

# 메시지 복잡도를 중심으로한 UGV 통신효과 분석

장유상\* · 신선우\*\* · 서다운\* · 이재영\*\* · 김종만\*\* · 유철우\*\*\* · 배성민\*†

\*한밭대학교 산업경영공학과

\*\*명지대학교 산업경영공학과

\*\*\*명지대학교 정보통신공학과

## Analysis of UGV Communication Effectiveness focused on Message Complexity

Chang, YooSang\* · Shin, SunWoo\*\* · DaYoon SEO\* · Lee, JaeYeong\*\*  
· Kim, ChongMan\*\* · Yoo, CheolWoo\*\*\* · SungMin BAE\*†

\*Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

\*\*Department of Industrial Management Engineering, Myongji University

\*\*\*Department of Information and Communications Engineering, Myongji University

### ABSTRACT

**Purpose:** In the near future, it is expected that UGV(unmanned ground vehicle) will be put into battle due to IT technology and unmanned technology development. In this study, we analyze the combat effectiveness considering communication effect where complex combat information and commands are transmitted.

**Methods:** We use ABM(agent-based modeling) and wireless channel module which provides sophisticated communication effect through geographic information and UGV performance. And UGV combat simulation using wireless channel module is used to grasp the combat effectiveness according to the number of packets, which is a unit for storing all information and commands having high complexity.

**Results:** The result of this study is to derive the optimal number of packets which does not decrease the combat effectiveness and the number of lost tanks. The number of packet increases, the survival ratio of our tanks are decreased.

**Conclusion:** In this study, we reveal that the communication success or failure could affect the combat effectiveness. Also, it helps develop the standard communication protocol between UGVs and could be applied to analyze the cost effectiveness analysis in UGV combat environment.

**Key Words:** ABM(Agent Based Modeling), Combat Effectiveness, Communication Effectiveness, Packet, Unmanned Ground Vehicle(UGV)

● Received 21 August 2017, 1st revised 6 September, accepted 8 September 2017

† Corresponding Author(loveiris@hanbat.ac.kr)

© 2017, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and re-production in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

미래 전장 환경은 빠른 IT 기술의 발달로 인해 무기체계 간 네트워크를 형성하여 전투에서 실시간으로 획득한 정보 및 명령 전달이 가능한 전투환경인 NCOE(Network Centric Operational Environment) 형태가 될 것으로 전망하고 있다. IT 기술의 발전뿐만 아니라, 로봇 기술 및 무인화 기술의 발전으로 인해 무인차량인 UGV(Unmanned Ground Vehicle)와 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)로 구성된 무인무기체계의 도입이 많아질 것으로 예상된다(Lee *et al.*, 2014; ADD, 2012).

미래의 전투는 무인무기체계 간 네트워크를 통해 정보 및 명령 전달을 수행하기 때문에 무인무기체계 간 통신의 중요성이 커질 것이다. 무인무기체계는 장착된 통신기기의 고장이나 지형 환경에 따라 통신이 이뤄지지 않을 경우, 조종사가 탑승한 유인무기체계와 달리 수신호와 같은 정보 교환 방법이 없기 때문에 정확한 정보 및 명령이 전달되지 않아 아군에게 심각한 전투피해를 입힐 수 있기 때문이다.

현재 진행 중인 무인무기체계 및 군통신에 관련된 연구에는 전투효과(Combat Effectiveness) 분석, 통신효과(Communication Effectiveness) 분석, 그리고 비용 대 효과(Cost Effectiveness) 분석으로 구분할 수 있다. 전투효과 분석은 무인무기체계가 실제 전장에서 아군의 승리를 이끄는 데 효과가 있는지를 결과 분석을 통해 파악하는 연구이고, 통신효과 분석은 무인무기체계 간 통신 성공 여부 파악 및 개선에 대한 연구이다. 마지막으로 비용 대 효과 분석은 무기체계의 도입 및 개발에 관련된 측면에서 투자비용의 효율성을 높이기 위한 연구이다. 무인무기체계와 관련된 연구 분석은 실제 환경을 구축하여 실험하면 매우 많은 비용이 지출되기 때문에 다양한 상황을 모사할 수 있는 시뮬레이션을 이용한 연구 분석이 활발히 진행하고 있다(Kim *et al.*, 2014).

본 연구에서는 통신 성공 여부를 고려한 무인무기체계의 전투 결과 파악을 위해 전투효과 분석과 통신효과 분석에 관련된 기존 연구들을 조사했다. 문헌 조사 결과, 무인무기체계가 투입된 전투 환경에 관련된 연구에는 무기체계 간 통신이 항상 성공하는 것을 가정으로 하는 연구들이 일반적이었다. 통신 성공 여부를 고려한 전투 결과 파악에 대한 연구에는 유인무기체계가 투입된 상황에서의 연구들이 있다(Park *et al.*, 2010; Shin *et al.*, 2013).

본 연구의 주요 목적은 무인무기체계에서 통신 성공 여부가 전투 결과에 영향을 줄 수 있다는 가정 하에 UGV가 투입된 전투 상황에서 복잡도가 높은 정보 및 명령이 담긴 메시지 전달 시, 메시지에 담긴 정보 단위인 패킷 수에 따른 전투효과 분석이다. 본 연구에서는 전투 상황을 모사하기 위해 서로 다른 개체들의 정의와 행동 규칙들 간의 상호작용을 모델링하는 ABM(Agent Based Modeling)을 이용하여 시뮬레이션을 수행한다.

통신효과 측면에서는 다양한 통신 함수 이론과 적군 및 아군의 가진 무인무기체계의 성능, 그리고 지형 환경을 고려한 통신 성공 확률을 계산하여 통신 성공 여부를 결정하는 무선 채널 모듈을 이용한다. 본 연구에서 구축한 모델의 시뮬레이션 수행을 통해 몇 개의 패킷을 사용했을 때 전투 결과에 영향을 미치는지에 대한 파악과 패킷 개수의 증가에 따라 아군의 전투 결과의 변화 추이에 대해 해석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 군통신에서 사용하는 통신 규격에 대한 설명 및 전투효과 분석 및 통신효과 분석 연구에 관한 연구 상황을 설명한다. 3장에서는 ABM을 이용한 전투 시뮬레이션 구축 방법과 다양한 통신 함수 및 요인들을 고려하여 통신 성공 여부를 결정하는 모듈인 무선 채널 모듈에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 설계 및 분석 결과를 보여주며 5장에서는 본 연구의 기대효과 및 추후 연구 방향에 대해 언급한다.

## 2. Literature Review

<Table 1>은 무기체계의 전투효과 분석과 통신효과 분석에 관련된 연구들을 나타낸다. 기존 연구는 연구에 사용된 방법론, UGV/UAV/UUV(Unmanned Underwater Vehicle)와 같은 무인 무기 및 유인 무기 투입 여부, 무기체계 효과 분석 종류, 투입 여부, 그리고 무기체계가 투입되는 전장 환경에 따라 구분하였다.

**Table 1.** Literature Classification according to Study Feature

Year	Type of Methodology for Study	Unmanned or Manned	Goal of Effectiveness Analysis	Combat Environment
1992	◇(Using Device)	☒	□	☒
2009	◆	☒	□	☒
2010	◆	●	■	▼
2012	◇(Devs, OPNET)	●	■	△ —
2013	◆	●	■	△
2013	◆	○	☒(Combat Entity)	—
2013	⊕(RPGM)	○	□	—
2013	⊕(Marcov Chain)	○	□	—
2014	⊕(EKF Algorithm)	○○	□	△ —
2015	◆	○	■	—
2015	◆(MABMS)	●	■(V&V)	△ —
2016	◆ ◇(TDMS)	●	■(V&V)	▼
2016	◆	●	☒(Decision Making)	△
This Study	◆	○	■	—
Mean of Symbol	◆ : ABM ◇ : Other Simulation ⊕ : Algorithm or Mathematical Method ( ) : Used Method	◎ : UAV ○ : UGV ⊕ : UUA ● : Manned ☒ : Not Mentioned	■ : Communication & Combat Effectiveness □ : Communication Effectiveness ■ : Combat Effectiveness ☒ : Other Study V&V : Validity&Verification	△ : Aerial — : Ground ▼ : Sea ☒ : Not Mentioned

무인무기체계가 투입된 전투 상황에 대해 ABM을 이용한 연구에는 정찰용 무인무기체계와 전투용 무인무기체계에 이루어진 부대(Lee et al., 2015)에 대한 연구가 있으며 자가 의사결정이 가능한 무인 탱크 도입 방법(Zhao et al., 2013)에 관련된 연구가 수행되었다.

