

# OneSAF를 이용한 원격조종 지상무인차량 체계효과분석 방법

한상우<sup>†</sup> · 변재정 · 조현식

국방과학연구소

## A Method of System Effectiveness Analysis for Remote-Operated Unmanned Ground Vehicles Using OneSAF

Sang Woo Han · Jai Jeong Pyun · Hyunsik Cho

Agency for Defense Development

Nowadays unmanned ground systems are used in supporting of surveillance and explosive ordnance disposal. Also, we expect that will be used to remarkably enhance combat capability through network-based cooperative operations with other combat systems. In order to effectively develop those unmanned systems, we need a systematic method to analyze combat effectiveness and validate required operation capabilities. In this paper, we propose a practical approach to simulate remote-operated unmanned ground systems by using OneSAF, an US-Army simulation framework. First of all, we design a simulation model of unmanned system by integrating with core components for wireless communications and remote control of mobility and fire. Next, we extend OneSAF functionality to create communication links that connects a remote controller with an unmanned vehicle and define a simulated behavior to operate unmanned vehicles via the communication links. Finally, we demonstrate the feasibility of the proposed model within OneSAF and summarize system effectiveness analysis results.

**Keywords:** Unmanned Ground Systems, Remote Operation, OneSAF, System Effectiveness Analysis, and Defense Modeling and Simulation

### 1. 서론

미래 전장 환경은 무인 전투체계 중심의 네트워크중심전(NCW : Network Centric Warfare) 기반 동시 통합전 양상으로 전개될 것이며(Mitchell, 2013), 각 무인 전투체계는 하나의 무기체계로서 관측 및 통신, 이동, 공격 및 방어 등과 관련된 전투행위를 자율적으로 수행하게 될 것이다. 지상무인체계를 효율적으로 개발하기 위해서는 체계적인 효과분석을 통해, 운용성과 전투효과를 향상시킬 수 있는 최적의 체계 구성 대안을 찾는 노력이 선행되어야 한다. M&S(Modeling and Simulation) 기법을 이용하면 NCW 환경하의 무인전투요소를 모델링할 수 있고, 반복적인 실험 및 분석을 통해 지상무인전투체계 운용개념 및 작전 운용성능 도출을 할 수 있다.

그러나 AWAM, 비전 21 등 현재 활용 중인 모델들은 란체스터 기반 모델로서 전투개체 간의 정보공유 및 전술행위 묘사가

제한되어, 무인화 체계와 같은 개별 전투요소들 간의 정보통신, 지휘통제 등의 NCW 상황에 대비한 전투모의가 곤란하다(Choi *et al.*, 2003). NCW 환경에 적합한 무인전투체계 효과분석을 위해서는 각 전투요소들 간 정보공유가 필수적이며, 이를 기반으로 전투행위를 수행할 수 있도록 하는 시뮬레이션에 의한 효과분석 모델 개발이 필요하다(Jung *et al.*, 2012). 현재 국내에서 임무 및 체계효과분석에 활용하고 있는 지상무기효과분석 모델인 AWAM과 비전 21 등은 란체스터 기반의 효과분석 모델로서, 전투개체간의 정보공유 및 전술행위 묘사가 곤란하여 전투개체의 행위 및 상호작용에 따른 전투효과 모의에 활용하지 못하고 있다(Yoon *et al.*, 2011).

미국을 비롯한 여러 선진국에서는 각종 모델링 시뮬레이션 기법들을 응용하여 새로운 모델을 개발하고 지속적으로 발전시키고 있다. 미 육군에서는 공학급 무인차량 시뮬레이션 모델인 ANVEL(Autonomous Navigation Virtual Environment Labo-

<sup>†</sup> 연락저자 : 한상우, 305-600 대전광역시 유성구 유성우체국 사서함 35호, Tel : 042-821-2723, Fax : 042-823-3400, E-mail : swhan@add.re.kr  
2013년 7월 1일 접수; 2013년 11월 15일 수정본 접수; 2014년 4월 14일 게재 확정.

ratory)와 교전급 시뮬레이션 프레임워크인 OneSAF(One Semi-Automated Forces)를 연동하여 대규모 전장 환경 하에서의 무인체계 성능 및 체계효과를 분석하였으며(Rohde *et al.*, 2009), 미 육군 연구소에서도 모의분석용 무인 화생방 정찰차량의 오염지역 탐색 알고리즘을 OneSAF를 이용해 분석하여 체계 개념 설계 시 반영한 바 있다(Fields *et al.*, 2003). 네트워크 기반 무인체계 원격조종 기능 모의와 관련해서는 네트워크 시뮬레이터인 OPNET을 무인체계 시뮬레이터에 연동시켜 네트워크 성능 변화에 영향을 주는 주요 매개 변수를 식별하는 민감도 분석연구를 수행한 사례도 있다(Durham *et al.*, 2009).

현재 국내에는 아직 무인로봇체계와 같은 네트워크 중심 작전 환경하의 각종 전투 및 교전상황을 시뮬레이션 기법으로 모의할 수 있는 전투모의 모델이 없고, 단지 해외에서 개발된 MANA(Map Awareness Non-uniform Automata) (Lauren *et al.*, 2002)나 NetLogo(Sklar, 2007) 등을 활용하여 제한적으로 사용하고 있다. 사실 OneSAF도 이미 무인로봇을 시뮬레이션 하기 위한 기본 기능을 제공하고 있으나, 한국에 도입된 국제판 5.0에는 지상무인체계의 네트워킹 기능이 지원되지 않아, 모의실험을 하는데 상당한 제약이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 선행 연구에서는 모의된 유선통신망을 통해 지상무인차량을 원격제어하기 위한 OneSAF 기능 개선 방안과 함께, 원격조종 무선네트워크 연결 상태를 모니터링 하는 방법을 제한적으로 다루었다(Han *et al.*, 2013). 본 논문에서는 OneSAF를 이용한 원격조종 지상무인차량 체계효과분석 방법을 제시한다. 이는 지상무인체계 운용개념을 고려하여 OneSAF용 무인로봇 모의모델을 개발하고, 전투모의 시나리오에 따른 체계효과분석을 수행했다는 점에서 이전 연구와 다르다. 본 논문에서 제안하는 것은 다음과 같이 요약된다.

