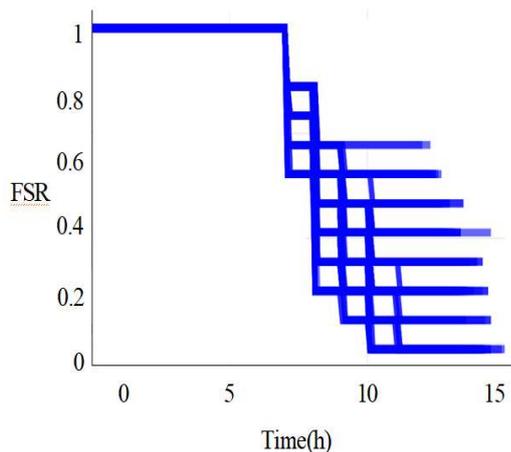


그림 7b. KAAV와 UGV 운용시 청군 생존율
Fig 7b. Survival rate of friendly forces during operation of KAAV and UGV

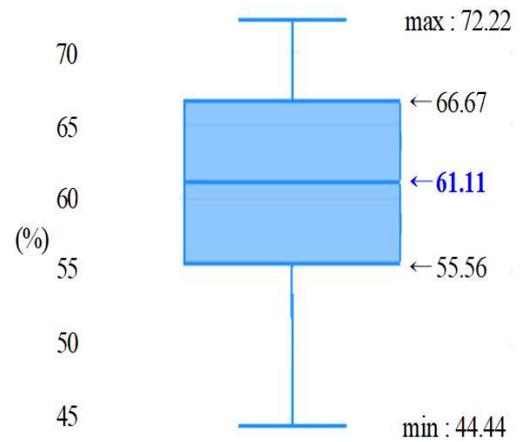


그림 7c. KAAV와 UGV 운용시 청군 전투효율성
Fig 7c. Friendly combat efficiency during operation of KAAV and UGV

표 2. UGV 운용 대수 증가에 따른 전투효율성
Table 2. Combat efficiency with increasing number of UGV operations

구 분	UGV 1대	UGV 2대	UGV 3대	UGV 4대	UGV 5대	UGV 6대
중앙값(%)	55.57	58.33	61.11	65.67	69.22	67.44
사분위수 범위	61.11 ~ 44.44	66.67 ~ 50.00	66.67 ~ 55.56	72.22 ~ 66.67	77.78 ~ 66.67	75.00 ~ 66.67

앞서 제시한 실험조건에 따라 UGV 운용 대수의 증가에 따른 중앙값의 변화는 <표 2>와 같으며 UGV 운용 대수 증가에 따라 전투효율성이 증가하다가 변곡점 이후 감소하였다.

두 번째 세트 간 UAV 운용 대수 증가에 따른 실험 결과는 <그림 7d>, <그림 7e>, <그림 7f>와 같다. <그림 7d>에서는 <그림 7a>와 비슷하게 <그림 6a> 대비 약 8 ~ 13시간 대에 0으로 수렴하는 수치가 증가하여 밀집도가 높아진 것을 알 수 있다. 이는 앞서 실험과 동일하게 청군의 UAV의 정찰능력으로 KAAV의 타격 준비시간이 줄어들며 따라 사격 횟수가 많아져 상대적으로 홍군 Tank의 생존율이 낮아진 결과로 평가된다. <그림 7a>에 비해 <그림 7d>가 수렴범위의 밀집도가 더 높다. 이러한 결과는 UAV의 기동속도가 높아 UGV 운용보다 적 정보 획득 확률이 증가하였고 적 정보 획득 시 정보공유 대상의 범위 차이로 인해 발생했다고 판단된다. <그림 7e>에서는 <그림 6b> 대비 산발범위가 줄어들고 청군 생존율이 높아진 것을 볼 수 있다. <그림 7b>와의 차이점은 <그림 7e>가 수렴범위의 밀집도가 더 높다. 이는 앞서 설명한 동일한 영향으로 전장의 불확실성이 줄어든 것으로 분석된다. <그림 7f>에서 보이는 것처럼 전투효율성의 중앙값은 58.33%가 되겠으며 KAAV만 운용할 때보다 UAV를 3대 추가 운영시 전투효율성이 5.55%p 향상되었다.

