

유무인 지상 전투 체계의 협동 교전 모델링 및 분석

한상우[†] · 변재정

Modeling and Analysis of Cooperative Engagements with Manned-Unmanned Ground Combat Systems

Sang Woo Han[†] · Jai Jeong Pyun

ABSTRACT

Analysis of combat effectiveness is required to consider the concept of tactical cooperative engagement between manned-unmanned weapon systems, in order to predict the required operational capabilities of future weapon systems that meets the concept of ‘effect-based synchronized operations.’ However, analytical methods such as mathematical and statistical models make it difficult to analyze the effects of complex systems under nonlinear warfare. In this paper, we propose a combat simulation model that can simulate the concept of cooperative engagement between manned-unmanned combat entities based on wireless communications. First, we model unmanned combat entities, e.g., unmanned ground vehicles and drones, and manned combat entities, e.g., combatants and artillery, considering the capabilities required by the future ground system. We also simulate tactical behavior in which all entities perform their mission while sharing battlefield situation information through wireless communications. Finally we explore the feasibility of the proposed model by analyzing combat effectiveness such as target acquisition rate, remote control success rate, reconnaissance lead time, survival rate, and enemy’s loss rate under a small-unit armor reconnaissance scenario. The proposed model is expected to be used in war-game combat experiments as well as analysis of the effects of manned-unmanned ground weapons.

Key words : Manned-unmanned ground systems, required operational capability, cooperative engagement modeling, combat effectiveness analysis, and OneSAF(One Semi-Automated Forces)

요약

현대합동작전의 기본 개념인 ‘효과중심의 동사-통합작전’에 부합하도록 신규 무기체계의 작전 요구 능력을 예측하기 위해서는 유무인 무기체계 간의 전술적 협동 개념을 고려한 전투 효과분석이 요구된다. 그러나 수학적, 통계적 모형 등 해석적 기법으로는 비선형전 하에서의 복합체계 효과를 모의하기가 곤란한 실정이다. 이의 대안으로 실제 전장 상황과 유사하도록 시물레이션 환경을 조성하고 신규 무기체계가 작전에 미치는 영향을 분석할 수 있는 모의 분석 능력이 요구된다. 이에 본 논문에서는 무선 통신을 기반으로 유무인 전투개체 간의 협동 교전 개념을 모의할 수 있는 전투 모의 모델을 제안한다. 먼저 미래 지상 체계의 요구 능력을 고려하여 로봇, 드론 등 무인전투개체와 전투원, 야포 등 유인전투개체를 모델링한다. 그리고 각 개체들이 무선 통신을 통해 전장 상황 정보를 공유하며 전투를 수행하는 전술적 과업을 모의한다. 마지막으로 소부대 기갑 수색정찰 시나리오 하에서 정찰용 지상로봇 운용 시 표적 획득률, 원격 통제 성공률, 수색 소요 시간, 작전간 생존율, 적 손실률 등의 전투효과를 모의실험을 통해 산출함으로써 개발된 모델의 활용 가능성을 확인한다. 향후 제안된 모델은 유무인 지상 무기의 효과 분석은 물론 각종 위게임 전투 실험 분야에서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

주요어 : 지상 유·무인 전투체계, 작전요구성능, 협동교전모의, 전투효과분석, OneSAF(One Semi-Automated Forces)

* 본 논문은 2018년도 한국시물레이션학회 추계학술대회 (동국대학교, 서울)에서 발표된 논문을 수정·보완하였음.

Received: 4 September 2019, Revised: 17 May 2020,
Accepted: 17 May 2020

[†] Corresponding Author: Sang Woo Han
E-mail: swhan22@gmail.com
Agency for Defense Development

1. 서론

현대전의 양상에 부합하는 신개념 무기체계의 적정 요구 성능을 도출하기 위해서는 통신/네트워크의 효과를 반영한 유·무인 무기체계의 상호연동과 다양한 전술적 상

황을 고려한 효과분석이 요구된다. 그러나 란체스터 기법과 같이 해석적 방법으로는 복잡도가 높은 미래 무기체계의 전투효과를 예측하기가 곤란하다. 이에 실제 전장 상황을 유사하게 모의할 수 있는 위게임 모델을 통해 미래 무기체계가 임무 수행에 미치는 영향을 분석할 수 있는 전투 모의 능력이 요구된다. 현재 지상군의 전투 모의 분석용 AWAM(Army Weapon effectiveness Analysis Model) 등 지상무기효과분석모델은 무인감시·원격 통제·통신 모의 등 지상 무인 체계의 핵심 성능 모의가 제한되어 네트워크 중심 작전 환경의 특성이 반영된 임무별 체계 작전 기여 효과 분석은 한계가 있는 실정이다(한상우 외, 2014). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 미래 지상무인 전투 체계에 대한 운용개념을 고려하여 임무·위협 시나리오 모델링, 무인 전투 체계의 기능·성능 모델링 및 전투행위 모델링을 하는 한편, 개발 모델을 활용하여 미래 지상무기체계의 대안분석을 수행하여야 한다.

이에 본 연구에서는 유·무인 지상 전투 체계의 모의 실험에 활용 가능한 유·무인 전투체계의 협동 교전 모델을 설계·구현한다. 여기에는 미래 유무인 전투 부대의 운용개념에 따라 무인 차량, 통제 차량, 통신 중계 드론 및 유인 전투체계를 모델링한다. 또한 다수의 전투개체들이 상호 협조 하에 적 표적 탐지에서부터 다중 표적 정보 융합, 위협 평가, 전술적 조치로 이어지는 유무인 수색 정찰 과업을 모델링한다. 한편, 유무인 지상 전투 체계는 전투 무선망에 기반을 둔 전장 정보 공유 및 지휘통제 기능을 발휘해야 하므로 무선 통신 장비의 제원과 성능, 송수신기 사이의 지형·장애물 등을 고려하여 통신 가능성을 예측하는 모델을 구현한다. 이 모델을 이용하여 통제 차량에 의한 무인 차량의 원격 통제를 모의하면서 드론에 의한 통신 중계도 함께 모의한다.

설계된 모델은 OneSAF(One Semi-Automated Forces) 국제판을 이용하여 구현된다. OneSAF는 여단급 이하 제대의 전투 모의가 가능한 미 육군의 전투 모의 모델 개발 도구이다(Wittman et al., 2001). 구현된 유·무인 전투개체 모델들은 지형특성이 반영된 전장 환경 모델 위에서 상호작용하는데, 주어진 실험 계획에 따라 아군과 대향군의 전투 부대는 각각 수색 정찰 및 지역방어 과업을 수행하면서 조우 시 교전을 벌이도록 모의된다. 전투 모의 실험 결과는 표적 획득률, 원격 통제 성공률, 수색 소요 시간, 작전간 생존율, 적 손실률 등의 전투효과도로 나타나며, 이를 통해 유무인 지상 전투 체계의 작전 기여 가능성을 확인할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 유무인 협

동 교전을 모델링하기 위한 관련 기법들을 살펴본다. 3절에서는 유무인 협동 교전 모의 시 요구되는 유무인 전투개체 모의, 유무인 수색 정찰 과업 모의, 무선 통신 및 원격 통제 모의 등 요소 기법을 제안한다. 이어서 4절에서는 유무인 지상 전투 체계의 협동 교전 모델의 구현 결과를 설명하고 모의실험을 통해 도출된 지상 무인 체계의 작전 기여 효과를 분석한다. 5절에서는 연구내용을 요약하며 본 논문을 맺는다.

2. 연구문제 및 관련연구

연구 내용을 설명하기에 앞서, 본 연구에 대한 전체적인 이해를 돕기 위해 해결하고자 하는 주요 연구문제에 대해 설명하고자 한다.

첫째, 유인 단독 체계에 비해 증강된 전투능력을 발휘할 것으로 예상되는 유무인체계는 발전된 운용개념에 따라 신개념 전투기술을 구사할 수 있도록 군사적 과업이 새롭게 모델링되어야 한다. 유무인 복합체계의 운용 개념은 초기 연구 단계 있기 때문에 현 단계에서는 명확히 정립되어 있지 않다. 그러나 유인체계에 비해 월등히 개선된 전장상황인식 능력, 첨단 통신장비에 의해 증강된 정보 공유 능력, 위협 평가 및 화력 분배를 자동 처리하는 표적 처리 자동화 능력 등으로 인해 전투 모의 모델에서 제공해야 하는 유무인체계의 과업모델은 유인 단독 체계의 과업모델과는 달리 새롭게 설계되어야 한다. 그러나 기존의 교전급 국방 M&S 모델은 현용 무기체계 또는 소부대 위주로 과업 모델만 개발되었기 때문에 무인체계와 유인체계가 교신하고 협조하는 형태의 과업을 자동 모의하는 것은 제한되었다. 불가피하게 이를 모의해야 하는 경우, OneSAF에서는 운용자가 많은 무인 개체의 이동 계획과 사격 계획을 수작업으로 입력해야 해서 모의실험을 준비하는데 수일에서 수주의 시간이 소모되었다.