- 지상무인체계 모의모델 설계 : 지상무인체계 체계 개념에 따라 무선통신, 원격조종, 주행제어, 사격통제를 비롯한 부체계 수준의 성능모의 컴포넌트들을 선별적으로 조립하여 OneSAF용 지상무인체계 모의모델을 설계한다. 단, 지휘통제차량 1대와 무인차량 1대로 구성된 모의모델로 한정하여 설계하며, 다중 무인차량에 대한 모의는 향후 연구로 남겨둔다.
- 무선통신 기반 원격조종 행위모델 설계 : 지휘통제차량과 무인차량 간 유무선 네트워크 연결방법을 구현하고, 전장 상황에서 통신성능 저하를 유발시킬 수 있는 요인들을 고려하여 네트워크 연결 상태를 모니터링 하기 위한 방법을 제시한다. 또한 네트워크를 통해 지휘통제차량이 무인차량의 기동 및 사격장치를 원격조종하는 전투행위 모의방법을 제안한다.
- 시뮬레이션 기반 체계효과분석: OneSAF 전투모의 환경에서 지상무인체계 모의모델을 이용한 시뮬레이션 실험을 통해 본 제안된 방식의 실행가능성을 입증하고, 사후분석을 통해 시나리오에 따른 지상무인체계의 임무/체계효과를 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 OneSAF를 이용한 전투모의 모델 조립 개념을 소개하고, 지상무인체계 효과분석을 위한 몇 가지 고려사항을 살펴본다. 제 3장에서는 지상무인체계 모의모델을 설계하고 통신효과를 반영한 무인체계 전투행위 모의방법을 제시하며, 제 4장에서 구현된 무인체계 모의모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 보인다. 제 5장에서 무인체계 효과분석을 위한 OneSAF 향후 개선 사항에 대해 논의한 후 본 논문을 맺는다.

## 2. OneSAF를 이용한 무기체계 효과분석

### 2.1 OneSAF 소개

OneSAF는 여단급 이하 제대의 전투모의 모델링이 가능한 미 육군 차세대 조립형 시뮬레이션 프레임워크이다(Wittman *et al.*, 2001). OneSAF는 주어진 체계 운용 요구사항을 만족시킬 수 있도록, 다양한 조합이 가능한 성능모의 컴포넌트들을 선택적으로 합성하여 전투모델을 구성한다. 기존 위게임 모델에서는 전투 부대의 전투력을 란체스터 모델로 표현하여 전투효과를 분석하는 반면, OneSAF에서는 에이전트로 구현된 전투장비 및 전투원들의 상호작용을 통해 전투효과를 분석한다. OneSAF에서는 무기체계의 기본 기능을 화력, 통신, 탐지, 기동, 수송, 취약성 등으로 식별하고, 식별된 기능을 대행하는 에이전트의 상호작용을 통해 무기체계를 시뮬레이션 한다. 각 에이전트는 연동되는 공학모델의 충실도를 높임으로써 사실적인 전투모의를 할 수 있다(Johnson *et al.*, 2010).

OneSAF를 이용한 전투모의 모델 조립 개념은 <Figure 1>과 같다(Pyun *et al.*, 2012). 시뮬레이션 엔진은 전투객체 및 부대를 대표하는 에이전트들과 상호작용한다. 각 전투객체는 내부적으로 기동, 화력, 통신, 탐지, 지휘통제, 취약성 등을 대표하는 에이전트 기반 컴포넌트들로 구성되어 있다. 이 컴포넌트들은 전투객체의 상태정보를 공유하기 위한 블랙보드를 통해 대화할 수 있으며 지형, 환경 및 타 전투객체의 에이전트들과 교신할 수 있다.

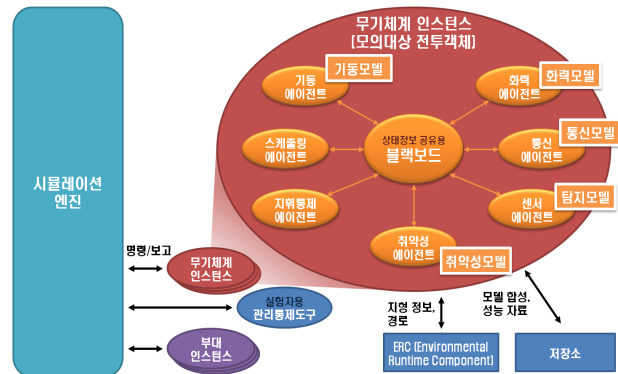


Figure 1. Weapon system simulation model of OneSAF

OneSAF는 미군이 사용하는 국내판과 한국을 비롯한 동맹국에서 사용하는 국제판으로 배포되고 있다. 국제판 버전별 기능을 살펴보면 다음과 같다. 국제판 1.0에서는 OneSAF Objective System에 따라 소프트웨어 구조를 정립하고, 교전모의 도구들을 개발하였으며, 국제판 2.0에서는 주요 전투객체 모델을 갖추고 결과분석 도구를 제공함으로써 기본적인 틀을 갖추기 시작했다. 국제판 3.0 부터는 미군의 상황 변화에 따라 대테러전 전투모델, 미래 전투 체계 모델, 이라크 및 아프간전 대응 전투모델 등이 추가되었으며, 국제판 5.0에서는 비 살상무기 모델이 추가되고 소프트웨어 사용편의성이 개선되었다. 한국에서는 2007년 국제판 1.0을 도입한 이래, 한국 지상군의 교전급 M&S 도구로 활용하고 있으며, 2012년에 국제판 5.0을 도입하여 사용하고 있다.

## 2.2 OneSAF 기반 지상무인체계 모의분석 시 고려사항

OneSAF를 이용한 지상무인체계 효과분석을 위해서는 다음과 같은 세 가지 사항이 요구된다.