<표 2>에서 제시한 실험조건에 따라 UAV 운용 대수의 증가에 따른 중앙값의 변화는 <표 3>과 같으며 UAV 3대 운용 이

전에는 운용 대수 증가에 따른 전투효율성이 같이 높아졌지만 3대 이후로는 오히려 전투효율성이 낮아지는 역U자형 형태의 결과를 보였다. 분석 결과로 첫째, UAV가 중대급 제대에 한정된 작전구역에서 임무를 수행하다보니 운용 대수가 3대 이상이 되는 시기부터 UAV 각 행위자별 탐지범위가 중첩이 되어 오히려 전투효율성 향상에는 기여하지 못하였다. 둘째, 적 발견시 UAV는 중대급 운용장비이므로 적 위치정보를 청군 전 행위자에 전달한다. 실험결과 운용대수 3대 이상부터는 중첩되는 정보전달이 많아져 전투효율성 향상에는 영향력이 적었던 것으로 판단된다.

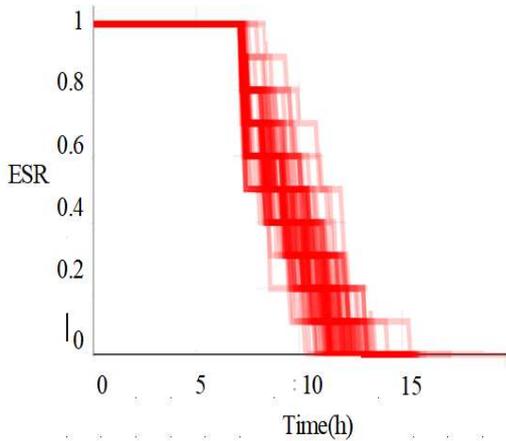


그림 7d. KAAV와 UAV 운용시 적 생존율

Fig 7d. Survival rate of enemy forces during operation of KAAV and UAV

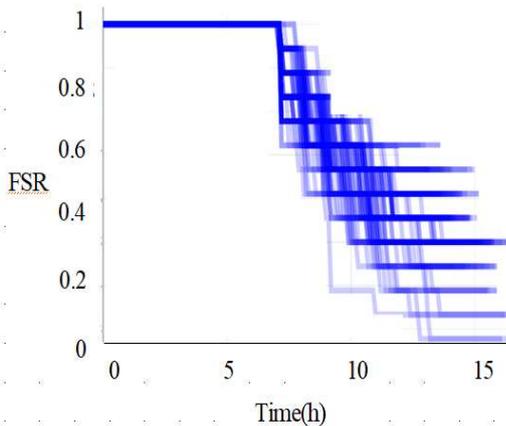


그림 7e. KAAV와 UAV 운용시 청군 생존율

Fig 7e. Survival rate of friendly forces during operation of KAAV and UAV

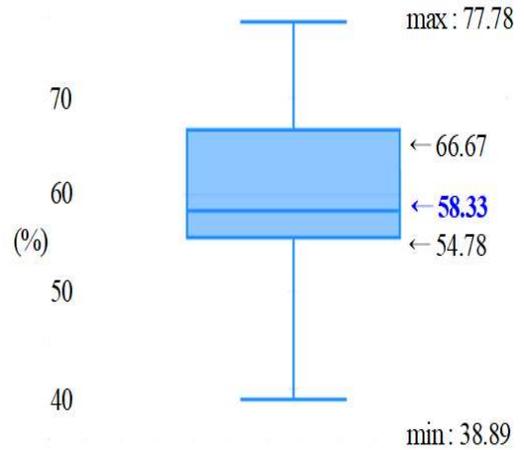


그림 7f. KAAV와 UAV 운용시 청군 전투효율성

Fig 7f. Friendly combat efficiency during operation of KAAV and UAV

표 3. UAV 운용 대수 증가에 따른 전투효율성

Table 3. Combat efficiency with increasing number of UAV operations

구 분	UAV 1대	UAV 2대	UAV 3대
중앙값(%)	58.31	60.89	58.33
사분위수 범위	61.12 ~ 47.22	63.89 ~ 54.17	66.67 ~ 54.78