둘째, 유인체계와 달리 무인체계는 인간의 원격 통제 하에 운용되므로, 유인체계와 통신링크가 연결된 조건 하에서만 주어진 과업을 수행할 수 있다. 따라서 송수신기간 무선통신 모의가 필수적이고, 무인체계는 통제차량과 통신이 가능할 때 원격 조종, 원격 사격, 원격 감시 능력을 발휘토록 모의되어야 한다. 만약 통제차량이 파괴되거나 통신이 제한되는 경우에는 무인체계의 가동을 제한해야 한다. 그러나 기존의 교전급 국방 M&S 모델은 지휘통신 모의가 제한되어 통신 연결이 되었다는 가정 하에 모의실험을 진행할 수밖에 없었다. 불가피하게 무인차량을 모의해야 하는 경우에는 기존 유인차량에 무인차량의

무장, 방호, 탐지장비 등의 특성 값을 반영하되, 통제차량에 의한 통신 기능성 및 원격 통제 기능성에 따른 무인차량의 전투력 발휘는 사실상 고려할 수 없었다.

이처럼 유무인 지상 전투체계의 전투효과를 분석하기 위해서는 ① 유무인 복합체계의 신개념 전투기술을 과업 모델로 정의하여 모의할 수 있어야 하고 ② 교전 시 전투개체 간의 전장정보 공유, 전문송수신과 같은 물리적 통신 특성 모사가 가능해야 한다는 점에 주목해야 한다. 이와 같은 관점에서 국내외 연구사례를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 부대 단위의 과업모델과 전투개체 단위의 행위 모델은 국방 M&S 분야에서 그 동안 많이 연구되어 왔다. 유무인 복합체계의 과업도 이산사건 모델링, 에이전트 기반 모델링, 학습 기반 모델링 등 그 동안 연구되어 온 이론적 기법을 토대로 모델링할 수 있다. 다만, 통신드론의 운용, 통신범위 내 무인차량 운용, 무인관측보고·정보융합 및 결심·표적처리 등 유무인 복합체계의 특성과 전투 기술 등을 고려하여 과업모델을 재설계해야 한다. 먼저 이산사건 모델링 기법은 수학적 모형을 이용하여 시스템의 동작을 정형적으로 모델링하는 방식이다. 이의 연구사례를 살펴보면, (Seo *et al.*, 2014)에서는 DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론에 기초하여 무기체계의 특성과 전술을 모델링하고 전투함의 탐지능력, 이동식 유인체의 속도와 이동패턴, 어뢰의 탐색패턴의 변화에 따라 전투함의 생존률을 분석하였다. (장대순 외, 2018)은 무인체계의 자율적인 행위를 모델링할 수 있도록 고전 DEVS 형식론을 확장하여 무인수상정의 자율 기동 시뮬레이션을 구현하였다. 다음으로 에이전트 기반 모델링 기법은 자율적 에이전트의 상호작용에 의해 행동 계획을 수립·이행하여 목표 상태에 도달하는 방식이다. 예를 들면, (김주연 외, 2018)은 오픈소스 에이전트 기반 모델링 도구인 NetLogo를 이용하여 유무인 기갑수색부대의 전투행위를 모의하였다. 여기서는 작전지역 내 기동로 여건, 적 위협 요소, 정찰자산 등을 고려하여 적정 수색 경로를 도출하는 기갑수색부대 전술 행위를 모델링하였다. 유사한 사례로 (이재영 외, 2015)는 상용 도구인 AnyLogic을 이용하여 각 유무인체계의 기동, 사격, 탐지, 통신, 피해평가 모의논리와 전술적 행동 규칙을 설계 구현하였다. 주어진 교전 시나리오 하에서 민감도 분석 결과를 제시함으로써 에이전트 기반 모델링 기법을 이용한 유무인 지상 전투 체계의 전투 효과 분석이 가능함을 확인한 바 있다. 한편, 교리, 교전수칙 등 규칙 집합을 토대로 전투개체의 상황별 적정 행동을 추론하는 방식도 연구되고 있다.

(Tolt *et al.*, 2017)는 다중 에이전트 시스템과 맥락 기반 추론 기법을 결합하여, 전투개체의 전술적 기동, 수색 정찰, 공격 과업을 수행하는 방법을 제안하였고 상용 위계 임 모델에서 그 결과를 입증하였다. (한창희, 2016)에서는 유사사례를 통한 추론 기법을 이용하여 전투개체의 목표 지향 행동 계획을 수립하는 기법을 제안하였는데, 주어진 목표와 관련된 유사 행동 계획 사례를 검색하고, 필요에 따라 이를 수정·재사용하는 방식이다. (Tolt *et al.*, 2017)과 (한창희, 2016)은 전문가시스템과 추론기법을 다중 에이전트 시스템에 적용하여 주어진 공동의 문제를 해결하는 방식이다. 이 방식은 전투개체의 행동 목표와 규칙을 정의하고 전투개체 간에 느슨한 상호작용을 모의하기에 유리한 방법이다. 다만, 유·무인 지상 전투 체계의 전술적 운용 개념을 반영한 행동 규칙은 아직 적용되지 않은 상태이므로, 이에 관한 추가 연구가 요구된다.

둘째, 물리적 통신 특성 모의 기법은 저충실도 전파 모델을 적용하는 방식과 고충실도 네트워크 시뮬레이터를 연동하는 방식으로 연구되어 왔다. 먼저, 저충실도 전파 모델 적용 방식은 전파모델을 이용하여 복수의 전투개체 간에 점대점 무선통신 또는 원격통제 가능 여부를 판단하여 전투 모의에 반영한다. OneSAF는 폭발물 처리 로봇, 정찰 로봇 등 미 육군이 보유한 소형 로봇 중심으로 무인체계 모델을 제공하고 있는데, 이때 적용된 무선 통신 모델은 비교적 단순하게 묘사되어 있다. 예를 들면, 원격 통제 장치를 가지고 있는 운용병과 소형 로봇 간에 가시선이 확보되었는지, 원격 통제 장치와 소형 로봇의 직선상의 거리가 통신 가능 거리 안에 있는지를 판단하여 통신 가능 여부를 판단토록 하고 있다. 이 모델은 로봇과의 가시선이 확보된 조건 하에서 근거리 원격 조종을 수행하기 위함인데, 수백 m에서 수 km에 이르는 운용범위를 갖는 증강된 무인 전투 체계를 묘사하기에는 제한이 있다. 이를 보완하기 위해 (장유상 외, 2017)은 전파 모델을 이용한 무인 전투 체계의 전투 효과 분석 기법을 제시하고 있다. 구체적으로 설명하면 무인 전투 체계에서 통신 성공 여부가 전투 결과에 영향을 줄 수 있다는 가정 하에 유인차량과 무인차량 간에 무선 통신을 이용하여 전술적 체계 운용에 관한 명령과 메시지를 송수신할 때, 메시지 전달 오류로 인한 전투 효과의 변화를 에이전트 기반 모델링 기법으로 분석하지만, 유무인 전투체계 효과 분석에 활용은 제한된다. 고충실도 네트워크 시뮬레이터를 연동하는 방식은 복수의 단말 간에 동시 다발적인 메시지 송수신을 모의하면서 처리량, 패킷손실률, 종단간 지연, 지터 등 네트워크 연결성을 분석하는데 적합하다. 대표적인

사례로 미 육군에서 FCS(Future Combat Systems)를 개발할 당시에 네트워크 성능 및 효과분석을 위해 교전급 전투 모의 모델과 CES(Communication Effects Server)를 연동하여 교전모의를 수행하였는데, 이는 영상 트래픽의 송수신 품질을 정량적으로 분석하기 위해 네트워크 시뮬레이터를 연동한 사례로 볼 수 있다(한상우 외, 2016). 한편, (Kang et al., 2018)은 고충실도 네트워크 시뮬레이터의 해석결과를 학습하여 지휘통신 체계의 중단 간 지연과 패킷 손실률을 신속히 분석할 수 있는 이산사건 동적 대체 모델을 개발하였다. 이 기법을 이용하면 대부대 전투모의 시 네트워크 품질분석을 포함한 지휘통신체계의 신속한 효과분석이 가능하다.