첫째로 모의분석용 지상무인차량 모델이 설계되어야 한다. OneSAF가 제공하는 전투객체 조립기를 이용하여 전투객체 모델을 만들 수 있는데, 모델 개발자는 이 전투객체 조립기를 이용하여 무인체계의 특성 및 체원을 입력하고, 자율주행, 사격통제, 감시정찰 등과 같은 성능요소를 모델링한 컴포넌트를 선별한다. 그러나 OneSAF에서 제공하지 않는 모델링 컴포넌트(원격조종 통신모델, 다중로봇 네트워크 모델 등)에 대해서는 시뮬레이션 개발자가 별도로 구현해야 한다. 체계 내부구조에 따라 선별된 컴포넌트들을 통합하여 모의분석용 무인전투객체를 만들 수 있다. 이때 무인체계에 대한 실효성 있는 효과분석을 위해서는 반드시 검증된 무기체계 효과데이터가 반영되어야 한다.

둘째로 모의분석용 지상무인체계 집단이 모델링 되어야 한다. 지상무인체계는 네트워크중심전 하에서 상호 협동교전능력을 갖춘 복합무인체계이므로, 운용개념에 따라 집단적 전투능력을 모델링할 수 있는 모의논리가 필요하다. 이러한 모의논리는 복합무인체계의 구성, 집단적 전투능력 평가모델, 협력교전 행위모델 등이 세부적으로 포함된다. 복합무인체계는 지휘통제차량이 네트워크를 통해 원격조종 가능한 다수의 무인차량으로 구성되며, 구성요소별 세부 역할(지휘통제, 감시정찰, 전투 등)을 포함한다. 집단적 전투능력 평가모델은 CGF(Computer-Generated Forces) 기반 무인차량 전투객체들의 협동교전능력을 통해 얻어지는 통합화력, 통합탐지능력, 작전반경 등을 묘사한다. 이와 같은 요구사항을 반영하기 위해, OneSAF 부대개체(Unit-Level Entity) 모델에 대한 연구가 진행되고 있다(Cole, 2010). 부대개체는 여러 전투객체들을 집단화하여 분대 또는 소대 단위의 전투객체로 표시한다. 이러한 부대개체의 모의논리는 개별개체의 모의논리와는 약간 다르다. 부대에 소속된 전투객체의 모든 전투력을 더하여 통합전투력을 산출하고, 교전시 소속된 전투객체들이 각자 독립적으로 위협탐지/사격할 수 있도록 통합탐지/화력 모의논리를 설계한다. 반면 부대개체의 기동 모의논리는 개별개체의 기동 모의논리를 그대로 적용한다.

이를 통해 지상복합무인체계의 협동교전능력을 모의할 수 있을 것으로 보이나, 세부적인 설계는 향후 연구로 남겨둔다.

셋째로 지상무인체계 원격조종용 무선 네트워크가 모델링 되어야 한다. 무선 네트워크를 통해 지휘통제차량은 무인차량에게 원격제어 명령을 송신하고, 무인차량이 획득한 지형 정보와 전장 상황 정보를 수신한다. 따라서 무선 네트워크의 서비스 품질은 지상무인체계 원격조종 시 직접적인 영향을 미치는 성능요소이다. 지상무인체계 네트워크를 모의하기 위해서는 무인차량 간 통신성능(통신품질, 통신거리 등)에 영향을 미치는 외부 환경 요인을 식별하고, 여기에 영향을 받는 복합무인체계 무선통신 성능 변화를 모델링하는 것이 필수적이다. 이와 관련하여 이동성을 고려한 네트워크 성능(경로유지시간, 전송실패확률 등)과 장비특성(주파수 대역, 무선출력, 수신감도 등)에 따른 통신 연결성이 모의되어야 하고, 지형조건(개활지, 도심지, 산악 등)에 따른 통신 가시권 및 기상조건(폭우, 폭설, 안개 등)별 통신품질 저하 가능성도 함께 고려되어야 한다. 운용성 측면에서는 전파방해 공격 시 통신 가용성 및 무결성을 비롯해 무선통신망 전개 및 철수의 신속성, 장비손실로 인한 무선통신망 운용가능성, 군 통신 전술 체계(센서 네트워크, 무인기 네트워크, 유인체계 네트워크, 위성통신체계 등)와의 연결성도 함께 다루어져야 한다.

## 3. 지상무인체계 모의모델 설계

본 절에서는 OneSAF용 지상무인체계 모의모델 구조를 제안한 후, 지휘통제차량과 무인차량 간 일대일 통신에 의한 원격조종행위 과정을 설명하고 이와 관련된 OneSAF 기능 개선 방안에 대해 살펴본다.

### 3.1 모의모델 구조

본 논문에서는 지휘통제차량 1대와 무인차량 1대로 구성된 지상무인체계 모의모델을 다룬다. 지휘통제차량은 무인차량의 기동장치와 사격장치를 원격조종하며, 무인차량은 원격조종통제에 따라 기동장치와 사격장치를 제어하고 탑재센서를 통해 획득한 지형정보, 적 위협, 현재위치, 차량상태 등 전장상황 정보를 수집하여 지휘통제차량에게 보고하는 임무를 가진다. 특히 지휘통제차량과 무인차량은 상호 연결된 통신링크를 통해 각종 지휘통제 전문과 전장상황 정보를 송수신하기 때문에, 통신품질은 원격조종 시뮬레이션에 직접적인 영향을 준다. 통신링크로는 유선 또는 무선통신링크가 지원되며, 무선통신의 경우에는 여러 가지 통신 방해 요인에 의해 데이터 지연 및 손실과 같은 통신품질 저하를 야기할 수 있다. 일반적으로 네트워크 시뮬레이터와의 연동을 통해 무선통신링크에 미치는 외부 요인들을 사실적으로 모의하여 지휘통제차량과 무인차량 간 네트워크 연결 상태를 가변적으로 변화시킬 수 있으나, 이와 관련된 내용은 본 논문에서 다루지 않는다.