세 번째 세트에 대한 실험결과는 <그림 8a>, <그림 8b>, <그림 8c>와 같다. <그림 8a>에서는 <그림 6a>, <그림 7a>, <그림 7d> 대비 약 11 ~ 13시간 대로 수렴하는 구간이 좁아지면서 밀집도가 높아진 것을 알 수 있다. 이는 청군의 UGV 운용과 이동에 제한을 받지 않는 UAV의 정찰능력이 더해져 전체 KAAV의 사격 준비시간이 줄어들어 따라 상대적으로 동일 시간 내 사격 횟수가 많아졌고, 흥군 Tank의 생존율에 대한 우발 변수 등 확률 변수가 줄어들어 결과값에 대한 범위 또한 줄어든 것으로 보인다. <그림 8b>에서는 <그림 6b>, <그림 7b>, <그림 7e> 대비 산발범위가 줄어들고 청군 생존율이 높아진 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 설명한 영향으로 분석된다. <그림 8c>에서 보이는 것처럼 KAAV와 UGV, UAV로 구성된 이중 다중 무인무기체계를 운용하는 세트 3의 전투효율성의 중앙값은 66.67%가 되겠으며 기존 무기체계인 KAAV만 운용하는 세트 1 대비 13.89%p, 단종 다중 무인무기체계를 추가하여 KAAV와 UGV, UAV를 각각 운용하는 세트 2 대비 각 5.56%p, 8.34% 전투효율성이 향상되었다. 기존 유인무기 체계로만 구성된 부대보다 한정된 수량안에서 유인무기체계와 이중, 다중 무인무기체계와의 세트 구성은 전투효율성 향상에 긍정적 영향을 끼친다는 사실을 알 수 있다.

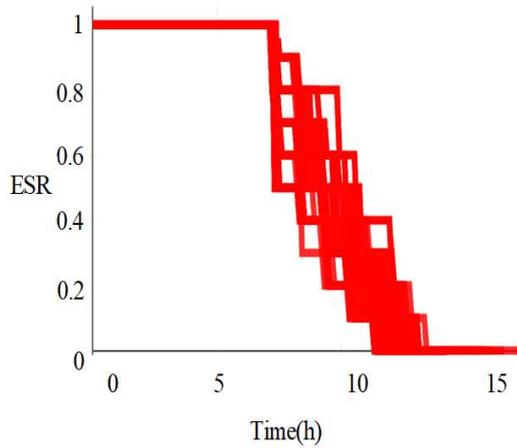


그림 8a. KAAV와 UAV, UGV 운용시 적 생존율
Fig 8a. Survival rate of enemy forces during operation of KAAV, UAV and UGV

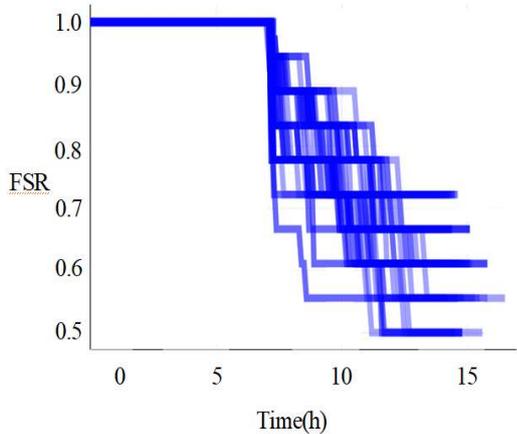


그림 8b. KAAV와 UAV, UGV 운용시 청군 생존율
Fig 8b. Survival rate of friendly forces during operation of KAAV, UAV and UGV

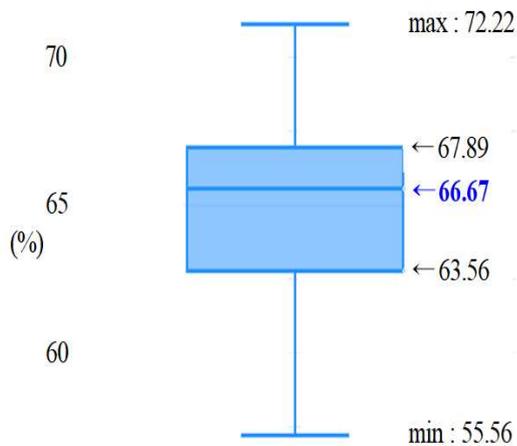


그림 8c. KAAV와 UAV, UGV 운용시 청군 전투효율성
Fig 8c. Friendly combat efficiency during operation of KAAV, UAV and UGV