유인무기체계가 투입된 상황에 대한 ABM 연구에는 네트워크 중심의 전투를 의미하는 NCW(Network Centric Warfare)로 구축된 해상 전투에서의 전투효과 분석(Park et al., 2010)과 전투기 부대에 대한 연구(Shin et al.,

2013), 유인무기체계가 투입된 전투효과 파악을 위해 구축한 모델링이 유효한지를 파악하는 연구 중 지상과 공중 전투에서의 유효성 검사 연구(Yan *et al.*, 2015)가 있으며, 유인무기체계의 전투효과 분석 외의 연구에는 공중전에서도 일어나는 상황에 따른 의사결정 방법(Wang and Liu, 2016)에 대한 연구가 있다.

유인무기체계가 투입된 전투 상황을 ABM 외의 시뮬레이션을 통해 전투효과를 분석한 연구에는 지상 및 공중에 투입되는 전투 부대에 대한 연구(Kang *et al.*, 2012)와 해상 전투에서의 유효성 검사 연구(Onggo and Karatas, 2016)가 있다.

ABM을 이용한 통신효과 파악에 관련된 연구에는 무기체계에서 정보 교환 서비스 체계인 SOA(Service-Oriented Architecture) 개발에 대한 연구(Malhotra, 2009)가 있으며, 무인무기체계 투입 시 수리적 기법 및 알고리즘을 이용한 군통신에 대한 연구에는 UGV가 투입된 지형을 고려한 군통신 방법(Severinghaus *et al.*, 2013), 대역폭 제한설정을 통한 군통신 환경 개선 방법(Sagir, 2013), UAV를 이용한 UGV 간 통신 네트워크 구축(Thulasiraman *et al.*, 2014)에 대한 연구가 있다. Kaste *et al.*(1992)은 군통신 장비를 직접 이용하는 시뮬레이션을 통해 메시지 수, 메시지 도착률, 전송 모드에 따른 통신 처리량 및 지연에 미치는 영향의 정량화를 통한 네트워크 성능 평가에 대한 연구를 수행하였다.

기존 연구들의 특징들을 요약하면 전투효과 분석은 주로 시뮬레이션을 통해 수행되며 통신효과에서는 수리적 기법 및 알고리즘을 이용한 통신효과 개발에 대한 연구들이 대다수를 차지한다. 하지만 전투효과 분석 측면에서 실제 전장에서 복합적인 명령을 보내기 위한 메시지 길이와 관련된 연구를 찾기 어려운 상황이다. Kaste *et al.*(1992)은 메시지 길이에 따른 처리량 및 지연에 관련된 연구를 수행 하였으나, 이는 네트워크 성능 평가에 중점을 둔 연구로 전투효과 분석과 연계하지는 않았다. 이런 관점에서 본 연구는 전장에서 무인무기체계 간 통신 시, 메시지 길이에 따른 전투효과 변화 분석이라 볼 수 있다.

군통신을 위해 사용되는 유선 통신 형식의 표준 규격인 MIL-STD-1553B가 있는데, 이는 미 해군 및 공군에서 사용되는 통신 프로토콜이다. MIL-STD-1553B는 군통신 용도 외에도 산업용 우주용 장비 간의 통신 규격으로도 사용되고 있다. <Figure 1>은 MIL-STD-1553B에서 메시지 전달 시 구성되는 데이터 형식을 보여주고 있다.

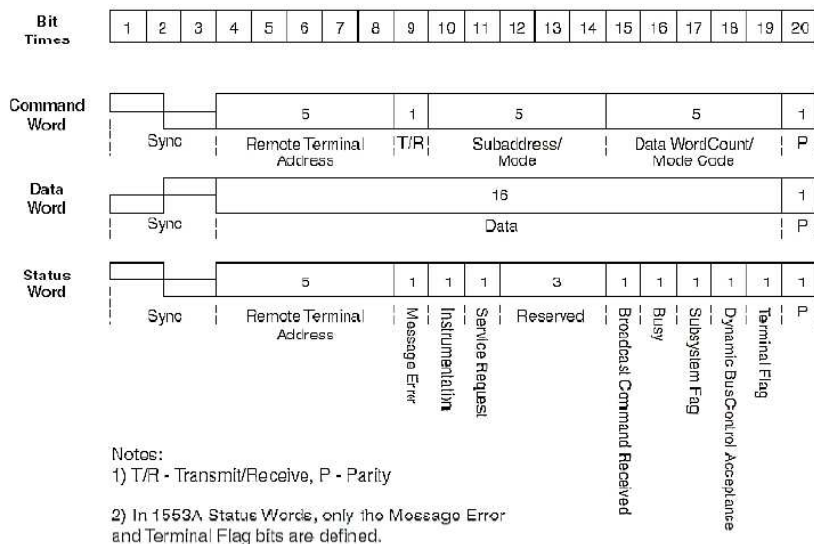


Figure 1. Data Format of MIL-STD-1553B

MIL-STD-1553B에서 메시지 전달을 위해 사용하는 데이터 형식은 Command Word, Data Word, 그리고 Status Word로 구성되어 있으며, 이를 이용한 통신 과정은 다음과 같다. 먼저 Command Word는 송신 요청에 통신을 요청하며, 20개 비트(bit)를 이용하여 송신 및 수신 요청 및 전송하는 Data Word의 개수에 대한 정보를 담는다. Data Word는 동기화 신호에 사용되는 비트 3개와 오류 검출용 비트 1개를 제외한 16개 비트를 이용하여 단일의 특정 전투 정보 및 명령을 담는다. 마지막으로 Status Word는 전송된 Command Word 및 Data Word에 담긴 정보가 에러 유무 및 메시지 유용성 적합 여부를 결정한 후 이 사실을 통신 중이던 대상에게 알리거나 다른 메시지를 요구한다 (ICE, 2012).

### 3. UGV Combat Simulation with Wireless Channel Module

ABM은 서로 다른 개체들이 모여 상호작용하는 상황을 모사하는 모델링 방법으로, 전투와 같이 전장 지형 및 환경, 각기 다른 무기체계 등 다양한 요인들이 모여 비선형적인 형태의 사건 모사에 적합한 모델링 방법이다. 본 연구에서는 무인무기체계가 투입된 전투 상황에 대한 모델링을 위해 ABM이 가능한 Java 기반의 상용 시뮬레이션 프로그램인 AnyLogic을 이용하였다. 또한 무선 채널 모듈(Wireless Channel Module)을 본 연구의 전투 시뮬레이션 모델에 적용시켜 실제 전장 환경을 고려한 통신 성공 여부를 결정을 통해 현실과 가까운 모델을 구축한다.

#### 3.1 UGV Combat Simulation using ABM

무인무기체계가 투입된 전투 시뮬레이션 모델링은 <Figure 2>와 같이 정찰이 주임무인 UGV, 전투가 주임무인 전차(Tank), 그리고 명령전달이 주임무인 지휘-통제기(Commander)로 구성된 아군과 적군의 전투 프로세스 토대로 구축되었다.