지상무인체계 모의모델 구조는 <Figure 2>와 같으며, 지휘통제차량과 무인차량에 대한 세부 사항을 다음과 같이 정의한다 (Han *et al.*, 2013). 지휘통제차량은 고속 기동 전술 차량, 장갑차와 같이 무선통신 컴포넌트를 갖춘 차량 전투객체이다. 지휘통제차량과 무인차량은 공통적으로 상호 간에 교신 가능한 주파수 및 통신 프로토콜을 지원해야 한다. 무인차량은 원격통제, 배터리, 주행제어, 센서제어, 사격통제와 관련된 핵심 컴포넌트들로 이루어지며, 그 외에도 차량 구동에 필요한 부수적인 컴포넌트들을 포함할 수 있다. 먼저 원격통제기는 무인차량이 지휘통제차량과 통신 가능 여부를 주어진 특성 값(최대 통신 가능 거리 등)에 근거하여 반복적으로 점검한다. 배터리는 주어진 전원 소모 모델에 따라 무인차량의 배터리 잔량을 결정한다. 원격통제기와 배터리는 원격조종 가능여부를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 만약 무선통신 컴포넌트에서 통신 불능 판정을 내리거나, 배터리에서 임무 수행에 필요한 전력 공급 불가함을 통지하면, 무인차량은 사실상 원격조종이 불가능한 상태에 빠진다. 그 외의 경우에는 주행제어, 센서제어, 사격제어가 가능하다. 무인차량 원격조종은 OneSAF의 CGF에 의해서 이루어진다. CGF가 결정한 주행제어, 센서제어, 사격제어 명령에 따라 ① 로봇용 주행제어기는 자율주행제어 모델에 따라 무인차량의 현 위치 및 이동방향, 속도를 결정하여 무인차량을 이동시키고, ② 로봇용 센서제어기는 탑재된 다중센서모델에 따라 표적을 식별하고, 표적의 위치와 이동속도를 결정하며, ③ 로봇용 사격통제기는 주어진 사격통제 모델에 따라 표적, 무장, 탄종을 결정한 후 표적을 조준하고 탄을 발사한다.

OneSAF에서 제안된 모의모델을 구현하기 위해, 우리는 전투객체조립기를 이용하여 <Figure 3>과 같이 지상무인체계를 모델링한다. 먼저 전투객체의 특성 및 제원을 입력하고, 필요한 성능 컴포넌트들(화기, 포탑, 센서, 라디오, 엔진 등)을 선택

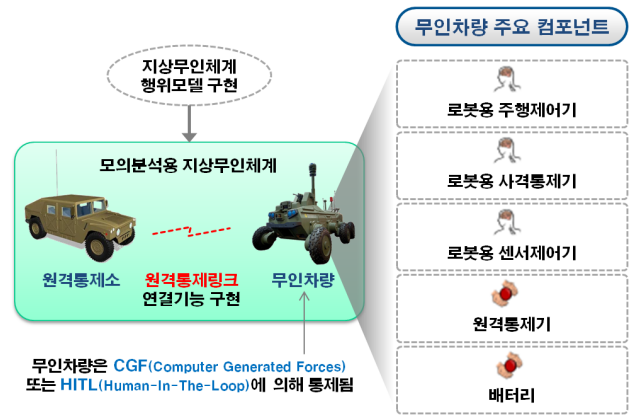


Figure 2. Conceptual simulation model of unmanned ground system

적으로 통합하여 전투객체의 내부형상을 구성한다. 다음으로 사격통제, 센서통제, 주행제어 등을 수행하기 위한 기능 컴포넌트를 추가한다. 주어진 상호의존관계에 따라, 기능 컴포넌트는 성능 컴포넌트와 협조하여 임무 수행을 하게 되는데, 기능 컴포넌트가 부체계 제어방법에 관한 것이라면, 성능 컴포넌트는 부체계 성능을 기술한 것이다. 예를 들면, 주행제어 컴포넌트는 엔진 컴포넌트로부터 얻은 주행성능 성능정보를 참고하여 이동방향 및 주행속도를 결정한다.

### 3.2 지상무인체계 통신링크 연결 및 통신상태 점검

지휘통제차량과 무인차량 간에 원격조종 가능한 통신 상태를 유지하기 위해서는 ① 지휘통제차량과 무인차량 간에 통신 링크가 체결되고, ② 지휘통제차량과 무인차량이 통신 가능한 범위 안에 있으며, ③ 통신 가시선(line-of-sight) 확보와 함께, ④ 적에 의한 전파방해(jamming)를 받지 않아야 한다(Han *et*

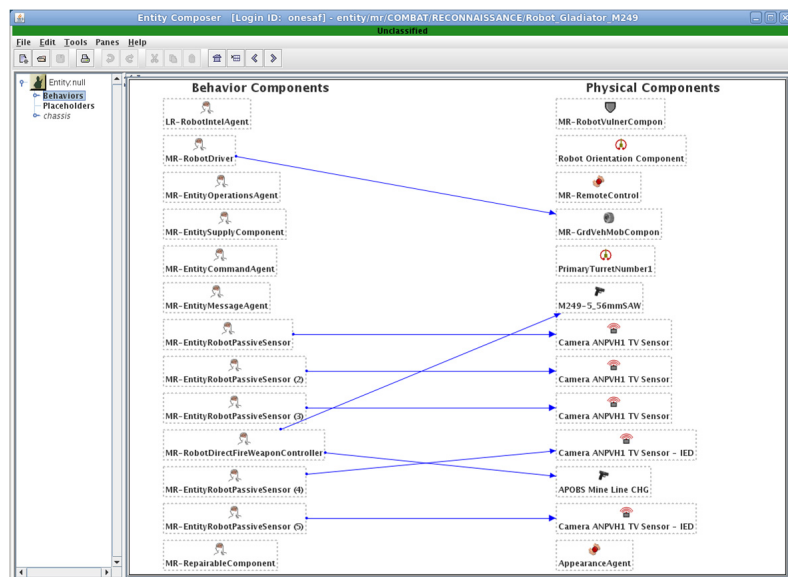


Figure 3. OneSAF entity composer to model a unmanned ground vehicle

al., 2013). 이와 같은 조건들이 성립되어야만 지휘통제차량과 무인차량 간 상호 교신이 가능해지므로, <Figure 4>와 같이 지휘통제차량과 무인차량 간 통신 상태를 반복적으로 확인한다.