표 4. 실험결과 요약

Table 4. Summary of experimental results

구분	Set 1	Set 2						Set 3
청군 중앙값 (%)	52.78	UGV 1대	UGV 2대	UGV 3대	UGV 4대	UGV 5대	UGV 6대	66.67
		UAV 1대		UAV 2대		UAV 3대		
		55.556		60.89		58.33		

본 시뮬레이션의 결과를 통해 전투효율성은 <표 4>와 같이 무인무기체계인 UGV와 UAV 모두 운용 대수가 증가할수록 일정 지점까지는 증가하다가 변곡점 이후 다시 감소함을 알 수 있다. 이러한 분석결과는 첫째, 변곡점 이후부터 무인무기체계의 운용대수가 증가할수록 행위자별 탐지범위의 겹침현상이 발생하였고, 이에따라 정보 수집에 미치는 영향력과 아군의 효율성을 증가시키는 이점이 줄어들었다. 둘째, UAV와 UGV가 홍군을 조기에 식별하고 청군에게 상황을 전파하는 제대의 차이로 판단된다. UAV는 중대급 운용장비에 따라 UAV가 홍군을 식별시 KAAV 제대 총 행위자에 이를 공유하여 사격준비시간을 최소화하여 사격횟수를 최대화하는 반면, UGV는 소대급 운용장비로 홍군 식별시 KAAV 1개 소대인 6대에만 상황을 공유하기 때문에 이와 같은 결과가 도출된 것으로 판단된다. 이에따라 제한된 전장 환경속에서의 시뮬레이션이었지만 단순히 고가의 장비인 유인무기체계 KAAV만 증가시키거나, UGV 또는 UAV 운용 대수만 증가시키기보다는 군의 무기체계 운용 제대 및 운용개념에 적합한 기준에 의거 기존 유인무기체계와 이종 무기체계인 UGV와 UAV를 운용시 전투효율성이 효율적으로 높아질 수 있다는 시사점을 얻을 수 있다.

4. 결론

미래 국방분야는 북한의 핵·미사일 위협이 현실화되고, 기술 패권 경쟁이 심화되며, 인구절벽에 따른 병력자원이 감소되어 이에 대한 대응과 제4차 산업혁명의 기술력을 바탕으로 무인무기체계 도입과 운용에 더욱 관심을 가질 것으로 예상된다. 이에따라 각 종 작전 상황속에서 유·무인 무기체계의 최적의 조합을 찾고 이를 통해 세부 운용개념을 정립해야 할 것이며, 안정적인 무인무기체계의 전력화 사업을 위해서 국민을 설득시키기 위한 획득논리를 보다 현실적이고 과학적인 방법으로 보완해야 할 것이다. 본 연구에서는 위에서 살펴본 최적의 조합과 세부 운용개념 수립, 획득논리에 기여하고자 작전 시나리오에 기반하여 이종 및 다중 무인무기체계(UGV, UAV)를 모델링하여 전투 효과를 분석하고 유·무인 복합체계 운용에 따른 전투효과 향상방안을 모색하였다. 본 시뮬레이션을 통해 군사작전 간 기존 지상 무기체계에 동종 무인체계의 수량을 높이는 효과, 이종 무인체계의 조합구성비를 달리하는 효과를 살펴 보면서 유인무기체계와 이종 및 다중 무인무기체계를 적합한 구성으로 임무를 부여하였을 때, 청군의 전투효율성이 비선형적으로 향상되는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 유·무인 복합체계 활용을 통해 전투효율성을 향상시킬 수 있다는 이론적 의

의를 도출할 수 있다. 이러한 결과를 실무적 차원에서 살펴보면 해병대 상륙작전 수행시, 작전 초기 상륙 및 목표 확보 간에 치명적인 전투력 손실이 발생하는 점, 작전환경 특성상 적시적인 전투력 충원 및 복원이 어렵다는 점 등을 고려시 <표 4>의 Set 1에서 Set 3으로의 전투효율성의 향상은 유·무인 복합체계를 활용한 해병대의 다양한 작전에 시사하는 바가 크겠으며 미래 전력화 사업에 있어서 무인 무기체계의 중요도 또한 알 수 있다.