본 연구 목적을 고려할 때, 기존 연구 결과로부터 다음과 같은 추가 연구가 필요함을 확인할 수 있다. 전투 모의 모델의 전술 행위는 공동의 임무·과업을 수행하기 위해 다수의 전투개체가 주어진 규칙과 절차에 따라 상호 협조하도록 모의해야 한다. 따라서 전술 행위를 모의하기 위해서는 유·무인 지상 전투 체계의 전술적 운용 개념을 반영하여 부대 단위의 과업모델과 전투개체 단위의 물리·행위모델로 구분하여 구체화 하여야 한다. 또한 전투 모의 모델의 통신 특성 모의는 유무인 전투부대가 지형조건, 통달거리 등 무선 통신 여건을 고려하여 전문을 송수신할 수 있도록 모의하여야 하고, 이를 토대로 유무인 전투체계의 협동 교전이 모의되도록 해야 한다. 이러한 맥락에서 다음 절에서는 지상 무인 체계의 기능·성능 요소와 유무인 전투체계의 수색정찰행위를 모의하기 위한 모델 설계 방법을 제시한다.

3. 유무인 협동 교전 모의

이 절에서는 유무인 지상 전투 체계를 이용한 수색 정찰 협동 교전 모의 방법을 제안한다. 수색 정찰은 탐지 수단을 활용하여 적의 위치·규모·활동에 관한 정보를 얻기 위해 실시되는 임무로서 통상 전투 수행에 필요한 적정 상황을 수집하고, 필요시 가용 타격 수단을 활용하여 적을 제압하여 본대의 작전 수행 여건을 보장하는 것을 그 목적으로 한다.

1) 유무인 수색 정찰 작전은 적 활동이 의심되는 특정한 통로에 무인 차량을 선두로 하여 적 상황을 파악하는 것이다. 통로수색 상호 협력을 부여받은 무인 차량과 전투

1) 접적 구역으로 이동하여 수행되어야 하는 수색 정찰의 특성상 선두 부대의 피해 가능성이 높는데, 무인 차량을 부대 선단에서 운용함으로써 항상 된 감시능력으로 적을 먼저 발견하고, 전투원의 인명 피해를 최소화한다.

원은 진입 경로를 따라 정찰 경로의 시작점에 들어선다. 그리고 정찰 경로를 따라 이동한다. 정찰 경로의 확인점에 도착하면 지휘관에게 통로 형태, 통로 폭, 통로 내 장애·은폐물 여부, 정찰 완료 시간 등을 보고한다. 끝으로 탈출 경로를 따라 다음 집결 지점으로 이동한다. 한편, 수색 중, 화력 수색 또는 본대의 작전 여건 보장을 위해 소규모 위협을 제거하기 위해, 필요시 무인 체계는 화력 유도를 통해 유인 체계와 협조하여 적을 제압해야 한다.

유무인 지상 전투 부대의 기갑 수색 과업을 모의하기 위하여 필요한 전투개체 간의 상호 협력 다이어그램은 Fig. 1과 같다. 제안하는 방법은 무인 차량, 통신 중계 드론 등 무인 체계와 통제 차량, 전투원, 박격포 등 유인 체계가 상호 협력 하에 개별적인 상황인식, 의사결정, 작용과정을 거쳐 수색 정찰 행위를 모의하도록 설계된다. 이 행위 모델의 최종 목적은 주어진 지역 또는 통로를 수색하여 적 위협의 위치와 규모 등을 파악하고 지휘관에게 보고하고 가능한 능력 범위 내에서 적 위협을 제압하는 것이다. 시뮬레이션 초기 단계에서는 각 에이전트에게 수색해야 할 지역 또는 통로 정보만 주어진다. 시뮬레이션이 진행됨에 따라 에이전트들은 전장 상황 정보를 수집해 나아가며, 수색 중에 적 위협을 식별하였을 때에는 적 위협을 평가하여 상황 보고, 화력 유도, 제압 사격 등 필요한 조치를 자체적으로 판단·수행한다.

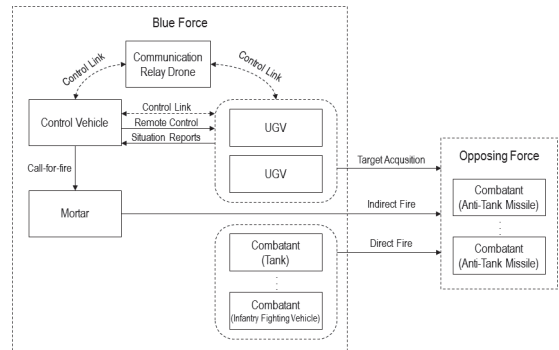


Fig. 1. A conceptual diagram of relationship between manned-unmanned combat entities

3.1 유무인 전투개체 모델링

유·무인 전투 부대는 무인 차량, 통신 중계 드론 등 무인 전투개체와 통제 차량, 야포, 전투원 등 유인 전투개체로 구성된다.

통제 차량은 무인 차량 2대를 원격으로 조종하여 지휘관으로부터 부여받은 의심 지역 또는 통로를 수색하고,

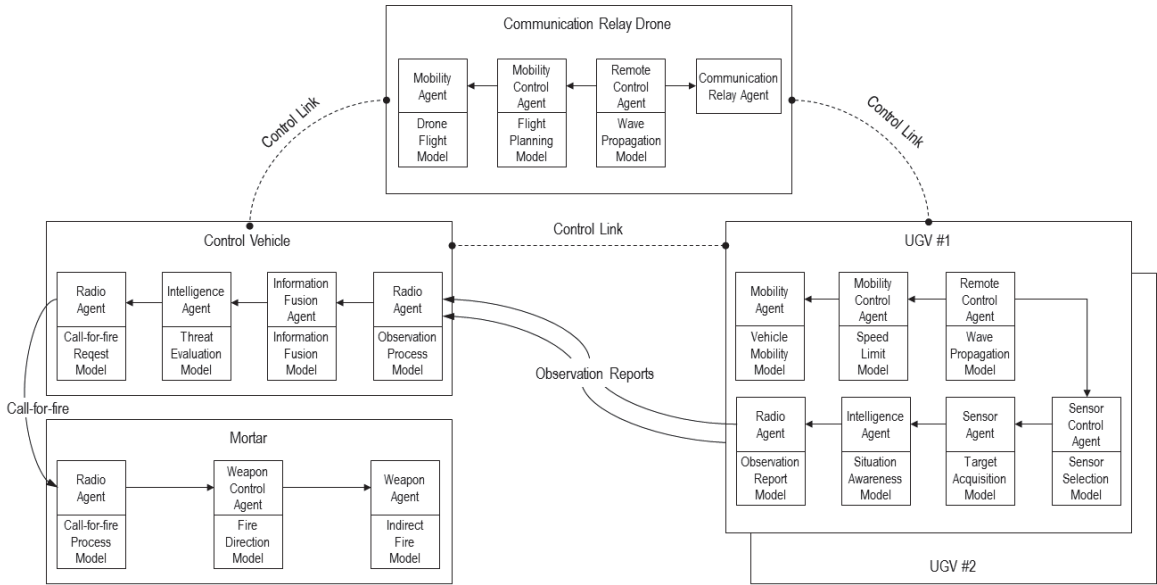


Fig. 2. Representing a manned-unmanned reconnaissance behavior model based on multi-agent interaction

수색이 완료되면 목표점으로 이동하는 과업을 수행한다. 통제 차량은 무인 차량으로부터 보고받은 적 위협 정보를 지휘관에게 보고하고, 주어진 의사결정 논리에 따라 지휘관에게 화력 지원을 요청하거나 무인 차량에게 후회하여 수색 정찰 과업을 계속 수행토록 지시한다. 통제 차량은 무선 통신을 이용하여 무인 차량을 원격 조종한다. 만약 통신이 두절되면 통제 차량이 무인 차량에게 주행 명령 또는 감시 명령을 내릴 수 없다. 예를 들어 통제 차량과 무인 차량 사이에 장애물이 존재하여 가시선이 확보되지 않거나, 통달 거리를 벗어나는 경우에는 통제 차량이 무인 차량을 통제할 수 없게 된다.

무인 차량은 부대의 선단에서 수색 정찰 과업을 수행하고 탐지된 적 위협 표적을 통제 차량에게 보고한다. 무인 차량은 차륜형 전술 차량과 유사한 형태로 모의되며, 원격 주행 속도는 농경지, 초지, 수풀 등 지표면 특성과 노면 경사도를 고려하여 해당 차량이 낼 수 있는 최대속도와 주어진 전술 기동 제한 속도 중 낮은 것을 선택하여 적용한다. 만약 통제 차량과의 통신 링크가 단절되면, 무인 차량은 통신 가능한 이전 지점까지 되돌아간다. 무인 차량은 무인 감시 장치를 이용하여 적 위협 표적을 탐지한다. 무인 감시 장치는 주간에 운용되는 가시광선 영상 센서와 야간에 운용되는 적외선 영상 센서로 구성된다. 무인 차량은 적 표적이 일정한 범위 안에 있고 가시선이 확보되면, 무인 감시 장치의 탐지 성능을 고려하여 표적

에 대한 탐지·인지·식별을 한다. 이때 무인 차량이 식별한 표적 정보는 통신 링크가 연결된 경우에 한해 통제 차량과 공유 가능하다. 무인 차량은 무장을 탑재하지 않는다고 가정하므로, 적으로부터 공격을 받았을 때에는 후회 또는 후퇴해야 한다.