먼저 지휘통제차량과 무인차량을 유무선 통신링크로 연결 시켜야 한다. 먼저 운용자는 OneSAF 사용자 인터페이스를 통해 무인차량을 선택한다. 운용자는 선택된 무인차량을 통제할 수 있는 지휘통제차량들 중에서 하나를 선택한 후, 통신방식(무선통신, 유선통신 등)과 원격조종대상을 선택한다. 여기서 원격조종대상은 지휘통제차량이 원격조종하고자 하는 무인차량의 대상 기능을 뜻하는 것으로서, 세부적으로는 기동장치, 사격장치, 또는 기동 및 사격장치가 될 수 있다. 이와 같이 입력된 통신링크에 관한 세부 정보(지휘통제차량 모의객체 식별자, 무인차량 모의객체 식별자, 통신방식, 원격조종대상 등)를 지휘통제차량과 무인차량에게 각각 전달하여 상호 간에 통신링크를 체결한다. 무인차량은 주어진 원격조종대상에 따라 자신의 기동 및 화기 컴포넌트에 대한 접근권한을 지휘통제차량에게 인가한다.

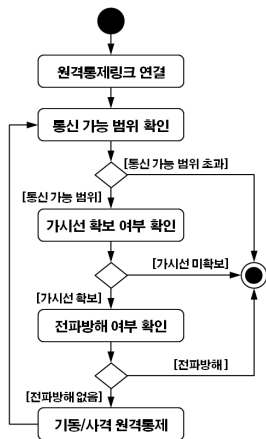


Figure 4. A procedure to monitor communications status of unmanned ground system

다음으로 지휘통제차량과 무인차량이 통신 가능한 범위 안에 있는지 확인한다. 식 (1)과 같이, 주어진 최대 통신거리  $r_{max}$ 와 통신방식과 지형조건 별로 상이한 통신거리 감쇠계수  $C_{reduction}$ 를 곱하여 통신 가능 거리  $r_{adj}$ 를 계산한다. 만약 통신 가능 거리  $r_{adj}$ 가 지휘통제차량과 무인차량 사이의 거리보다 크다면, 두 모의개체는 서로 통신 가능한 범위 안에 있다고 판정한다.

$$r_{adj} = r_{max} \cdot C_{reduction} \quad (1)$$

이어서 지휘통제차량과 무인차량 간 통신 가시선이 확보되었는지 확인한다. 식 (2)와 같이 지형  $T$ 에서 지휘통제차량의 위치  $p_{controller}$ , 무인차량의 위치  $p_{responder}$ , 관측수단 별 가시거리 감쇠계수  $C_{attenuate}$ 를 고려하여 가시거리 감쇠지수  $l$ 를 계산한다. 만약 계산된 값이 주어진 값보다 클 경우, 지휘통제차량과 무인차량 간에 통신가시선이 확보된 것으로 간주한다.

$$l = \log(p_{controller}, p_{responder}, C_{attenuate}, T) \quad (2)$$

마지막으로 지휘통제차량 또는 무인차량이 적의 전파방해 공격을 받고 있는지 확인한다. 무선통신링크는 전파방해에 매우 취약하므로, 전파방해 여부에 대한 확인이 필요하다. 식 (3), 식 (4)와 같이 적의 전파방해기  $e_{jammer}$ 와 지휘통제차량  $e_{controller}$ , 적의 전파방해기  $e_{jammer}$ 와 무인차량  $e_{responder}$  간 거리가 전파방해 영향범위  $r_{jamming}$ 보다 클 경우, 지휘통제차량과 무인차량은 전파방해를 받지 않는다고 판정한다. 여기서 두 개의 전투객체  $e_1, e_2$ 에 대한 거리 함수는  $d(e_1, e_2)$ 로 표현된다.

$$r_{jamming} < d(e_{jammer}, e_{controller}) \quad (3)$$

$$r_{jamming} < d(e_{jammer}, e_{responder}) \quad (4)$$

만약 두 전투객체가 전파방해 영향범위 안에 있을 경우, 전파방해기와 지휘통제차량 또는 전파방해기와 무인차량 간 통신 가시선이 확보되었는지 살펴보고, 통신 가시선이 확보되어 있을 경우 무선통신은 불가능한 것으로 판정한다.

### 3.3 원격조종 전투행위 모델링

우리는 OneSAF 행위조립기를 이용하여 전투객체와 부대가 수행할 수 있는 전투행위를 모델링할 수 있다. 행위모델링 방법에 대해 간략히 소개하면 다음과 같다. OneSAF에서 전투행위는 기본 행위(primitive behavior)와 합성 행위(composite behavior)로 구분된다. 기본 행위는 더 이상 세분화될 수 없는 가장 기초적인 행위로써 단순 이동, 특정 위치를 향해 사격하거나, 특정 지점으로 이동하는 행위 등이 대표적인 예가 될 수 있다. 합성 행위는 기본 행위들을 조합하여 복잡한 행동 패턴을 묘사할 수 있다. 예를 들면, 주어진 경로를 따라 이동하면서 적과 조우 시 사격을 하는 전술기동 행위는 전형적인 합성 행위가 될 수 있다.

이와 같은 방식으로 원격조종 전투행위를 쉽게 모델링할 수 있다. 원격조종 전투행위는 통신링크 연결이 반드시 전제되어야 하므로, 전투행위 모델 설계 시에 통신링크 연결 여부를 모니터링 하는 내용이 반영되어야 한다. 여러 가지 원격조종 전투행위들 중에서 우리는 무인차량의 전술기동 행위를 설계한다. 전술기동 행위란, 전투상황에 따라 적 위협을 제거하면서 목표지점까지 부대를 이동시키는 전투행위으로써, 지상무인체계의 경우 지휘통제차량이 원격조종하여 무인차량을 주어진 목표지점까지 이동시키는 것을 말한다.