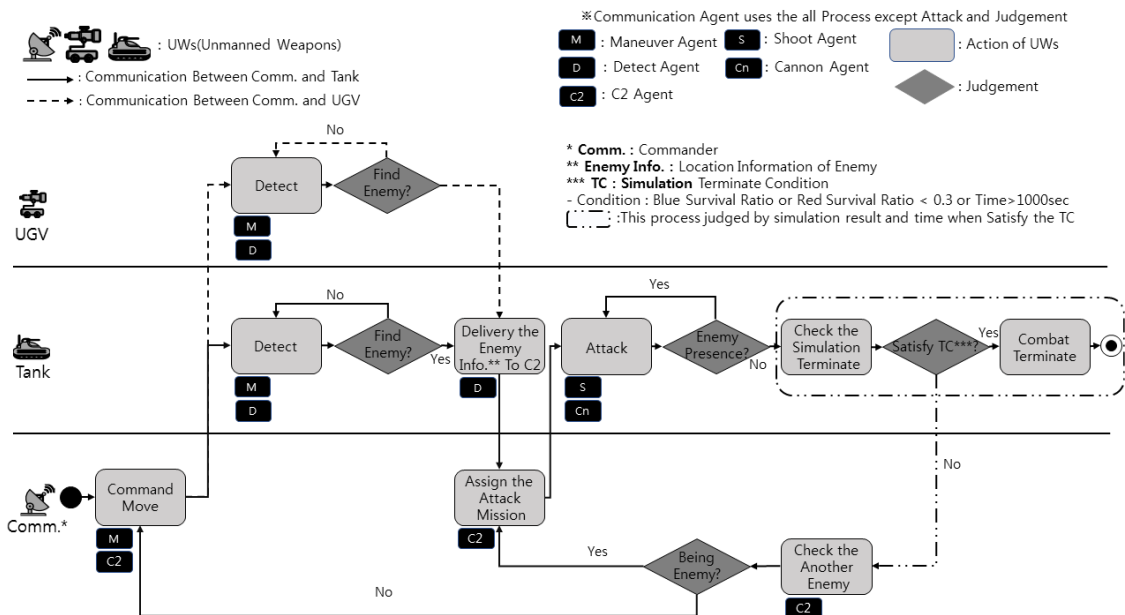


Figure 2. Simulation Processes for UGV combat

먼저 지휘·통제기는 이동하면서 UGV와 전차에게 초기 기동 명령을 내린다. 초기 기동 명령을 수행한 UGV와 전차는 정찰을 통한 적의 위치 파악을 통해 적군의 위치 정보를 지휘·통제기에게 보낸다. 지휘·통제기는 적 위치 정보를 전송 받게 되면 전차에게 그 위치에 있는 적에 대한 공격 명령을 할당한다. 공격 명령을 받은 전차는 적군의 전차를 파괴할 때 까지 계속 사격을 수행한다. 전차가 공격 대상이었던 적을 파괴하고 나면, 시뮬레이션에서 도출되는 전투 피해 결과와 시간에 따라 교전 종료 상태를 판가름한다. 교전 종료 조건은 전투 후 남은 아군 및 적군의 잔존 전투력 비율을 의미하는 BSR(Blue Survival Ratio) 혹은 RSR(Red Survival Ratio) 중 하나가 30% 이하이거나 전투 시간이 1000초 이상일 때이다. 교전 종료 조건이 아닌 상태에서의 지휘·통제기는 UGV 및 전차로부터 얻은 탐지 정보에서 다른 적이 있다면 다시 전차에게 공격 명령 할당을, 아니라면 전차에게 추가 기동 명령을 내린다. 본 연구에서 UGV는 초기에 기동하라는 명령을 받으면 추가 명령을 받지 않고 주어진 이동 경로를 따라서 기동한다.

본 연구의 ABM을 구성하는 에이전트에는 무인무기체계 각각의 주요 임무를 수행할 수 있도록 기능을 부여하는 서브 에이전트(Sub Agent), 서브 에이전트로부터 기능을 부여 받아 무인무기체계 정의 및 적군 및 아군을 결정하는 유닛 에이전트(Unit Agent), 마지막으로 전장 환경 및 무인무기체계가 가진 성능을 조절하는 Main이 있다. <Figure 3>에서는 본 연구에서 사용하는 에이전트의 구성 상태를 그림으로 나타낸 것이다.

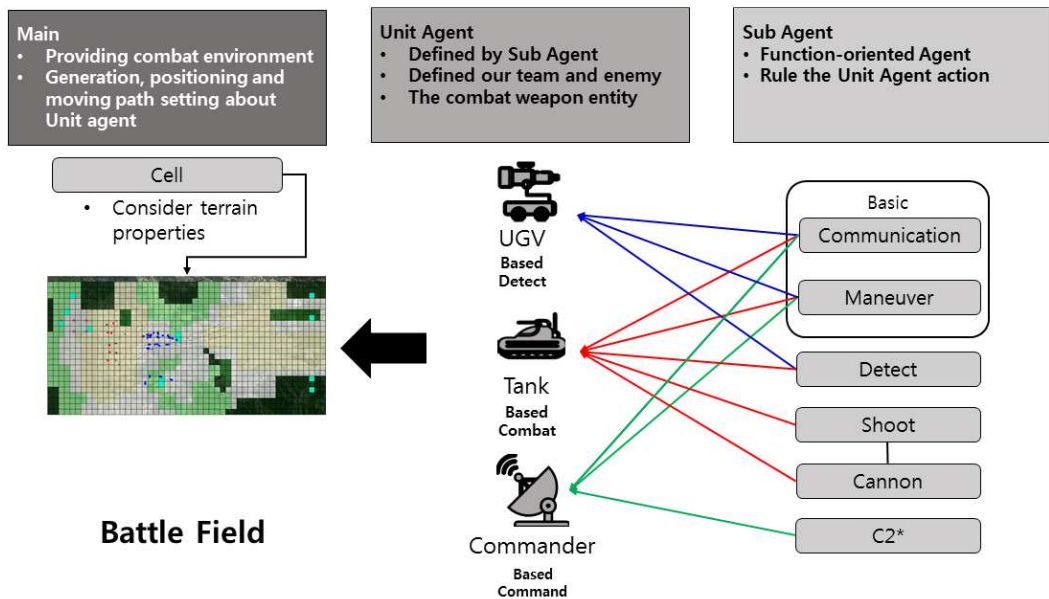


Figure 3. Various Agents used in AnyLogic

서브 에이전트에는 전투 상황에 필요한 6가지 기능이 존재하며, 이를 이용하여 무인무기체계에게 각자의 임무 수행을 적합한 기능을 부여한다. 먼저 통신 에이전트(Communication Agent)에는 무인무기체계 간 정보 교환 및 명령을 수행하는 에이전트로, 본 연구에서 개발한 통신 성공 여부를 결정하는 모듈을 이용하여 정보 전달의 성공 및 실패를 결정한다. 기동 에이전트(Maneuver Agent)는 무인무기체계의 기동을 수행하는 에이전트로, 가까운 경로를 찾아 기동하거나 지휘·통제기의 명령을 받아 기동을 수행한다. 통신 에이전트와 기동 에이전트는 본 연구의 무인무기체계들이 공통적으로 가지는 기능이다.

탐지 에이전트(Detect Agent)는 정찰을 수행하여 적의 위치 정보를 전달하는 에이전트로, 무인무기체계들은 탐지 후 가장 가까운 거리에 위치한 적군에 대한 정보를 지휘·통제기에게 보낸다. 탐지 에이전트는 정찰을 통해 위치 정보

를 보내고 나면 그 명령이 끝날 때까지 정찰 기능을 수행하지 않는다. UGV는 탐지 에이전트를 이용하여 앞에 장애물 유무에 따른 가시선 확보를 의미하는 LOS/NLOS(Line of Sight/None Line of Sight)를 판단한다. 이 때 LOS/NLOS 판단은 시뮬레이션 상에서의 판단으로, 지휘·통제기에게 전달되지 않는다.

사격 에이전트(Shoot Agent)는 적군에게 피해를 입히기 위한 포탄 에이전트(Cannon Agent)를 발포하는 에이전트로, 사격 에이전트를 가진 무기체계는 상대 발견 시 먼저 발포하지 않고 지휘·통제기에게 적 위치 정보를 보낸 후, 지휘·통제기로부터 임무를 받으면 그 정보에 맞는 적을 향해 상대방에게 포탄 에이전트를 발사한다. 포탄 에이전트는 사격에이전트 에서 발포하는 대포와 같은 개념으로, 발포된 거리를 이용하여 상대에게 전투피해를 준다. 전투피해의 종류에는 3가지로, 기동이 불가능해 사격만 가능한 상태인 M-Kill(Maneuver-Kill), 사격이 불가능해 기동만 가능한 상태인 A-Kill(Attack-Kill), 마지막으로 기동과 사격이 불가능하여 하나의 무인무기체계가 사라진 상태인 T-Kill(Total-Kill)로 나뉜다.

다음으로 C2 에이전트(Command and Control Agent)는 기동 후 다른 무인무기체계의 탐지 에이전트를 이용하여 획득한 공격대상 정보를 이용하여 그에 관련된 사격 임무 및 추가 기동 명령을 내린다. 마지막으로 셀 에이전트(Cell Agent)는 Main에 있는 지도의 색깔의 진한 정도에 따라 고도를 결정하는 에이전트로, 앞의 장애물 유무에 따른 통신 환경에 영향을 주는 역할을 수행한다.

유닛 에이전트는 앞서 언급한 무기체계에게 기능을 부여하는 각 서브 에이전트의 사용 여부 조합을 이용하여 각자에게 주어진 주요 임무를 수행하는 무인무기체계인 UGV, 전차, 지휘·통제기에 대한 기능 정의와 아군이자 공격 팀인 블루 팀(Blue team)과 적군이며 방어역할을 하는 레드 팀(Red team)을 구분한다.