통신 중계 드론은 무인 차량이 통제 차량과 통신 가시선이 확보되지 않아 교신할 수 없는 상황에서 통제 차량과 무인 차량 간 기동, 사격, 감시정찰 등 원격 조종 메시지를 중계함으로써, 무인 차량의 원격 조종 가능범위를 확대시킨다. 통신 중계 드론은 주어진 고도에서 비행하며 드론과 통제 차량, 드론과 무인 차량 간에 충분한 가시선을 확보한다. 그리고 전파 모델과 무선 통신 시스템 모델을 이용하여 드론과 통제 차량, 드론과 무인 차량 간 통신 링크 성립 여부를 판단한다. 통신 링크 양쪽이 모두 성립한다면, 통신 중계를 모의한다. 통신 중계 드론은 통제 차량과의 통신 링크가 연결된 경우에만 과업 수행이 가능하다. 드론에 적용된 비행 모델은 주어진 계획에 따라 모든 경로점을 순차적으로 경유하도록 설계된다. 단 풍향·풍속 등을 고려한 비행 모의는 포함되지 않는다.

박격포는 화력 지원 요청을 받은 경우, 표적에 대해 간접 사격을 실시한다. 박격포는 통제 차량부터 사격 요구를 접수하고 박격포에서 표적까지의 방향, 수직거리, 수평거리 등 사격 제원을 산출한 후 사격한다. 박격포는 표적에 사격할 때, 사격 요구를 접수하여 사격 제원을 산출

하기까지 걸리는 시간, 앞선 화력 지원 요청에 우선적으로 대응하기 위해 발생하는 사격 지연 시간, 목표물에 명중하여 폭발하기까지 걸린 시간을 고려하여 탄착 시간을 모의한다.

그 외에 전차는 부대 선단에서 수색 정찰 과업을 수행하는 무인 차량을 엄호한다. 전차의 전차포는 유효사거리가 길고 관통력이 우수하기 때문에 무인 차량을 위협하는 적 장갑차와 전차를 제압하는 역할을 맡는다. 장갑차는 탑승 수색이 제한되는 의심 지역에서 하차 수색을 실시한다. 끝으로 적 위협 세력의 전투원은 대전차 화기를 운용하여 아군을 위협하는 적의 대전차 공격 능력을 모의한다.

3.2 유무인 수색 정찰 과업 모의

유무인 전투 부대의 수색 정찰 모의 과정은 ① 무인 차량에 의한 적 표적 탐지 단계, ② 통제 차량이 복수의 무인 차량으로부터 수신된 첩보를 바탕으로 표적을 식별하는 정보 융합 단계, ③ 통제 차량이 표적 정보를 기반으로 위협 평가를 실시하고 의심 지역 또는 적 표적을 향해 화력을 투사하는 전술적 조치 단계로 구성된다. 세부 절차는 Fig. 2와 같다.

첫째, 표적 탐지 단계에서는 각 무인 차량이 자체 탑재된 무인 감시 장치를 이용하여 표적을 찾고 표적에 대한 탐지·인지·식별 여부를 모의한다. 이 단계에서는 회전 가능한 무인 감시 장치에 탑재된 주간카메라, 열 영상 카메라의 성능에 따라 표적 탐지 능력이 결정된다. 센서 통제 에이전트는 의심구역 내에서 표적을 탐지하기 위해 FOR(Field Of Regards) 범위 안에서 FOV(Field Of View)를 결정한다. FOR은 회전식 센서에 의해 포착되는 전체 영역으로서 360도로 설정된다. FOV는 특정 시간에 센서가 탐지하는 영역이다. 센서 에이전트는 주어진 센서 회전속도에 따라 센서의 지향 각도를 임의로 변화시켜 FOV를 결정한다. 센서 선택 모델은 조우 조건에 따른 센서 선택 기준을 제시한다. 구간에는 TV카메라를 선택하고, 야간에는 열 영상 카메라를 선택한다. 센서 에이전트는 주어진 FOV와 센서를 이용하여 표적을 찾는다. 표적식별모델은 센서의 분해능, 환경 조건(주야간, 거리, 배경, 날씨, 계절, 배경 등), 표적형태에 따른 최소 탐지 온도차 데이터를 이용하여 표적에 대한 탐지·인지·식별 여부를 판정한다. 정보 에이전트와 상황 인식 모델은 센서에서 제공하는 정보를 종합하여 표적 목록을 만들고 갱신한다. 상황 인식 모델은 탐지된 모든 개체에 대한 표적 목록을 생산하는데, 인식된 개체는 하나 이상의 센서로부터 탐지된 것이다. 새로 탐지된 개체는 표적 목록

과 비교하게 되며, 동일한 개체인데 이전 단계에 비해 더 많은 정보가 수집되었다면 탐지·인지·식별 순으로 표적 목록을 갱신한다. 그리고 무전기 에이전트는 표적 목록을 관측 보고 형태로 통제 차량에게 보고한다. 관측 보고 모델은 적 관측 활동 결과를 통제 차량에게 보고하기 위해 사용된다. 포함되는 자료는 관측자의 위치, 관측 시간, 관측된 적 개체 정보이다. 관측된 적 개체 정보에는 진영, 적 부대 규모, 적 활동상태, 적 부대 이동 속도, 적 개체 좌표, 적 개체의 종류와 수, 적 개체와 관측 센서의 방위각, 관측 센서 등이 포함된다.

둘째, 정보 융합 단계에서는 통제 차량이 다중 무인 차량으로부터 수신된 관측보고를 통해 적 표적 정보를 융합, 통합 표적 목록을 생산한다. 통합 표적 목록은 표적 식별자, 표적 진영, 표적 유형, 표적 위치, 표적 손상 상태, 표적 속도, 표적 탐지 시간 등으로 구성된다. 이때 각 무인 차량이 보내온 관측보고는 같은 표적에 대한 보고일지라도 표적 식별자가 상이할 가능성이 있다. 따라서 통제 차량은 다중 무인 차량으로부터 중복 수집된 표적 탐지정보를 분류·합성하여 표적 정보의 불명확성을 감소시켜야 한다. 이를 위해 정보 융합모델은 특정 시간에서의 위치, 표적 유형 등을 고려하여 중복된 표적을 제거한다. 적용된 모의논리는 다음과 같다. 정보 융합모델은 두대의 무인 차량으로부터 각각의 표적 탐지정보를 받는다. 새로이 획득된 표적 정보가 있다면 통합 표적 목록에 반영하고, 만약 중복된 표적 정보가 있다면 해당 표적에 대해 두 무인 차량이 인식하고 있는 2)표적 획득 단계를 서로 비교하여 더 높은 단계를 해당 표적에 대한 표적 획득 단계로 최신화 한다. 이렇게 작성된 통합 표적 목록은 유무인 전투 부대의 구성원 모두에게 공유된다.

셋째, 전술적 조치 단계에서는 통제 차량이 위협 평가 모델을 이용하여 통합 표적 목록에 나열된 적 표적들을 설정된 기준에 따라 표적 위협 강도를 평가한 후, 단일 우선순위 통합 표적 목록을 생성한다. 위협의 강도를 판별하는 기준은 다음과 같다. 박격포, 대전차화기 등 공용화기가 포함되어 있을 경우에는 우선 표적으로 평가한다. 이어서 위협 표적에 대한 화력 유도를 실시한다. 화력 지원을 요청할 때에는 표적 형태, 타격 범위, 사격 회수 등을 명시해야 하는데, 이의 판단 모의논리는 다음과 같다. 타격 범위는 정보 융합 단계에서 식별된 표적 중에서 서

2) 표적 식별 단계는 탐지, 인지, 식별 순으로 높아진다. 탐지 단계에서는 불명의 전투개체가 전방에 있다는 것 파악하고, 인지 단계에서는 이 전투개체가 어떤 유형의 무기체계(전차, 전투원 등)인지를 인식한다. 최종적으로 식별 단계에서는 이 개체가 어떤 무기체계인지를 명확히 인식한다.