지상무인체계의 전술기동 전투행위는 <Figure 5>와 같이 UML(Unified Modeling Language) 행위 다이어그램으로 표현된다(Han et al., 2013). 먼저 무인차량의 현 위치에서 주어진 목표지점까지의 예상 주행 경로를 계획한다. 참고적으로 본 논문에서는 주행 경로 계획 알고리즘을 다루지 않는다. 다음으로 지휘통제차량과 무인차량 간에 통신링크가 체결되었는지 확인한 후, 계획된 주행 경로에 따라 무인차량을 주행시킨다.

제 3.1절에서 언급한 바와 같이, 지상무인체계 모의모델은 인공지능 기법을 응용한 CGF 기술을 이용하여 자율적으로 주행 제어를 하며, 이를 위해서는 무인차량과 지휘통제차량이 통신 링크를 통해서 서로 연결되어 있어야 한다. 따라서 원격조종에 의한 전투행위를 지속하기 위해서는 무인차량의 기동 간 통신링크의 점검이 수시로 병행되어야 하며, 통신링크의 점검은 <Figure 4>에서 설명한 원격조종 지상무인체계 통신기능 모의과정에 준하여 이루어진다. 만약 지상무인체계가 주어진 임무를 완수하기 전에, 무인체계의 임무장비 또는 통신장비가 손상되었거나, 통신여건 불량으로 인해 데이터 전송을 실패하게 되면 무인전투체계의 전투행위는 즉시 중단된다.

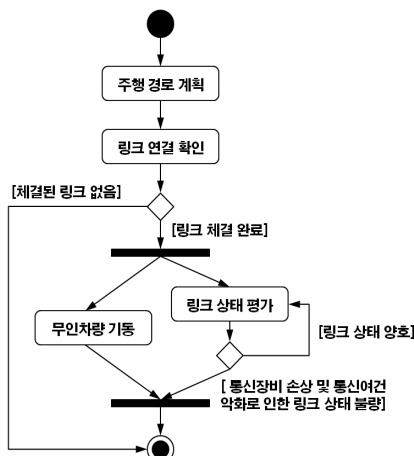


Figure 5. Combat behavior model for tactical moving

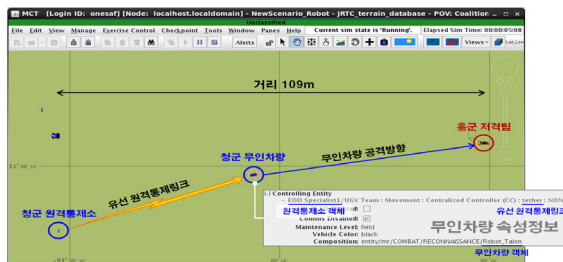
#### 4. 지상무인체계 모의모델 구현 및 검증

이 절에서는 제안된 모의모델의 구현 및 검증에 대해 논의한다. OneSAF 기능 확장에 의한 지상무인체계 시뮬레이션 결과를 소개하고, 모의분석 시나리오에 따른 체계효과도 분석결과에 대해 논의한다.

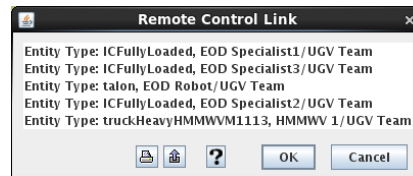
##### 4.1 OneSAF를 이용한 모의모델 구현

우리는 OneSAF를 이용한 지상무인체계 모델링 가능성을 탐색하였다(Han *et al.*, 2013). 세부적으로 설명하면 ① 지휘통제차량과 무인차량 간 통신링크 생성기를 구현하여 지상무인체계 원격통제기능을 보완하고, ② 통신효과를 반영한 무인차량 전술기동 전투행위모델을 작성하였으며, ③ OneSAF 국제판 5.0을 이용하여 체계효과분석을 위한 모의실험을 실시하였다. 제안된 모의모델은 CentOS 5.3 리눅스 운영체제에서 Java 언어로 구현되었으며, 구현된 코드를 OneSAF 국제판 5.0에 통합하여 실행하였다.

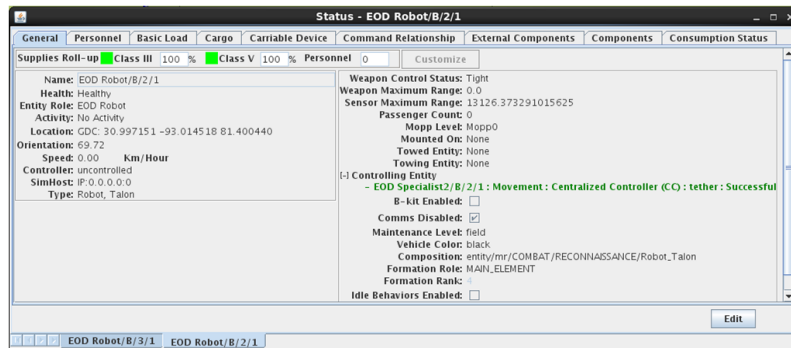
<Figure 6>은 OneSAF에서 지상무인체계 모의분석을 위한 시뮬레이션 관리통제기 GUI를 보여준다. 운용자는 <Figure 6(a)>에 있는 지휘통제차량과 무인차량이 상호 교신할 수 있도록 원격조종용 통신링크를 생성한다. 먼저 무인차량을 선택한 다음, 콘텍스트 메뉴에서 원격조종용 통신링크 생성메뉴를 실행하면, <Figure 6(b)>와 같은 ‘Remote Control Link’ 대화상자가 화면에 나타난다. 이 대화상자에는 선택된 무인차량을 원격조종할 수 있는 지휘통제차량 전투객체들이 나열되며, 이