본 연구결과는 해병대 상륙작전에 한정된 중대급 소규모 전투 교전 시나리오라는 한계점이 있다. 따라서 보다 현실을 반영하고 신뢰성 있는 실험 결과값을 도출하기 위해서 다음과 같은 후속연구가 필요하다. 첫째, 교전 시뮬레이션의 시나리오를 현실화하여 실제 작전 운용개념에 적용 가능성을 높일 수 있다. 임무, 적 상황, 지형(고저차), 가용시간, 민간요소(건물, 도로) 등의 실시간 상황을 추가 고려하여 실행할 수 있을 것이다. 둘째, 실제 전장환경과 유사한 다양한 행위자를 모델링함으로써 운용성능 파라미터를 분석하는 것이다. 공통사항으로 장애물 또는 장애물 지대, 기술발전을 고려한 행위자별 무장의 세부화가 가능하겠으며 청군의 KAAV에 탑승한 보병제대 묘사 및 곡사화기 운용부대의 화력지원, 홍군의 대전차무기 및 반땅크 지탱점 구성요소 등을 행위자로 추가하여 분석할 수 있다. 셋째, 본 연구를 통해서 유·무인 복합체계가 전투효율성에 미치는 영향이 있다는 것을 알게 되었는데, 후속연구로 위협양상이 변화할 때 확장 가능한 티밍 무인체계로의 자율 진화하는 논리를 모델링할 수 있을 것이다. 이를 통해 모자이크전과 같이 미래 전장환경에서의 국방로봇의 효과적인 운용개념을 발전시키는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] T. Ryu, "The Fourth Industrial Revolution and the Application of Science and Technology in Defense" Korea National Strategy Research Institute, Vol. 5, No. 3, pp. 228-231, 2021.

[2] Ministry of National Defense, "Discussion on Defense Innovation 4.0 Major Issues and Alternatives-Holding the Second Seminar on Defense Innovation 4.0", Press Release, 2022.

[3] C. Park, "A Study on the Establishment of Unit and Power Structure Considering AI and Manned-Unmanned Complex System", Defense Innovation 4.0 Second Seminar, pp. 93-102, 2022.

[4] <https://www.youtube.com/watch?v=bX8mnnpAofl>(검색일 : '22.10.15.).

[5] H. Chae, D. Lee, "Development of Real Surveillance System Using UGV and UAV" Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 978-987, 2020.

[6] S. Baek, et. al., "Research of Classification Mechanism for Combat Scale based on Intelligent Agent in Surveillance and Reconnaissance on

Sensor Network" The Korean Institute of Information Scientists and Engineers, pp. 143-145, 2013.

[7] J. Baek, C. Lee, "An Analysis on the Influential Factors to Set the Path Planning Algorithm for Unmanned Ground Vehicle in Combat Environment" The Journal of Korea Robotics Society, pp. 233-242, 2009.

[8] S. Lee, et. al., "Simulation-Based Design and Verification of Small Scaled 6x6 UGV Model" The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 56-57, 2016.

[9] S. Kim, Y. Kim, "An Intergrated Operation of UAV and UGV for Improving Combat Power" Korea Institute Of Communication Sciences, pp. 445-446, 2017.

[10] J. Choi, S. Kim, "Study on the Improved Target Tracking for the Collaborative Control of the UAV-UGV" Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 450-456, 2013.

[11] J. Lee, et. al., "A Study of Experimental Design for Unmanned Ground Vehicle Effectiveness Based on a Small Unit Combat Scenario" Korean Society for Quality Management, pp. 591-606, 2014.

[12] J. Hong, et. al., "A Study on the Implementation of Agent-based Combat Object Modeling for Analysis of Armed-Helicopters Mission Effectiveness" Society for Computational Design and Engineering, pp. 734-740, 2012.

[13] I. Kang, "2011~2013 Trends in the acquisition of the world's main tanks", Defense Agency for Technology and Quality, Vol. 13, No. 3, pp. 192-201, 2013.

[14] <https://www.hanwha-defense.co.kr/kor/products/maneuver-kaav.do>(검색일 : '22.10.3.).

[15] D. Oh, J. Moon, "ROK Military weapon system 2022-2023", defensetimes, Inc. Seoul, pp. 190-191, 2021.

[16] <https://www.news1.kr/articles/?4269815>(검색일 : '22.10.3.).

[17] J. Lee, et. al., "Interrelation Analysis of UGV Operational Capability and Combat Effectiveness using Anylogic Simulation" The Korean Reliability Society, pp. 131-138, 2015.