UGV의 경우, 정찰을 통한 공격 대상의 위치 파악이 주목적이기 때문에, 사격 에이전트와 C2 에이전트 기능은 사용하지 않는다. 전차는 명령을 내리는 C2 에이전트와 지형의 고도를 표현하는 셀 에이전트를 제외한 나머지 서브 에이전트를 이용한다. 전차는 탐지 에이전트를 통해 적의 위치 정보를 알아도 지휘·통제기에게 적 위치에 따른 사격 임무를 받기 전까지는 스스로 사격을 수행하지 않는다. 본 연구에서는 아군과 적군의 전차 사이에서만 사격이 일어나며, 전투 피해 또한 전차에게만 적용된다. 마지막으로 지휘·통제기는 임무 전달이 목적이기 때문에 탐지 에이전트와 사격 에이전트를 사용하지 않고 UGV와 전차로부터 얻은 적 위치 정보를 통해 전차에게 사격 명령을 내린다. 교전 후 시뮬레이션 내의 상태에 따라 교전상황이 종료되지 않으면 기동 명령 및 추가 사격과 같은 추가 동작 명령을 내린다.

Main은 전장 환경, 무인무기체계, 즉 유닛 에이전트의 생성, 배치, 이동 경로, 성능 설정을 가능하게 하는 에이전트로, 전장 환경에 있어서 셀 에이전트를 이용하여 장애물이 있는 상태인 고도를 표현한다. 또한 아군과 적군의 전투 후의 전투 피해 정도인 CDA(Combat Damage Assessment)를 그래프로 이용하여 <Figure 4>와 같이 시각적으로 보여준다.

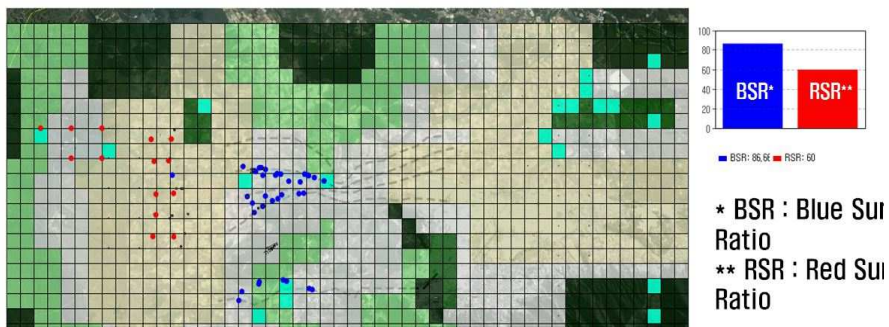


Figure 4. The Scene When perform the Combat Simulation

본 연구에서 아군과 적군의 승패를 결정할 때, 퍼센트(%)를 이용하여 아군의 잔존 전투력을 의미하는 BSR과 적군의 잔존 전투력 비율인 RSR을 이용한다. BSR과 RSR의 계산 방법은 다음과 같다.

$$BSR = \frac{B_T}{B_0} \times 100, RSR = \frac{R_T}{R_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $B_T$ 와  $R_T$ 는 아군과 적군 간의 전투 남은 잔존 전투력을,  $B_0$ 와  $R_0$ 는 아군과 적군의 초기 전투력을 의미한다. 본 연구에서 전차가 전투 피해를 줄 때 포탄 에이전트의 거리에 따른 명중률을 이용하여 M-kill, A-kill, T-kill이라는 세 가지 형태가 있다고 언급하였다. 이 때, BSR 감소를 위해서는 전차의 전투피해 상태가 무인무기체계가 사라지는 상태인 T-kill이 되어야 BSR 값이 감소한다.

패배를 결정하는 방법은 잔존전투력이 30% 이하가 되었을 때로, BSR 혹은 RSR 둘 중 하나가 30% 이하가 된 팀이 패배한 것으로 간주하고 전투는 종료된다. 그리고 잔존 전투력을 이용하여 전투효과를 파악하는데, 전투효과 파악 방법은 RSR이 30% 이하가 되었을 때 BSR을 확인한다. 이 때 BSR 값이 커질수록 무인무기체계 도입이 전투에 높은 승률을 가져온다고 볼 수 있다. 본 연구의 BSR 및 RSR 계산법은 Lee *et al.*(2015)의 방법을 사용하였다.

### 3.2 Communication Process with Wireless Channel Module

본 연구에서 패킷 개수를 조절하여 무인무기체계 간 통신을 수행할 때, <Figure 5>에 나와 있는 프로세스처럼 진행된다. 먼저 무인무기체계 간 통신 채널을 열기위해 Channel Open 구간에서 송신자인 TX(Transmitter)는 통신을 위한 송신 시도 메시지를 보내고, 수신자인 RX(Receiver)는 송신 시도 메시지를 받게 되면 이 사실을 알리는 수신에 성공했다는 사실을 알리는 메시지인 ACK(Acknowledgement) 메시지를 보낸다. 그 후, 송신자가 수신자로부터 ACK 메시지를 받으면 통신 채널이 열려 통신을 수행할 수 있는 상태가 된다.

전장 환경 및 명령과 같은 정보가 담긴 메시지를 보내는 구간인 MSG. Transmission에서는 Channel Open을 통해 메시지 송수신이 가능한 상태가 되면, TX에서 RX에게 전투 정보 및 명령이 담긴 메시지 한 개를 보낸다. 그 후, RX가 메시지를 받게 되면 해당 메시지를 받았다고 알리는 n 번째 메시지의 ACK 메시지를 TX에게 보낸다. 여기까지의 과정이 한 개 패킷의 송신이 성공하는 경우이고, 만일 복합적인 메시지를 송신할 경우와 n+1 번째 메시지가 있다면, n+1 번째 메시지를 보낼 준비를 하고, n+1 번째 메시지가 없다면 통신을 종료한다. 여기서 복합적인 메시지를 구성하는 n개 패킷 모두 송신되었다면 복합적인 메시지 전송은 성공한 것으로 판단한다.

메시지가 성공적으로 전송되었는지 여부는 수신자가 메시지 수신 후 송신자에게 ACK 메시지를 전송하는 것으로 파악할 수 있다. 송신자는 메시지 전송 후, 2초 이내에 ACK 메시지를 수신하는 경우 전송 성공으로 판단하며, 그렇지 않은 경우 최대 3회까지 메시지를 재전송하게 된다. 만일 여러 개의 메시지를 전송하는 과정에서는 하나의 메시지라도 전송이 실패하면 전체 메시지 전송이 실패한 것으로 판단한다.



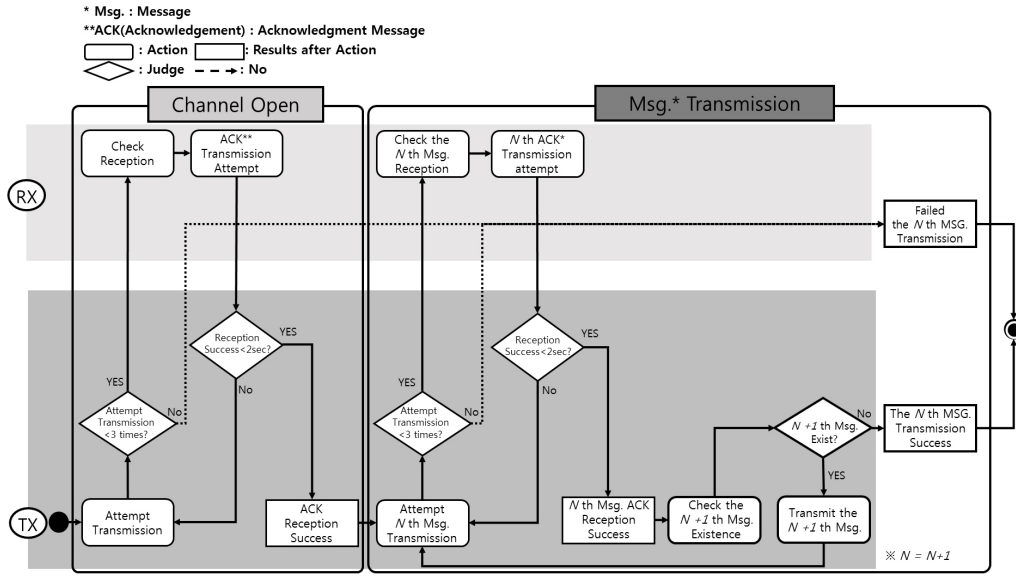


Figure 5. Communication Process

본 연구에서는 무선 채널 모듈이라는 방법을 통해 사실적인 통신 과정을 모사하기 위해 거리, 송수신기의 성능, 다양한 함수 이론을 이용하여 통신 성공 확률을 도출한다. 무선 채널 모듈을 이용한 통신 성공 확률 도출 과정은 <Figure 6>와 같다.