로 가까운 위치에 있는 표적들을 클러스터로 분류하여 설정한다. 이를 위해 K-평균 알고리즘을 이용하는데, i 번째 클러스터의 중심을 μ_i , 클러스터에 속하는 표적의 집합을 T_i 라고 할 때, 전체 분산 V 는 식 (1)과 같이 계산된다 (Kanungo et al., 2002).

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2 \quad (1)$$

위 식에서 분산 V 를 최소화하는 T_i 에 대해 화력 지원을 요청한다. 이때 k 값은 식 (2)와 같이 계산되며, n 은 표적의 개수이다.

$$k = \lceil \sqrt{\frac{n}{2}} \rceil \quad (2)$$

이어서 표적의 집합 T_i 에 일제사격을 실시한다. 만약 포반에 박격포가 3문이 편제되어 있을 경우, 각 1발씩 총 3발이 발사된다.

타격범위와 사격발수가 정해지면, 통제 차량은 무전기 에이전트를 통해 박격포에게 사격지원을 요청한다. 이때 포함되는 자료는 위 변수 외에 사격 요청 시간, 요청자, 임무 형태 등이 추가된다. 박격포는 통제 차량의 화력 지원 요청에 따라 긴급히 포병 사격을 실시한다. 사격 지휘 모델은 어떤 박격포가 사격 가능한지, 어떤 탄을 사격할 수 있는지 확인한 다음, 사격 명령을 내린다. 소부대 교전 모의임을 고려하여, 박격포와 고폭탄이 가용한 것으로 가정한다. 무장 에이전트는 표적에 탄을 발사한다. 간접사격 모델을 주어진 사격오차 데이터를 참고하여 탄 명중 여부를 판정한다.

3.3 무선 통신 및 원격 통제 모의

무인 차량과 통신 중계 드론의 원격 통제 모의 과정은 ① 통신 링크 연결 단계, ② 원격 통제 단계, ③ 통신 중계 단계, ④ 통신 단절 단계로 구성된다.

첫째, 통신 링크 연결 단계에서는 송수신기를 설정한다. 송신기는 통제 차량이 보유하고 있는 원격 통제 장치를, 수신기는 무인 차량을 각각 지정한다. 원격 통제의 대상은 무인 차량의 주행 기능, 사격 기능이며, 필요시 감시 기능을 지정할 수 있다. 사용자가 입력해야 할 무인 차량의 무선 통신 장치의 성능 수치는 송수신 주파수, 송신 출력, 대역폭, 송수신 안테나 이득, 송수신 케이블 손실, 페이딩 마진, 요구 SNR(Signal-to-Noise Ratio)이다.

둘째, 원격 통제 단계에서는 무인 차량과 통제 차량 간에 통신 링크가 유효한지 확인하고, 유효할 경우 무인 차량이 원격 주행 또는 원격 감시 과업을 수행토록 모의한다. 전파 모델은 통신경로 상의 지형 단면도, 통신 시스템의 성능 데이터를 반영하여 데이터 수신 성공 여부를 예측하는 모델로서 통제 차량, 무인 차량, 통신 중계 드론의 무선 통신 기반 원격 조종 능력을 모의하기 위한 핵심요소이다. 무인 차량의 전파 모델은 전파환경 조건을 고려하여 산출된 수신 신호 세기와 수신기의 최소 수신 신호 세기를 비교하여 통신 가능 여부를 판단한다. 먼저 수신 신호 세기를 산출하는 방법부터 설명한다. 수신 신호 세기는 송수신기 사이의 거리 변화에 따른 공간 손실, 지형의 높낮이·장애물에 의한 회절 손실, 수풀 손실의 합으로 계산된다. 물론 소규모 페이딩에 의한 수신 신호 세기의 급격한 변화도 반영되어야 하나, 이는 페이딩 마진 (margin)을 수신 신호 세기에 반영함으로써 모의한다. 이는 평균적인 전파 손실, 즉 대규모 페이딩만을 반영하여도 전투 시뮬레이션을 위한 통신 모의는 충분하다고 보기 때문이다.

전파 모델에는 다음과 같은 공간 모델을 제공한다. Lee 모델은 1~30km 범위의 0.8GHz~2GHz 주파수 대역을 분석할 수 있는 경험 모델이다. 이 모델은 도심·부도심·교외·개발지에서의 평균적인 전파 손실을 모의하는 모델로서 (이창원 외, 2014)에서 국내의 산지, 교외, 도심에서 수행된 전파실측결과를 토대로 모델의 계수를 보정한 모델이다. 그 외에도 EU에서 개발한 WINNER-II 모델(Meinilä et al., 2008), 1950년대 일본·미국에서 전파실측결과를 토대로 설계된 Okumura-HATA 모델(Singh, 2012), 지형 기반 경로손실모델인 ITM(irregular terrain model) (Kasampalis et al., 2013), P.525 자유공간 모델 (Emerson et al., 2004) 등이 다양한 경험 모델이 지원된다. 또한 전파 모델은 다음과 같은 회절 모델을 제공한다. P.526은 송수신기를 잇는 직선상의 단일 장애점에서의 회절 손실을 예측하는 모델이다(Emerson, 2004). JRC (Joint Radio Committee)는 전파경로 상에 두 개 이상의 장애점에서 발생하는 회절 손실을 예측하는 모델이다 (Aurand, 1985). 끝으로 전파 모델은 Weissberger 수풀 모델을 제공한다(Kurnaz, 2014). 이 모델은 주파수 대역은 230MHz~96GHz, 수풀의 폭은 400m 이내에서 수풀에 의한 신호 감쇠를 예측하는 모델이다. 위에서 설명한 공간 모델, 회절 모델, 수풀 모델의 종합을 통해 총 경로 손실 P_L 을 계산한다.

이후 전파 모델은 무인 차량과 통제 차량 사이의 통신

가시선, 장애점, 수풀 등 지형 조건을 고려하여 식 (3)과 같이 수신 신호 세기 P_r 을 계산한다.

$$P_r = P_t + G_t + G_r - P_L \quad (3)$$

위 식에서 P_t 는 출력 신호 세기(dBm), G_t 는 송신 안테나 이득(dB), G_r 은 수신 안테나 이득(dB), P_L 은 위 모델로부터 계산된 전파 경로 손실의 합(dB)이다. 이어서 전파 모델은 무인 차량의 무선 통신 장치 성능 데이터를 반영하여 식 (4)와 같이 최소 수신 신호 세기 P_s 를 계산한다.

$$P_s = 10\log(kT_010^3) + NF + 10\log_{10}B + SNR \quad (4)$$

식에서 k 는 볼츠만 상수, T_0 는 수신기 온도(K), NF 는 잡음지수, B 는 대역폭(Hz), SNR (dB)은 무선 통신 시스템의 요구 SNR 이다. 무선 통신 시스템 모듈은 식 (3)을 통해 계산된 P_r 이 식 (4)를 통해 계산된 P_s 보다 크거나 같으면, 송수신기 간에 통신 링크가 연결된 것으로 모의하고, 그 외의 경우에는 통신 링크가 단절된 것으로 모의한다.

셋째, 통신 중계 단계에서는 무인 차량과 통제 차량 간에 통신 링크의 연결 강도가 기준치 이하로 떨어질 경우, 통신 중계 드론을 운용하여 2홉 통신 중계를 한다. 통신 중계 과정을 설명하면 다음과 같다. 통신 중계 드론은 원격 통제 에이전트를 통해 통제 차량과의 연결성을 확인한다. 통신 연결이 되었다면, 비행 통제 에이전트는 비행계획모델에서 제공하는 경로점들을 기반으로 비행경로를 계획하고, 이동 에이전트를 통해 주어진 속도, 고도를 유지하면서 경로점을 거쳐 목표점으로 이동한다. 통신 중계 에이전트는 이 드론이 통신 중계 능력이 있는 통신 중계 드론이라는 사실을 주변 무인 차량에게 알린다. 무인 차량의 원격 통제 에이전트는 통신 가능한 영역 내에 있는 통신 중계 드론이 있다면, 이를 통해 통제 차량과 교신 가능하다고 판단한다. 즉, 통신 중계 드론은 통제 차량과 통신 중계 드론 사이의 통신 링크가 유효하고 동시에 통신 중계 드론과 무인 차량 사이의 통신 링크가 유효하다면 통신 중계를 수행한다. 이때 통신 중계로 인해 유발되는 전달 지연은 고려하지 않는다. 사실 지연은 복수의 무인 차량이 다량의 데이터 패킷을 보낼 때, 이 패킷이 통신 중계기 또는 라우터에 머무는 동안 발생하는 데이터 전달 지연 시간으로 표현되는데, 통상 멀티홉 네트워크에서는 지연을 비중있게 고려해야 하나, 본 논문에서는 2홉 중계 네트워크이므로 전달 지연은 무시할 수 있는 수준으로 여긴다.