(a) Plan view display of OneSAF



(b) Communication link generator



(c) Properties of a selected unmanned ground vehicle

Figure 6. Simulating an unmanned ground system model of OneSAF

중 하나를 선택하고 시뮬레이션을 실행한다. 원격조종용 통신 링크 생성기는 주어진 데이터를 이용하여 통신링크를 생성하고 링크 정보를 지휘통제차량과 무인차량에게 바이너리 또는 XML(Extended Markup Language) 데이터 형식으로 부호화하여 전달한다. 지휘통제차량과 무인지상차량은 수신한 정보를 통해 자신과 연결된 전투객체를 파악하게 된다. 이와 같은 과정을 마치면, <Figure 6(c)>에서 보이는 바와 같이, 무인차량의 속성정보 대화상자에서 Controlling Entity에 선택한 지휘통제 차량 전투객체 이름이 전시되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 두 모의객체 간에 원격통제링크가 성공적으로 연결된 것을 확인할 수 있다. 이러한 상태에서 운용자는 <Figure 7>과 같이 임무편집기를 통해 지상무인체계 부대에게 전술적 과업을 부여할 수 있다. 운용자는 임무편집기를 통해 무인차량에게 <Figure 6(a)>의 홍군 저격병이 있는 지점까지 전술기동 하는 과업을 부여하고 모의실험을 실시하면, 무인차량은 이동 간에 홍군 저격병 모의객체와 교전하면서 목표지점을 점령함으로써 주어진 과업을 완수한다.

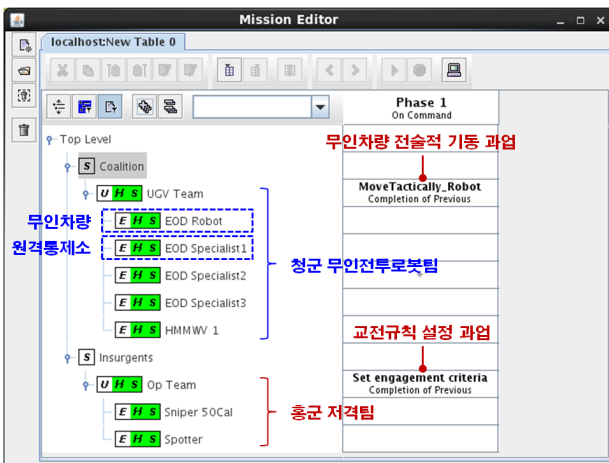


Figure 7. Describing mission for simulated combat objects

4.2 전투모의 실험 시나리오 및 결과

지상무인체계 효과분석을 위한 전투모의 시나리오는 다음과 같다. 대상 지형은 평탄한 지대의 특정 훈련장을 선택하였다. 선택한 지형 위에, 다음과 같은 부대를 배치하고 임무를 부여한다. 청군은 보병 1개 중대를 편성하였다. 미 육군의 M240 클라디에이터 무인차량 모의객체를 기반으로 약 2km까지 원격조종 가능한 모의분석용 무인차량을 임의로 설계하였으며, 시나리오별로 설계된 무인전투차량 1~3대를 보병중대에 배속시켰다. 청군의 전투부대에게 진지 방어 임무를 부여한다. 무인전투차량은 진지의 전방 지역에서 적의 이동을 관측하고 최초 전투를 벌인다. 이후, 적이 특정한 경계선을 넘어오면 보병중대가 진입한 적 부대를 공격하고 아군 진지를 방어한다. 홍군도 보병 1개 중대로 구성되며, 청군의 방어진지를 향해 전술기동하면서, 적과 조우 시 교전하는 임무를 부여하였다.

본 전투모의 실험에서는 OneSAF 국제판 5.0이 제공하는 무기체계 성능자료를 사용한다. 이 데이터는 미 육군 근접전투 전술훈련장(CCTT : Close Combat Tactical Trainer)에서 훈련용으로 사용하는 평균 데이터이기 때문에 체계 수준의 성능 분석용으로 사용하기에는 정밀도가 다소 떨어지는 것으로 알려져 있다. 그러나 무인체계에 대한 운용개념 검증 및 체계효과 분석을 위한 예비실험용으로는 충분한 해상도를 제공하므로 본 전투모의 실험에서는 이 데이터를 사용한다.

이와 같은 전투모의 시나리오에 따라 모의실험을 하며, 유인체계 단독편성 시 체계효과도와 유무인체계 혼합편성 시 체계효과도를 비교한다. 신뢰성 있는 결과 산출을 위해 반복 실험을 한 후, 효과척도(전투력비, 손실교환비 등)를 계산한다. 전투력비는 아군과 적군 간의 상대적인 전투력 차이를 정량적으로 표현하기 위한 지표로서, 전투모의실험의 목적에 피아간의 화력, 이동력, 방호력 등의 차이를 세밀하게 분석하여 계산하기도 하나, 소수의 무인로봇과 다수의 병사들로 구성된 보병중대를 대상으로 하므로 본 실험에서는 전투력비를 다음과 같이 정의한다.

$$\text{전투력비} = \frac{\text{적군 전투객체 수}}{\text{아군 전투객체 수}}$$

손실교환비는 전투결과에 대한 지표로 널리 사용되며, 다음과 같이 정의한다. 여기서 손실전투객체 수는 사상자 수와 손실 장비 수의 합으로 표현된다.

$$\text{손실교환비} = \frac{\text{적군 손실전투객체 수}}{\text{아군 손실전투객체 수}}$$

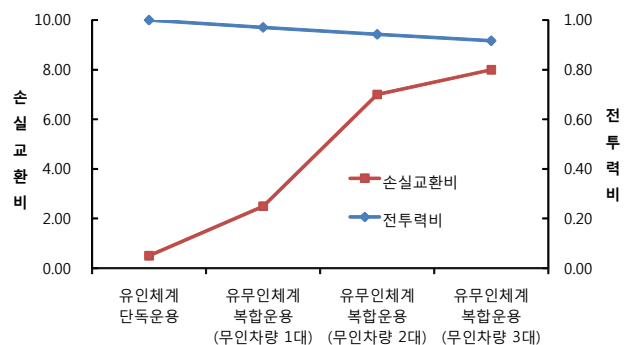


Figure 8. System effectiveness for given combat scenarios

<Figure 8>은 무인체계 모의모델을 이용한 전투 결과를 비교한다. 유인체계 단독운용 및 유무인체계 복합운용 시 전투력비와 손실교환비의 변화를 보여준다. 여기서 전투력비는 홍군 전투객체 수를 청군 전투객체 수로 나누어 계산하였고, 손실교환비는 홍군 피해 전투객체 수를 청군 피해 전투객체 수로 나누어 계산하였다. 전체적인 추이변화를 보았을 때, 보병중대 단독운용 시보다 무인차량을 배속시켜 복합 운용하였을 때 손실교환비가 더 높다는 것을 알 수 있다. 이는 무인차량이 근접한 적과 최초 전투를 벌임으로써, 아군의 인명손실을 막고