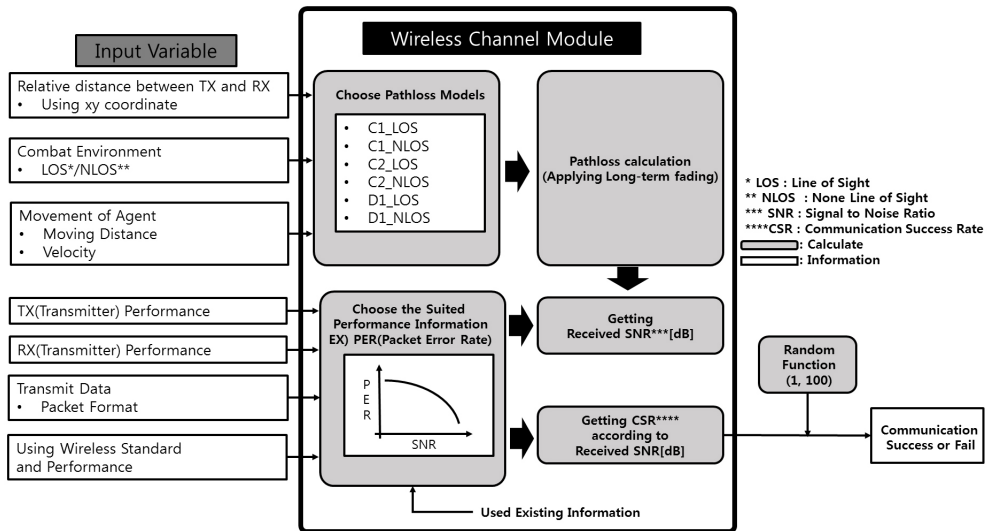


Figure 6. Process of Communication Success or Failure

TX와 RX의 상대적인 거리, 비교적 긴 움직임에 따라 수신호의 세기가 장기간을 거쳐 변하는 통신 환경인 Long-term Fading 채널 환경, 무인무기체계의 움직인 거리와 속도, 송수신기의 성능과 움직임에 따라 손실된 전파의 세기를 계산하는 Pathloss Model에 대입하여 손실된 전파 세기를 구한다. Pathloss Model은 교외 지형인 C1,

도시 지형인 C2, 농촌 지형인 D1이라는 세 가지 지형과 장애물에 유무에 따라 가시선 확보 여부를 의미하는 LOS/NLOS를 고려한 6가지 시나리오에 따라 Pathloss Model을 이용한다. 본 연구에서 사용하는 6가지 시나리오에 따른 Pathloss Model은 <Table 2>과 같다.

**Table 2.** Pathloss Model according to 6 Scenario

Scenario		Pathloss [dB]	Shadow fading Std [dB]	Applicability range Ant. height default value
C1	LOS	$-A = 23.8, B = 41.2, C = 20$ $-PL = 40.0\log_{10}(d[m]^{11}) + 11.65 - 16.2\log_{10}(h_{TX}^2)$ $- 16.2\log_{10}(h_{RX}^3) + 3.8\log_{10}(f_c[GHz]^4/5.0)$	$\sigma = 4$ $\sigma = 6$	$30m < d < d_{BP}^5),$ $d_{BP} < d < 5km,$ $h_{TX} = 25m, h_{RX} = 1.5m$
	NLOS	$PL = (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{TX}))\log_{10}(d[m]) + 31.46$ $+ 5.83\log_{10}(h_{TX}) + 23\log_{10}(f_c[GHz]/5.0)$	$\sigma = 8$	$50m < d < 5km,$ $h_{TX} = 25m, h_{RX} = 1.5m$
C2	LOS	$-A = 26, B = 39, C = 20$ $PL = 40.0\log_{10}(d[m]) + 13.47 - 14.0\log_{10}(h'_{TX})$ $- 14.0\log_{10}(h_{RX}) + 6.0\log_{10}(f_c[GHz]/5.0)$	$\sigma = 4$ $\sigma = 6$	$10m < d < d'_{BP},$ $d'_{BP} < d < 5km,$ $h_{TX} = 25m, h_{RX} = 1.5m$
	NLOS	$PL = (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{TX}))\log_{10}(d[m]) + 34.46$ $+ 5.83\log_{10}(h_{TX}) + 23\log_{10}(f_c[GHz]/5.0)$	$\sigma = 8$	$50m < d < 5km,$ $h_{TX} = 25m, h_{RX} = 1.5m$
D1	LOS	$-A = 21.5, B = 44.2, C = 20$ $-PL = 40.0\log_{10}(d[m]) + 10.5 - 18.5\log_{10}(h_{TX})$ $- 18.5\log_{10}(h_{RX}) + 1.5\log_{10}(f_c[GHz]/5.0)$	$\sigma = 4$ $\sigma = 6$	$10m < d < d_{BP},$ $d_{BP} < d < 10km,$ $h_{TX} = 32m, h_{RX} = 1.5m$
	NLOS	$PL = 25.1\log_{10}(d[m]) + 55.4$ $- 0.13(h_{TX} - 25)\log_{10}(d[m]/100)$ $- 0.9(h_{RX} - 1.5) + 21.3\log_{10}(f_c[GHz]/5.0)$	$\sigma = 8$	$50m < d < 5km,$ $h_{TX} = 32m, h_{RX} = 1.5m$

1)  $d[m]$  : distance,  $m$

2)  $h_{TX}$  : Height of TX

3)  $h_{RX}$  : Height of RX

4)  $f_c$  : Carrier frequency

$$5) d_{BP} = \frac{4h'_{TX}h'_{RX}f_c}{c} (h'_{TX} = h_{TX} - 1.0m, h'_{RX} = h_{RX} - 1.0m, c = 3.8 \times 10^8 m/s)$$

송수신기 간의 거리, 송수신기가 위치한 높이, 반송파 주파수를 고려하여 Pathloss Model을 통해 수신세기와 잡음세기를 도출한다. 도출된 수신세기와 잡음세기를 이용하여 수신세기 대 잡음비 값인 SNR(Signal to Noise Ratio)를 구한다. SNR에 대한 수식은 다음과 같다.

$$SNR = 10\log_{10}\left(\frac{Received\ Signal}{Noise}\right) \tag{2}$$

구해진 SNR 값은 패킷 당 통신 오류 발생 비율을 의미하는 PER(Packet Error Rate)에 대입하여 통신 성공 확률을 결정한다. 정해진 통신 성공 확률에 대해 1부터 100까지를 이용한 랜덤 함수를 시행하여 통신 성공 여부를 결정한다. PER 곡선은 사용되는 통신 장비와 송수신 환경 등과 같은 다양한 요소들에 의해 결정되는데, 본 연구에서는 실험의 간략화를 위해 백색잡음 상태에서의 PER 곡선(Yoo and Jang, 2009)을 이용하였다. 본 연구에서 수신세기와 잡음세기에 대해서는 교외 지역의 LOS 확보 상태에서의 잡음세기를 이용한다.

## 4. Combat Effectiveness Analysis according to Packet Change

### 4.1 Initial Condition Setting for UGV Combat Simulation

본 연구에서는 사실적인 전투 상황 모사를 위해 각 무인무기체계의 성능과 배치, 그리고 지형 환경에 대한 설정 수치가 존재한다. <Table 3>는 아군과 적군의 무인무기체계의 성능 및 배치된 수와 같은 수치를, <Figure 7>은 지형 환경에 대해 나타낸다.