넷째, 통신 단절 단계에서는 무인 차량과 통제 차량 간에 통신 연결이 단절되는 현상을 모의한다. 통신 단절은 송수신기의 거리가 지나치게 길어지거나, 송수신기 사이에 전파를 방해하는 장애물로 인해 발생된다. 즉 수신 신호 세기 P_r 이 최소 수신 신호 세기 P_s 보다 작을 경우에 통신 링크가 끊어진다. 통신 연결이 단절되면, 무인 차량은 원격 주행, 원격 감시 등 부여받은 과업을 수행할 수 없으며, 이 상황을 극복하기 위해 통제 차량과 통신이 가능했던 지점까지 되돌아온다. 통신 중계 드론도 위와 같은 방식으로 통제 차량과의 통신 단절을 모의한다.

4. 모의실험 결과 및 분석

이 절에서는 앞서 설계한 모델링 요소를 리눅스에서 자바 코드로 구현하고, OneSAF 국제판에 구현된 코드를 적용하여 실행 가능성을 검증한 후, 주어진 시나리오에 따라 유·무인 지상 전투 체계의 전투 모의를 실시한 다음 효과도 분석 결과를 설명한다.

4.1 전투 모의 시나리오

전투 모의 시나리오는 기갑수색소대가 위협요소가 있을 것으로 추측되는 산악·수목지역 일대에서 주어진 통로를 수색·정찰하는 상황이다. 지형은 ○○ 지역을 25km×25km 크기로 모델링하여 반영한다. 부대 편성 시 아군은 1개 기갑수색소대 하에 소대를 지휘하는 소대 본부, 좌우 견부 고지를 수색하는 기보분대, 경수색반 엄호와 화력 수색을 수행하는 중수색반, 주 기동로 및 수목 지역을 수색하는 경수색반, 화력 지원을 수행하는 박격포 지원반으로 구성된다. 대항군은 대전차화기로 무장한 1개 보병 소대로 편성되고 지역 방어 과업이 부여된다. 부대 편성에 대한 세부사항은 Table 1과 같다.

Fig. 3에서 보이는 바와 같이, 대항군은 통로 좌우측 견부 고지에 은거해 있는 상황 하에서 아군은 분진점에서 통로와 좌우측 견부 의 의심 지역을 정찰하면서 확인점을 거쳐 목표점을 확보한다. 수색 과업 수행 중, 부대 선단에 위치한 경수색반의 무인 차량이 적 위협 세력을 발견할 경우, 박격포 지원반에 화력 요청을 하여 적을 제압하고, 뒤따르는 중수색반은 경수색반을 엄호하고 기보분대는 좌우 견부 고지를 수색한다. 부대는 수색중 적 위협 또는 장애물 발견 시 지휘관에게 관측보고를 실시하며, 목표점 도달 시 지휘관에게 정찰보고를 실시한다.

위와 같은 시나리오 하에서 지상 무인 체계의 작전 요구 성능 변화에 따른 전투 효과를 살펴보기 위해 체계 성

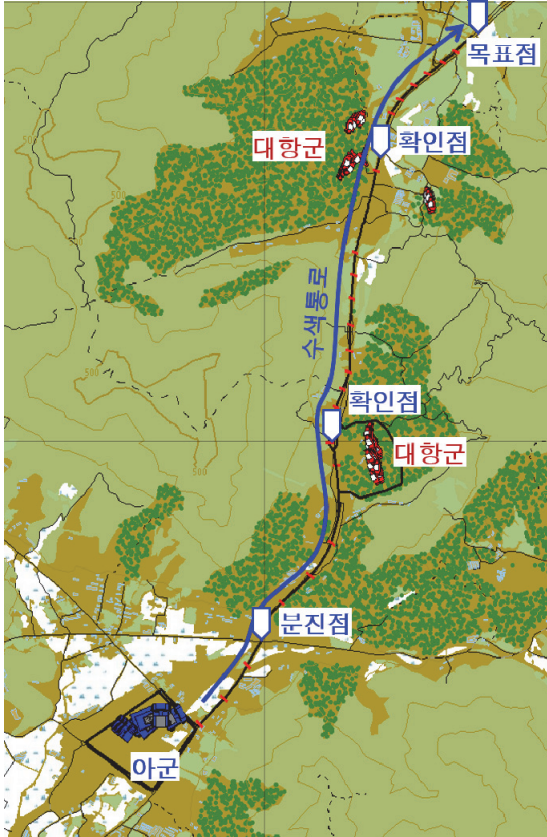


Fig. 3. Combat unit location

Table 1. Unit organization

Side	Unit	Entities	
Friendly Force	Platoon	Headquarter	Light Tactical Vehicle, Combatants
		Mechanized Infantry Squad	Armored Personnel Carrier, Combatants
		Heavy Reconnaissance Team	Tanks
		Light Reconnaissance Team	Refer to Table 3
		Fire Support Team	Mortars
Opposing Force	Platoon	Anti-Tank Missiles, Combatants	

능 대안별 전투 모의 실험을 수행한다. 체계 성능 대안은 수색 정찰 과업에 중요한 영향을 미치는 감시능력과 통신

능력에 초점을 맞춰 선정되어야 한다. Table 2와 같이 이 실험에서는 4가지 대안을 시나리오에 반영하는데, 대안 1은 경수색반 편제 시 유인차량을 단독 투입하는 경우, 대안 2는 무인차량을 단독 투입하는 경우, 대안 3은 무인 감시 장치의 수직 확장 장치를 운용하는 무인차량 단독 투입하는 경우, 대안 4는 무인 감시 장치의 수직 확장 장치를 운용하는 무인차량 및 통신 중계 드론 투입하는 경우로 정의된다.

Table 2. System Alternatives

Alternatives	The Organization of Light Reconnaissance Team
ALT-1	<ul style="list-style-type: none"> A light tactical vehicle Combatants
ALT-2	<ul style="list-style-type: none"> A control vehicle Two unmanned vehicles
ALT-3	<ul style="list-style-type: none"> A control vehicle Two unmanned vehicles equipped with a vertical extension arm for surveillance
ALT-4	<ul style="list-style-type: none"> A control vehicle Two unmanned vehicles equipped with a vertical extension arm for surveillance A communication relay drone

4.2 전투 모의 실행 및 결과

전투 모의 실행 개념은 다음과 같다. 사용자가 설계한 전투 시나리오에 따라 전투부대와 전투개체는 국면별 전술적 수행 과업과 주어진 교전수칙에 따라 전투 모의를 실시한다. 유인 수색 정찰은 전투원들이 수색경로를 따라 전투 대형으로 이동하고, 관측점마다 이동을 멈추고 주변 관측 실시한 후, 적 위협이 식별되면 관측 보고를 하고 필요시 교전토록 한다. 무인 수색 정찰은 전투원과 함께 무인 차량이 선단에서 이동 시 적정을 관측토록 하였다. 이때 통제 차량은 후방에서 무인 차량을 원격 통제하고 통신 중계 드론을 운용하여 통신 가능 범위를 확대시킨다. 그럼에도 불구하고 통신 링크가 단절되면, 무인 차량은 통제 차량과 통신 가능한 지점까지 되돌아온다. 무인 차량이 목표점에 도달하면, 통제 차량은 통신 중계 드론을 회수한 다음 무인 차량이 있는 목표점까지 이동토록 구현한다. 이때, 무선 통신 및 원격 통제 모델은 공간 모델, 회절 모델, 수플 모델 등 전파 모델 명칭과 주파수, 대역폭, 안테나 높이, 안테나 패턴, 안테나 이득, 송신전력 등 무선 통신장비의 제원을 입력받는다. 또한 이 모델은 지형 모델로부터 송수신기 사이의 고도 프로파일, 전파경로상의 장애물(건물, 수플 등)을 추출하여 프레넬 존, 수신신

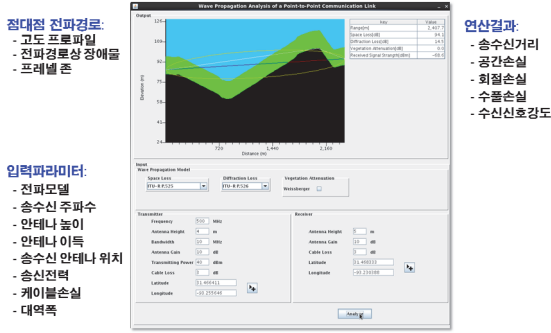


Fig. 4. Point-to-point wave propagation analysis tool

호 전력 변화, 통신 링크 연결 여부, 채널용량 등을 계산함으로써, Fig. 4와 같이 송수신기 사이의 통신 가능성을 판단한다.