반격할 수 있는 시간적 여유를 보장해주었기 때문이다. 즉, 무인체계는 적을 유인하고 저지하는데 필요한 최소한의 전력을 제공함으로써, 보병 중대가 적절한 장소와 시간에 적을 공격할 수 있도록 지원하였다.

이번 실험에 사용된 전투모의 시나리오는 아직 검증되지 않은 것으로서 정확도와 사실성 측면에서 부족한 것은 사실이나, 무인체계가 소부대 단위의 전투력 개선에 일정한 역할을 할 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히 본 모의실험을 통해 유인체계 단독운용 보다는 유무인 복합운용 시 손실교환비가 높아짐을 알 수 있었고, 이를 통해 무인체계를 유인체계에 대한 보조 전력으로 활용 시 전투효과를 높일 수 있다는 것을 재확인했다는 점에서 의미가 있다. 유무인 복합체계 운용개념이 정립되면, 이를 반영한 OneSAF 시나리오를 작성함으로써 실효성 있는 효과분석이 가능할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 OneSAF를 이용한 무인전투체계 모의 방안을 소개하였다. OneSAF 국제판 5.0의 기능 개선을 통해, 통신 효과를 고려한 지상무인체계의 원격조종 전투행위를 모의하였고, 주어진 전투모의 시나리오 하에서 무인체계 모의모델을 이용한 전투시물레이션을 실시한 후, 전투효과도 측정 지표를 활용하여 체계효과분석을 수행하였다. 앞으로 OneSAF 기반 무인화 체계 시물레이션 능력을 계속 발전시켜, 체계운용개념을 반영한 실효성 있는 임무/체계효과분석을 수행할 것이다. 특히 정찰, 지뢰지대 개척과 같은 무인체계 전투행위를 비롯해 다중로봇 네트워킹, 네트워크 기반 협동교전 등 네트워크 중심 작전환경에서의 전투행위를 체계적으로 모의할 것이다. 뿐만 아니라, 검증된 체계성능 데이터(탐지율, 명중률, 살상률, 취약성 등) 및 표준 시나리오를 OneSAF에 적용함으로써, 체계효과분석의 신뢰성을 높이기 위한 노력도 계속할 것이다.

## 참고문헌

Choi, Y. and Kim, J. (2003), Researches on Division-size Unit COA

- Development Plan Applying Vision 21, *Proc. KSS(The Korea Society for Simulation) Conference*, 3-10.
- Cole, B. (2010), Goal based behaviors, unit level entity(ULE) work and OneSAF web interface, *Proc. of OneSAF User's Conference*, 2010.
- Durham, C. M., Andel, T. R., Hopkinson, K. M., and Kurkowski, S. H. (2009), Evaluation of an OPNET Model for Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Networks, *Proc. of Spring Simulation Multiconference*, 1-8.
- Fields, M. and Haug, T. (2003), Developing a Chemical Reconnaissance Behavior for Unmanned Ground Vehicles Using the OneSAF Battlefield Simulation Tool, *Army Research Laboratory*, USA.
- Han, S. W., Pyun, J. J., and Cho, H. (2013), OneSAF Function Improvement to Simulate Combat Behaviors of Unmanned Ground Systems, *Proc. of 23rd Joint Conference on Communications and Information*, A13-4.
- Han, S. W., Pyun, J. J., and Cho, H. (2013), Simulating Remote-operated Unmanned Combat Systems using OneSAF, *Proc. of KIMST(The Korea Institute of Military Science and Technology) Conference*.
- Johnson, H., Schutt, M., and Nelson, M. (2010), Using OneSAF to Support Analysis Quality Closed-loop Constructive Simulation, *Proc. of OneSAF User Conference*.
- Jung, C.-Y. and Lee, J.-Y. (2012), A Literature Review of the Effectiveness Measurement for NCW, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, **37**(2), 1-16.
- Lauren, M. and Stephen, R. (2002), Map-aware Non-uniform Automata (MANA)-A New Zealand Approach to Scenario Modelling, *Journal of Battlefield Technology*, **5**(1), 27-31.
- Mitchell, P. T. (2013), Network Centric Warfare: Coalition Operations in the Age of US Military Primacy, *Routledge*, USA.
- Pyun, J. J., Han, S. W., and Cho, H. (2012), Combat System Effectiveness Analysis using OneSAF, *Proc. of 5th ROK-Army Modeling and Simulation Conference*, 90.
- Rohde, M. et al. (2009), An Interactive, Physics-based Unmanned Ground Vehicle Simulator Leveraging Open Source Gaming Technology : Progress in the Development and Application of the Virtual Autonomous Navigation Environment(VANE) Desktop, *Proc. of SPIE*, **7332**(1), 73321C.
- Sklar, E. (2007), NetLogo : A Multi-Agent Simulation Environment, *Artificial Life*, **13**(3), 303-311.
- Wittman, R. and Harrison, C. (2001), OneSAF : A Product Line Approach to Simulation Development, *The MITRE Corporation*, USA.
- Yoon, H. D., Kim, G. I., and Choi, S. H., Wang, J. H., and Kwon, S. M. (2011), Study for Scenario Making Considering V-C System and Verification Using AWAM, *Proc. of KIMST(The Korea Institute of Military Science and Technology) Conference*, 28-31.