**Table 3.** Blue team and Red team Setting

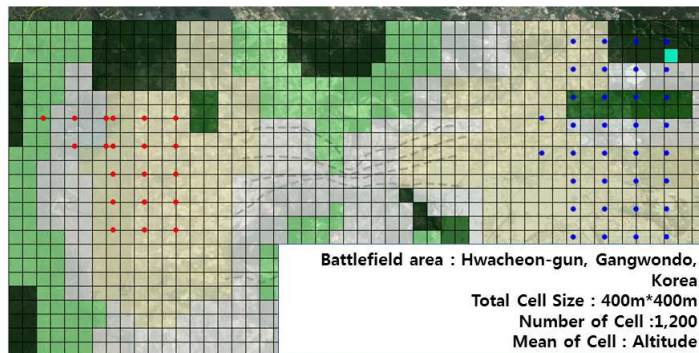
	Blue Team	Red Team
Number of Tank	30	15
Number of Commander	10	3
Number of UGV	2	0
PoD <sup>1)</sup>	$-0.02 \times d^{2} + 100$	$-0.04 \times d + 100$
PoH <sup>3)</sup>	$-0.013 \times d + 100$	-0.01

1) PoD : Probability of Detect

2) d : Distance between Blue Team and Red Team

3) PoH : Probability of Hit

공격 대상에 대한 탐지 확률인 PoD(Probability of Detect)는 UGV와 전차 모두 같은 확률이고, 명중률인 PoH(Probability of Hit)는 사격이 가능한 전차만 사용한다. d는 아군과 적군 사이의 거리로, 단위는 *m*를 사용한다. 아군인 블루 팀과 적군인 레드 팀 모두 전차 대 지휘·통제기 비율이 3 대 1임을 알 수 있는데, 이는 한 대의 지휘·통제기가 3대의 전차에게 탐지 정보에 따른 명령을 내리기 때문이다. 레드 팀에게 UGV가 없는 이유는 방어 입장이기 때문에 먼저 기동하지 않고 블루 팀의 무인무기체계를 탐지했을 때 움직임을 시작하기 때문이다. 본 연구의 시뮬레이션에서 사용한 전투 환경은 <Figure 7>과 같이 강원도 화천군 지역을 대상으로 하였고 LOS/NLOS 상황을 나타내기 위해 고도가 있는 Cell을 표기하였다.



**Figure 7.** Battlefield and Cell

### 4.2 Combat Effectiveness Analysis Method : Paired T-test

본 연구는 높은 복잡도를 지닌 정보를 담은 패킷 개수에 따른 전투결과 분석 및 변화 추이를 파악하는 것으로, 1개의 패킷을 사용하는 경우와 n개의 패킷을 사용하는 경우의 모델을 각각 1000회 시뮬레이션을 실행한 후 도출된 전투 결과 비율값인 BSR 평균값을 이용하여 2개의 평균을 이용한 비교 분석인 T 검정을 이용한다. 이를 통해 BSR 이 유의한 차이를 보이며 감소하게 되는 특정 패킷 개수와 유의한 BSR 차이를 보이는 패킷 개수 사이에서 BSR 평균의 차이가 큰 특정 패킷 개수 분석을 통해 복잡도가 높은 메시지 전달 시 적합한 패킷 사용 개수를 파악한다. 본 연구는 아군의 패킷 개수에 따른 아군의 전투효과 파악이 주요 목적이기 때문에 적군의 패킷 개수는 1개로 고정된 상태에서 아군 패킷 개수만 조절한다.

무인무기체계로 구축된 전장에서 전투효과를 떨어트리지 않는 패킷 수를 구하기 위해 대조군에 해당하는 1개 패킷을 사용하는 모델에 대해 패킷 개수라는 영향을 고려하여 n개의 패킷 수를 사용하는 모델에 대해 대응 표본 T 검정을 이용한다. <Figure 8>는 대응 표본 T 검정을 이용했을 때 전투결과에 유효한 감소를 보이는 패킷 수 파악에 대한 과정이다.

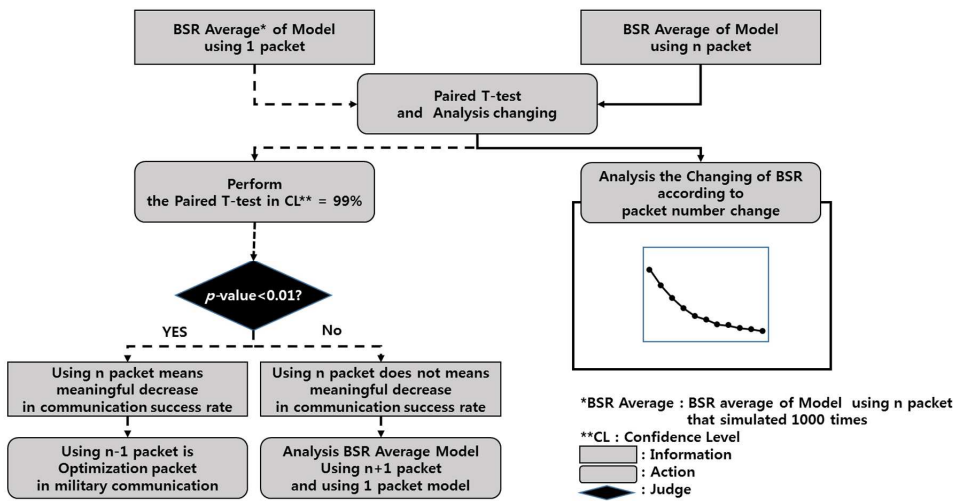


Figure 8. T-test Process for Combat Effectiveness according to the number of packet

패킷 1개를 사용하는 모델의 BSR 평균값과 패킷 n개를 사용하는 모델의 BSR 평균값에 대해 신뢰 수준 99%에서 평균 비교 대응 표본 T 검정을 실시한다. 대응 표본 T 검정 결과, 두 모델의 BSR 평균값에 대한 p값이 0.01이라면 통신 성공률이 전투 결과에 영향을 미칠 정도로 떨어진 것으로 판단하여, 전투 결과에 영향을 미치지 않게 하는 패킷 수인 n-1개가 전투에 적합한 최적의 패킷 수가 된다. T 검정을 통한 최적의 패킷 수 파악 외에도 패킷 수 변화에 의한 BSR 평균값을 이용하여 패킷 수 증가에 따른 통신 성공률 변화 추이를 파악한다. 본 연구에서는 20개까지의 패킷 수까지 실험하였으며, 사용한 통계 프로그램은 SPSS 및 Excel을 이용하였다.

### 4.3 Combat Effectiveness Analysis Results

패킷 1개를 사용하는 모델과 패킷 2개부터 패킷 20개까지 사용하는 모델 간의 대응 표본 T 검정을 신뢰 수준 99%에서 실시하였다. <Figure 9>은 패킷 1개를 사용하는 경우부터 20개를 사용하는 경우의 BSR 평균값의 대응 표본 T 검정결과를 보여준다. 이에 따르면 1개 패킷을 사용했을 때와 2개 패킷을 사용했을 때의 BSR 평균값에 대한 T 검정결과, 신뢰수준 99%에서 두 경우의 차이가 2.5433% 만큼 차이가 나고 p값이 0.000으로 매우 유의한 차이를 보인다. 패킷 개수가 늘어남에 따라 패킷 1개를 사용하는 경우와의 BSR 평균값 차이는 패킷 2개를 사용한 경우의 BSR 평균값 차이보다 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 무인무기체계가 투입된 전투 환경에서 패킷 2개를 사용하는 경우 패킷 1개를 사용한 경우보다 BSR 평균값이 2.5433%만큼 전투효과에 영향을 미칠 정도로 감소되었고 패킷을 늘릴수록 패킷 1개를 사용하는 경우와의 BSR 평균값 차이가 2.5433%보다 더 크기 때문에 패킷의 개수가 많아질수록 전투효과는 더 악화된다. 즉, 전투효과를 최대화하기 위한 최적의 패킷 개수는 1개라고 판단할 수 있다.