4.1절에서 설명한 전투시나리오의 모의결과는 전투 효과로 산출된다. 전투효과는 표적 획득률, 원격 통제 성공률, 화력 지원의 적시성, 수색 소요 시간, 작전간 생존율, 적 손실률 등 6가지 효과척도(MOE: measure of effectiveness)를 통해 계량화된다.

표적 획득률($R_{\text{acquisition}}$: target acquisition rate)은 식 (5)와 같이 모의실험이 종료될 때까지 식별된 표적의 개수를 전체 표적 개수로 나누어 계산된다.

$$R_{\text{acquisition}}(\%) = \frac{N_{\text{identification}}}{N_{\text{opposing}}} \times 100 \quad (5)$$

여기서 N_{opposing} 는 시나리오 상의 대항군의 개체 수이고, $N_{\text{identification}}$ 은 식별된 표적의 개수이다.

원격 통제 성공률(R_{rcs} : remote-control success rate)은 식 (6)과 같이 통제 차량과 무인 차량 간 통신 링크가 성공적으로 연결된 횟수를 주어진 전체 통신 시도 횟수로 나누어 계산된다. 이때 통신 연결은 매 10ms 마다 시도되므로, 매우 빈번하게 발생된다.

$$R_{\text{rcs}}(\%) = \frac{N_{\text{connected}}}{N_{\text{connected}} + N_{\text{disconnected}}} \times 100 \quad (6)$$

여기서 $N_{\text{connected}}$ 는 통신 링크의 연결 횟수이고, $N_{\text{disconnected}}$ 는 통신 링크의 단절 횟수이다. 위의 두 변수 값은 주어진 시간마다 통신 링크의 연결 또는 단절 여부를 파악하고 그 횟수를 누계하여 산출된다.

수색 소요 시간(T_{recon} : reconnaissance lead time)은 식 (7)과 같이 부대가 분진점에서 출발하여 마지막 확인점까지 도달하는데 걸리는 시간으로 계산되며, 시:분:초 형식으로 산출된다.

$$T_{\text{recon}}(\text{sec}) = T_{\text{cp}} - T_{\text{rp}} \quad (7)$$

여기서 T_{cp} 는 마지막 확인점 도달시간, T_{rp} 는 부대의 분진점 출발시간이다.

작전간 생존율(R_{survival} : rate of friendly combat vehicles and combatants survived)은 식 (8)과 같이 교전 후 손실된 아군의 전투원과 장비 수를 각각 합산하여 계산된다.

$$R_{\text{survival}}(\%) = \frac{N_{\text{survival}}}{N_{\text{friendly}}} \times 100 \quad (8)$$

여기서 N_{friendly} 는 작전에 투입된 아군의 전투개체 수이고, $f_{\text{survival}}(i)$ 은 i 번째 전투개체가 작전 종료 후 생존하였다면 1을 손실되었다면 0으로 나타낸다.

끝으로 적 손실률(R_{damage} : rate of enemy's damage)은 식 (9)와 같이 교전 후 아군에 의해 무력화된 대항군의 전투원과 장비의 비율로 합산하여 계산된다.

$$R_{\text{damage}}(\%) = \frac{N_{\text{damage}}}{N_{\text{opposing}}} \times 100 \quad (9)$$

여기서 N_{damage} 는 대항군의 손실 전투개체 수를 나타낸다.

전투 모의를 실행한 결과, 효과도를 산출하기 위한 대안별 주요 변수 값은 Table 3과 같이 산출되었다. 이에 대한 효과 분석 결과는 다음 절에서 설명한다.

Table 3. Simulation results

Variables	Alternatives			
	ALT-1	ALT-2	ALT-3	ALT-4
$N_{\text{identification}}$	10	45	47	45
N_{opposing}	50	50	50	50
$N_{\text{connected}}$	0	4,244	4,717	5,243
$N_{\text{disconnected}}$	0	0	0	0
T_{cp}	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
T_{rp}	00:53:18	01:16:30	01:03:09	01:12:39
N_{survival}	15	3	1	1
N_{friendly}	24	24	24	24
N_{damage}	33	50	50	50

4.3 효과 분석

주어진 시나리오에 따른 전투 모의 결과, 지상 무인 체계 대안별 효과도는 Table 4와 같이 산출되었다.

Table 4. Combat effectiveness analysis results

MOE \ Alternatives	ALT-1	ALT-2	ALT-3	ALT-4
Target Acquisition Rate	20%	90%	94%	91%
Remote-control Success Rate	0%	100%	100%	100%
Reconnaissance Lead Time (HH:MM:SS)	00:53:18	01:16:30	01:03:09	01:13:39
Rate of Friendly Combat Vehicles and Combatants Survived	38%	90%	94%	97%
Rate of Enemy's Damage	65%	100%	100%	100%

첫째, 표적 획득률은 수직 확장 장치를 운용하는 대안 3, 4는 91~94%로 가장 높게 나타났고, 미운용하는 대안 2는 90%로 나타났다. 수직 확장 장치를 운용하였을 때 대략 약 1~4%p 정도 표적 획득률이 개선되는 효과를 보였다. 일반적으로 수직 확장 장치는 무인 감시 장치의 고도를 높여, 관측자와 표적 사이의 가시선을 확보하는데 도움을 준다. 이를 통해 부분적으로 은폐된 인원·차량 표적 등 노출면적을 최소화시킨 표적들을 탐지할 가능성을 높일 수 있다. 다만, 본 실험은 수풀이 우거지지 않은 구릉지에서 적 표적이 은폐되지 않는 상황 하에서 수행되었기 때문에 수직 확장 장치에 의한 표적 획득률 개선 효과는 제한되었다. 만약 건물 등 은폐물과 엄폐물이 많은 도시 환경에서는 표적 획득률 개선 효과가 뚜렷할 것으로 예상된다. 한편 수직 확장 장치는 관측자와 표적 간의 가시선 확보 차원에서는 도움이 되나, 가시선이 확보된 조건 하에서의 표적식별·표적인지·표적 탐지 능력은 무인 감시 장치의 분해능에 의존함을 확인하였다.

둘째, 원격 통제 성공률은 모두 100%로 모든 대안에 걸쳐 같은 분포를 보여주었다. 무인 차량이 부대 선단에서 정찰 과업을 수행하기 위해서는 필연적으로 통제 차량과 무인 차량 간에 통신 링크를 반드시 제공되어야 하는데, 이러한 결과는 통신 여건이 조성되도록 시나리오를 작성한 것에서 비롯된 결과이다. 세부적으로 설명하면, 통신 중계 드론을 운용하지 않을 경우에는 통제 차량과 무인 차량의 간격이 300m 내외의 통달 거리 내에서 유지

되도록 한 반면, 통신 중계 드론을 운용하는 경우에는 두 차량의 간격이 1km 내외의 확장된 통달 거리 내에서 유지되도록 하였다. 즉 통신 중계 드론을 사용하지 않는 경우에는 통신 링크를 제공하기 위해 통제 차량과 무인 차량 간 거리를 줄여야 함을 알 수 있었다. 이로 인해 통제 차량이 적의 직사화기 위협에 노출되어 파괴될 가능성이 높아지는데, 자세한 내용은 이후 작전간 생존률 분석에서 다시 설명한다.

셋째, 수색 소요 시간은 대안 1의 경우에는 53분으로 나타났으나, 대안 2, 3, 4의 경우에는 1시간 10분 내외로 나타났다. 대안 1은 적의 공격에 의해 경수색반, 중수색반이 무력화되어 일부 과업을 수행하지 못한 반면 대안 2, 3, 4는 분진점에서 확인점까지 수색을 완료하여 예정된 작전시간을 준수하였다.

넷째, 작전간 생존율은 표적 좌표 획득이 가능하고 수직 확장 장치와 통신 중계 드론을 운용하는 대안 4가 97%로 가장 높게 나타나는 반면, 유인차량을 단독 운용한 대안 1은 38%로 가장 낮게 나타났다. 이의 원인은 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 우선 감시 성능의 확장은 정확한 화력 유도를 통해 전방 또는 좌우측 견부 의 적 위협을 장거리에서 선제적으로 타격하여 전투 효과를 높이는 데 크게 기여하였다. 또한 통신 중계 드론의 운용은 통제 차량이 적의 직사화기 유효사거리 밖에서 무인 차량을 운용케 함으로서 통제 차량을 보호하여 무인 차량을 중단 없이 운용하여 임무 달성 가능성을 높였다.