**대응표본 검정**

	대응자					t	자유도	유의확률 (양측)	
	평균	표준편차	표본의 표준오차	차이의 99% 신뢰구간					
				하한	상한				
대응 1	패킷1 - 패킷2	2.5433333	7.6638525	.2423523	1.9178803	3.1687864	10.494	999	.000
대응 2	패킷1 - 패킷3	4.4833333	7.8666275	.2487646	3.8413317	5.1253350	18.022	999	.000
대응 3	패킷1 - 패킷4	6.6766667	7.9335124	.2508797	6.0292065	7.3241268	26.613	999	.000
대응 4	패킷1 - 패킷5	7.9866667	7.7621636	.2454612	7.3531904	8.6201429	32.537	999	.000
대응 5	패킷1 - 패킷6	8.7300000	8.1170388	.2566833	8.0675621	9.3924379	34.011	999	.000
대응 6	패킷1 - 패킷7	9.7833333	7.8714331	.2489166	9.1409395	10.4257272	39.304	999	.000
대응 7	패킷1 - 패킷8	10.5833333	8.1064373	.2563481	9.9217606	11.2449060	41.285	999	.000
대응 8	패킷1 - 패킷9	10.7266667	8.0362293	.2541279	10.0708237	11.3825096	42.210	999	.000
대응 9	패킷1 - 패킷10	11.1800000	8.2575358	.2611262	10.5060960	11.8539040	42.815	999	.000
대응 10	패킷1 - 패킷11	11.0300000	7.6774011	.2427807	10.4034413	11.6565587	45.432	999	.000
대응 11	패킷1 - 패킷12	11.6600000	7.9649968	.2518753	11.0099704	12.3100296	46.293	999	.000
대응 12	패킷1 - 패킷13	11.2800000	8.2977512	.2623979	10.6028140	11.9571860	42.988	999	.000
대응 13	패킷1 - 패킷14	11.6100000	8.4499422	.2672106	10.9203936	12.2996064	43.449	999	.000
대응 14	패킷1 - 패킷15	11.5900000	7.8733376	.2489788	10.9474507	12.2325493	46.551	999	.000
대응 15	패킷1 - 패킷16	11.9633333	7.9566721	.2516121	11.3139831	12.6126836	47.547	999	.000
대응 16	패킷1 - 패킷17	11.9233333	8.1240459	.2569049	11.2603236	12.5863431	46.411	999	.000
대응 17	패킷1 - 패킷18	12.0533333	8.5836894	.2714401	11.3528117	12.7538550	44.405	999	.000
대응 18	패킷1 - 패킷19	12.0366667	8.0065587	.2531896	11.3832451	12.6900882	47.540	999	.000
대응 19	패킷1 - 패킷20	12.0533333	8.1051811	.2563083	11.3918631	12.7148035	47.027	999	.000

Figure 9. Results of T-test on BSR average

패킷 수의 변화에 따른 BSR 평균값 변화의 추이는 <Figure 10>과 같이 계속해서 하락하는 모습을 보인다. 패킷 수에 따른 BSR 평균값은 다음과 같이 분석할 수 있다. 패킷 1개를 사용하였을 때 BSR 평균값 69.2267%는 패킷 2개를 사용하였을 때 BSR 평균값인 66.6833%보다 약간 높다는 것을 알 수 있다. 즉 패킷 수가 늘어날수록 BSR 평균값은 점점 더 감소하는 추세를 보인다. 동시에 사용되는 패킷의 숫자가 늘어날수록 전투효과에는 부정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 패킷 수 변화에 따른 BSR 평균값 변화에서 특이한 점은 1개 패킷을 사용하는 경우에서 10개 패킷을 사용하는 경우까지의 BSR 평균값은 크게 감소하다가 그 이후부터는 패킷 수가 증가하면 증가할수록 완만하게 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 10개 이후부터는 패킷 수 증가에 따른 BSR 평균값은 상승과 하락을 반복하는 상황을 볼 수 있다.

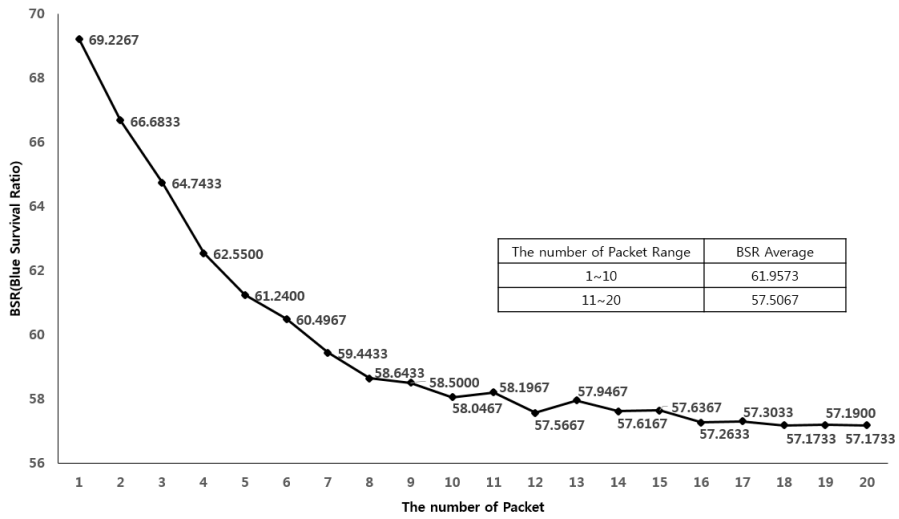


Figure 10. Change of BSR average according to the Number of Packet

BSR 평균값이 미세한 차이로 상승과 하락을 반복하는 구간에 대해 유의한 차이가 존재하는지를 파악하기 위해 <Figure 11>과 같이 특정 패킷 개수와 1개 차이가 나는 패킷 개수에 대해 대응 표본 T 검정을 실행하였다.

**대응표본 검정**

	대응차					t	자유도	유의확률 (양측)
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 99% 신뢰구간				
				하한	상한			
대응 1 패킷1 - 패킷2	2.5433333	7.6638525	.2423523	1.9178803	3.1687864	10.494	999	.000
대응 2 패킷2 - 패킷3	1.9400000	7.8957702	.2496862	1.2956200	2.5843800	7.770	999	.000
대응 3 패킷3 - 패킷4	2.1933333	8.0255376	.2537898	1.5383629	2.8483038	8.642	999	.000
대응 4 패킷4 - 패킷5	1.3100000	8.3392045	.2637088	6.294310	1.9905690	4.968	999	.000
대응 5 패킷5 - 패킷6	.7433333	8.0229283	.2537073	.0885759	1.3980908	2.930	999	.003
대응 6 패킷6 - 패킷7	1.0533333	8.5314416	.2697879	.3570757	1.7495910	3.904	999	.000
대응 7 패킷7 - 패킷8	.8000000	8.6827960	.2745741	.0913902	1.5086098	2.914	999	.004
대응 8 패킷8 - 패킷9	.1433333	8.4099918	.2659473	-.5430127	.8296794	.539	999	.590
대응 9 패킷9 - 패킷10	.4533333	8.3664700	.2645710	-.2294609	1.1361275	1.713	999	.087
대응 10 패킷10 - 패킷11	-.1500000	8.3421542	.2638021	-.8308098	.5308098	-.569	999	.570
대응 11 패킷11 - 패킷12	.6300000	8.3196611	.2630908	-.0489741	1.3089741	2.395	999	.017
대응 12 패킷12 - 패킷13	-.3800000	8.2590981	.2611756	-1.0540315	.2940315	-1.455	999	.146
대응 13 패킷13 - 패킷14	.3300000	8.9953577	.2844582	-.4041182	1.0641182	1.160	999	.246
대응 14 패킷14 - 패킷15	-.0200000	9.0893096	.2874292	-.7617857	.7217857	-.070	999	.945
대응 15 패킷15 - 패킷16	.3733333	8.5544284	.2705148	-.3248003	1.0714670	1.380	999	.168
대응 16 패킷16 - 패킷17	-.0400000	8.7843300	.2777849	-.7568961	.6768961	-.144	999	.886
대응 17 패킷17 - 패킷18	.1300000	9.2153990	.2914165	-.6220760	.8820760	.446	999	.656
대응 18 패킷18 - 패킷19	-.0166667	8.7913663	.2780074	-.7341370	.7008036	-.060	999	.952
대응 19 패킷19 - 패킷20	.0166667	8.5319833	.2698050	-.6796352	.7129685	.062	999	.951

Figure 11. T-test Results n Packet and n+1 Packet

패킷 개수가 1개씩 차이 나는 패킷 개수들에 대해 T 검정을 수행한 결과, 패킷 8개부터 20개를 사용하는 경우, 자신들의 패킷 개수보다 1개 더 많은 패킷 개수에 대해 T 검정을 수행했을 때, 신뢰수준 99%에서 p값이 0.01 이상이므로 유의한 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 즉, 패킷 개수에 따라 유의한 차이를 보이며 BSR 평균값이 낮아지는 범위는 패킷 2개부터 패킷 8개로 패킷 수를 늘릴 때임을 알 수 있다. 이를 통해 통신을 위해 패킷 8개 이상을 사용하는 경우 BSR 값은 평균적으로 약 58%로 유지된다는 것을 알 수 있다.