다섯째, 적 손실률은 대안 1은 65%, 대안 2, 3, 4는 100%로 나타났다. 모든 대안은 화력유도가 가능하나, 대안 1의 유인차량은 의심지역에 가까이 이동하여 육안으로 정찰하는 과정에서 대부분 파손되어 화력 유도가 제한되었다. 반면 대안 2, 3, 4는 무인 감시 장치를 통해 적의 유효사거리 밖에서 적을 탐지하고 원거리에서 화력 유도를 실시하여 적 손실률을 높인 것으로 분석된다.

5. 결론

무기 체계 연구 개발 및 전력 증강 측면에 있어 유무인 지상무기의 운용 개념 및 대안 분석을 위해서는 기존 유인 전투체계가 수행하던 임무를 유무인 전투체계가 일부 대신함에 따른 임무 달성의 효율성과 전투 효과도를 정량적으로 분석할 수 있는 모의모델이 요구된다. 이에 본 논문에서는 미래 지상 전투 부대의 핵심 요소인 무인 차량, 통제 차량, 통신 중계 드론 및 유인 전투체계의 효과를 예측·분석할 수 있도록 유·무인 지상 전투 체계의

협동 교전 모델링 기법을 제시하였다. 설계된 전투개체 모델과 과업 모델은 자바 코드 형태로 구현하여 OneSAF 프레임워크에 적용하였으며, 이에 적용되는 데이터는 평문화된 일반 데이터를 적용하였다. 이후 한반도 실제 지형 모델 하에서 적의 대전차 위협을 사전에 파악·제거하기 위한 수색 정찰 시나리오를 고려한 전투 모의 실험을 수행하였다. 특히 지상 무인 체계의 감시 능력과 통신 중계 능력을 다변화하여 8가지의 체계 대안을 도출하고 이를 실험에 반영하였다. 이 실험을 통해 유무인 지상 전투 체계의 표적 획득률, 원격 통제 성공률, 수색 소요 시간, 작전간 생존율, 적 손실률 등을 산출함으로써 제안한 모델이 유무인 지상 전투 체계의 효과 분석 및 위게임 전투 실험 분야에서 활용이 가능함을 입증하였다.

또한, 기존 개체 단위 위게임 모델에서 분석이 제한되었던 유무인 지상 전투 체계의 교전행위를 모의할 수 있게 되었고, 차량, 전투원, 지휘관 등 전투개체 간의 통신·네트워크 기반 전투상황 공유 및 전술 행위 등의 묘사가 가능해졌다. 뿐만 아니라 소부대 교전 시뮬레이션을 통하여 유·무인 전투개체 모델이 상호 협력 하에 임무·운용개념별 전투 효과 또는 작전기여효과를 사전에 객관적으로 분석할 수 있는 이점을 가진다. 향후에는 군집 드론, 군집 로봇 등 미래 지상 무인 체계의 군집 전투 운용 개념을 토대로 교전 모의논리를 구체화하고 이를 전투 시뮬레이션 모델로 구현하기 위한 후속 연구가 요구된다.

References

김주연, 한상우, 변재정 (2018), 에이전트 기반 유·무인 수색 정찰 전술 행위 모델링 및 분석, 한국시뮬레이션학회 논문지, 2018. 12.
 문호석 (2018), 기계학습을 이용한 위게임 모델의 근접 전투 전장 상황 평가를 위한 전문가시스템 연구, 한국군사학논집, 제74권, 제3호, 315-335.
 이재영, 신선우, 김준수, 배성민, 김종만 (2015), “AnyLogic 시뮬레이션을 이용한 무인지상차량 운용성능과 전투 효과의 연관성 분석,” 신뢰성응용연구 제15권, 제2호, pp.131-138.
 이종민, 홍정표, 박재영, 이강훈, 김기웅, 문일철, 박재현 (2017), “대화력전 및 기계화 보병 시나리오를 통한 대규모 가상군의 POMDP 행동계획 및 학습 사례연구,” 한국정보과학회지, 정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지, 제23권, 제6호, 343-349.
 이지은 (2014), 지상무인 전투 체계 발전추세 및 개발동

향, 한국방위산업진흥회 국방과 기술, 제425호, 96-107.
 이창원, 김진국, 신임섭 (2014), 국방 전파자원 특화연구실 1단계 종결보고서, 국방과학연구소 기술보고서, ADDR-425-140308.
 장대순, 조강훈, 천상욱, 이상진, 박상철 (2018), 자율제어 시스템의 효과적인 시뮬레이션 모델링 형식론, 한국품질경영학회지, 제46권, 제4호, 973-982.
 장유상, 신선우, 이재영, 김종만, 배성민 (2017), AnyLogic 을 이용한 통신효과 중심의 소부대 전투 시뮬레이션, 2017년 한국경영과학회 춘계공동학술대회 논문집, 495-518.
 한상우, 변재정, 이규노 (2016), “지상무인체계 임무효과 모의를 위한 무선전파모델 적용 방안,” 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 1525-1526.
 한상우, 변재정, 조현식 (2014), OneSAF를 이용한 원격 조종 지상무인 차량 체계효과분석 방법, 대한산업공학회지, 제40권, 제4호, 388-395.
 한창희 (2016), 가상군사 컴퓨터 캐릭터 집단적 활동 모의,” 한국엔터테인먼트산업학회 논문지, 제10권, 제1호, 323-330.
 Aurand, J. F., and Post, R. E. (1985). A comparison of prediction methods for 800 MHz mobile radio propagation. *IEEE trans. on vehicular technology*, 34(4), 149-153.
 Emerson, D., and Lewis, M. (2004). Propagation Models. *Lewis and Emerson*.
 Fugenschuh, A., Vierhaus, I., Fleischmann, S., Marahrens, S. (2016), VBS3 as an analytical tool - potentialities, feasibilities and limitations, Tech. Report AMOS#49, *Helmut Schmidt University*.
 Gaydos, G. M. (1973). Sensitivity Analysis of a Weapon Effectiveness Model, *Picatinny Arsenal*, NJ, USA.
 Kang, B. G., Seo, K.-M., & Kim, T. G. (2019). Machine learning-based discrete event dynamic surrogate model of communication systems for simulating the command, control, and communication system of systems. *SIMULATION*, 95(8), 673 - 691.
 Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman, R., and Wu, A. Y. (2002). An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), 881-892.

- Kasampalis, S., Lazaridis, P. I., Zaharis, Z. D., Bizopoulos, A., Zettas, S., and Cosmas, J. (2013). Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting. In Proc. of *IEEE Int'l Symp. on Wireless Personal Multimedia Communications*, 1-4.
- Kurnaz, O., and Helhel, S. (2014). Near ground propagation model for pine tree forest environment. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 68(10), 944-950.
- Meinilä, J., Kyösti, P., Jämsä, T., and Hentilä, L. (2009). WINNER II channel models. *Radio Technologies and Concepts for IMT-Advanced*, 39-92.
- Moffat, J. (2010). Complexity theory and network centric warfare, *DIANE Publishing*.
- Seo, K., Choi C., Kim, T. G., and Kim, J. (2014). DEVS-based combat modeling for engagement-level simulation. *Simulation*, 90(7): 759-781.
- Singh, Y. (2012). Comparison of Okumura, Hata and Cost-231 models on the basis of path loss and signal strength. *International journal of computer applications*, 59(11).
- Tolt, G., Hedstrom, J., Bruvoll, S., and Asprusten, M. (2017), Multi-aspect path planning for enhanced ground combat simulation, in Proc. of *IEEE Symp. Series on Computational Intelligence*, HI, USA.
- Toubman, A. et al. (2016), Modeling Behavior of Computer Generated Forces with Machine Learning Techniques, the NATO task group approach, in Proc. of *IEEE Int'l Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, Budapest, Hungary.
- Wittman, R., and Harrison, C. (2001), OneSAF: A Product Line Approach to Simulation Development, *The MITRE Corporation, USA*.



한 상 우 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-9529-9505> / swhan22@gmail.com)

2003 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학사
 2005 광주과학기술원 정보통신공학부 공학석사
 2011 광주과학기술원 정보기술공학부 공학박사
 2012~ 현재 국방과학연구소 지상기술연구원 선임연구원

관심분야 : 지상무인체계, 체계효과분석, 국방 M&S



변 재 정 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-0557-5044> / jjpyun0405@naver.com)

1982 충북대학교 통계학과 이학사
 1984 숭실대학교 대학원 전산학과 공학석사
 1996 미국 Illinois Institute of Technology 대학원 전산학과 공학박사
 1998 한국국방연구원 / 국방정보체계연구소 C4I 연구부장
 1998~ 현재 국방과학연구소 수석연구원

관심분야 : 실시간운영체제(RTOS), 가상현실, 국방M&S(Simulation Based Acquisition, 전투모의/효과 분석, LVC체계), Virtual Product Development, Cyber-Physical System 등