패킷 개수에 따른 BSR 평균값 변화를 통해 아군의 전차의 손실을 대략적으로 알아낼 수 있다. 잔존 전투력은 남

은 전차의 수를 의미하기 때문에  $B_{Tn}$ 을 미지수로 하여 나온 전차 대수 파악을 위한 수식은 다음과 같다.

$$B_{Tn} = \frac{BSR \times B_0}{100} \tag{3}$$

$B_{Tn}$ 은 전투 후 남은 전차의 수를 의미한다. 이 수식을 이용하여 패킷 개수에 따른 남은 전차 개수를 파악할 수 있다. 본 연구에서는 초기에 전차 30대를 이용했으므로  $B_0$ 에는 30을, BSR에는 특정 패킷 수를 사용한 경우에 나온 BSR 평균값을 대입한다. 이를 이용하여 나온 잔존 전차의 수치는 <Table 4>에 나와 있다. 본 연구의 전차 손실 시점에 있어서, 패킷 1개와 패킷 2개를 사용한 경우에는 전차 피해의 정도가 차이가 없다. 이러한 결과가 나온 이유는 본 연구에서 남은 전차의 정의는 M-kill과 A-kill과 같은 부분적인 전투 피해를 입지 않은 전차로 한정하였기 때문에,  $B_{Tn}$  계산을 통해 나온 소수점 부분을 무시했기 때문이다. 즉, 패킷 1개와 패킷 2개를 사용한 경우에는 전차 손실 관점에는 같은 피해 정도를 입는 것을 알 수 있다. 패킷 3개와 패킷 4개까지는 한 개 패킷이 늘어가면서 생존한 전차의 대수가 19대, 18대처럼 한 대씩 감소한다. 그리고 패킷 7개를 사용했을 때 17대로 줄어들고 그 후 패킷 20개를 사용한 경우에도 생존 전차의 수는 17대 임을 알 수 있다. 다시 말해 패킷 4개부터 6개까지는 전차 12대가 파괴되는 피해를 입고, 7개부터 그 이상은 13대가 파괴되는 피해를 입는다. 즉, 패킷 7개부터 20개까지는 패킷 수를 늘려도 파괴되는 전차의 수에는 영향이 없음을 알 수 있다.

**Table 4.** The Number of Survival Tank

The Number of Packet	BSR Average	The Number of Survival Tank	The Number of Survival Tank (Fractional Drop)
1	69.2267	20.7680	20
2	66.6833	20.0050	20
3	64.7433	19.4230	19
4	62.5500	18.7650	18
5	61.2400	18.3720	18
6	60.4967	18.1490	18
7	59.4433	17.8330	17
8	58.6433	17.5930	17
9	58.5000	17.5500	17
10	58.0467	17.4140	17
11	58.1967	17.4590	17
12	57.5667	17.2700	17
13	57.9467	17.3840	17
14	57.6167	17.2850	17
15	57.6367	17.2910	17
16	57.2633	17.1790	17
17	57.3033	17.1910	17
18	57.1733	17.1520	17
19	57.1900	17.1570	17
20	57.1733	17.1520	17

■ : Changing of the Number of Tank

## 5. Conclusions and Future Research Direction

IT 기술 및 무인화 기술의 발전으로 인해 미래의 전장환경과 무기체계는 네트워크를 이용한 전투환경인 NCOE에서 UGV 및 UAV와 같은 무인무기체계들이 투입될 것으로 전망하고 있다. 이러한 무인무기체계는 통신 장비가 고장 날 시, 유인무기처럼 조종사의 손짓을 이용한 수신호와 같이 통신을 대체하는 정보 교환 방법이 없기 때문에 통신은 매우 중요하다. 또한 실제 전투에서 단일 정보가 아닌 복잡도가 높은 정보를 전달하는 것처럼, 무인무기체계를 실제 전투에 도입하기 위해 다수의 정보 메시지를 담는 패킷 개수에 따른 무인무기체계의 전투효과 파악이 필요하다.

본 연구에서는 무인무기체계가 투입된 전장에서의 통신 환경을 고려한 전투효과 분석을 수행하였다. 이를 위해 ABM을 이용한 전투 시뮬레이션 모델에 실제 전장에서의 통신 성공 여부를 모사하기 위해 무선 채널 모듈을 적용하였다. 실제 전투 환경에 가깝게 모사된 전투 시뮬레이션에서 패킷 개수에 따른 전투효과 분석을 수행하였다.

통신에 사용되는 패킷 개수 변화에 따른 전투효과를 분석한 결과, 패킷 1개를 사용하는 것이 가장 높은 전투 결과를 보였음을 알 수 있었다. 패킷 수를 증가시켜가면서 시뮬레이션을 수행한 결과 패킷 7개까지는 패킷 수가 증가함에 따라 전투 결과에 의미 있는 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며, 패킷 8개부터 20개까지는 비슷한 전투 결과를 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 전차 손실 관점에서는 패킷 2개까지는 같은 피해 정도를 보였으며, 패킷 7개를 사용할 경우 전차 손실이 가장 크다는 것을 알 수 있었다.

본 연구 결과를 통해 파악된 무선 통신 채널이 적용된 전투 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. 첫째, 전투 결과에 영향을 미치지 않으면서 전투효과를 가장 높일 수 있는 통신에 사용되는 패킷 수 파악이 가능하다. 이를 이용하여 군통신에서 메시지 전달 시 전투효과를 높이기 위해 사용 가능한 패킷 개수의 기준을 제시한다. 또한 패킷 수 변화에 따른 전투효과를 파악할 수 있으므로 특정 전투에 사용할 수 있는 최적의 패킷 수를 결정할 수 있고 복잡도가 높은 데이터 전송 시 하나의 패킷에 들어갈 데이터 용량을 고려한 무인무기체계 간 통신 표준 구축에 기여할 수 있다. 둘째, 전투효과 분석을 활용하여 전투 시 손실되는 전차의 수를 예측할 수 있다. 패킷 수 변화에 따른 손실된 전차 수를 이용하여 파괴된 전차에 의해 생기는 손실 비용 계산을 통해 효과적인 전투의 수행이 가능하다.

본 연구를 확대하기 위한 추후 연구방향은 다음과 같다. 실제 무인무기체계 간 통신에 사용될 1개의 패킷 안에 담겨질 정보의 최적 용량 분석에 대한 연구를 진행할 수 있다. 또한 패킷 개수 변화에 따른 전차 손실을 파악하여 전차 손실에 따른 비용 효과 분석을 수행할 수 있다. 본 연구를 통해 얻을 수 있는 기대효과는 다음과 같다. 본 연구의 결과는 무인무기체계 간 통신 규격 및 비용 대 효과 분석에 활용할 수 있는 보다 정밀한 값을 지닌 표준 연구 지표로써 활용될 수 있으며, 가까운 미래에 실현될 무인무기체계가 투입된 전투에서의 전투효과 분석에 대한 정확도를 높이는데 기여할 수 있을 것이다.



## 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소 미래 지상체계 분석 특화연구실(UC130068ID)의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- ADD(Agency for Defense Development). 2012. "Introduction of Military Communication System." Accessed July 20 2017. <http://www.krnet.or.kr/board/data/dprogram/1580/H1-KRnet2012.pdf>.
- ICE(Inter Com Electronics Inc). 2012. "Basic Concept of MIL- STD- 1553B Communication." Accessed July 11 2017. [http://intercomelec.co.kr/shop/nboard\\_room1/download.php?filepath=/iweb/inter-com/wwwhome/shop/admin/board/nboard\\_room1/data\\_room/&filename=vision\\_20122202915.pdf](http://intercomelec.co.kr/shop/nboard_room1/download.php?filepath=/iweb/inter-com/wwwhome/shop/admin/board/nboard_room1/data_room/&filename=vision_20122202915.pdf).
- Kang, Bong Gu, Byeong Soo Kim, Jang Won Bae, Changho Sung, Tag Gon Kim, Myung Kil, and Jae Young Cheon. 2012. "Interoperation of NetSPIN Communication Model and Wargame Model for Analysis of Combat Power." *Journal of the Korea Society for Simulation* 21(3):43-55.
- Kim, Jun-soo, Keon-young Park, Jae-yeong Lee, Sung-min Bae, Jai-jeong Pyun, Jun-soo Kim, Keon-young Park, Jae-yeong Lee, and Sung-min Bae. 2014. "A Survey Study of the Combat Effectiveness Analysis Models and Future Research Areas." *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers* 19(4):305-15.
- Lee, Jaeyeong, Jaijeong Pyun, and Chongman Kim. 2014. "A Study of MOE Establishment for Improving the Credibility of UGV Effectiveness Analysis." *Journal of Applied Reliability* 14(3):197-202.
- Lee, Jaeyeong, Sunwoo Shin, Junsoo Kim, Sungmin Bae, and Chongman Kim. 2015. "Interrelation Analysis of UGV Operational Capability and Combat Effectiveness Using AnyLogic Simulation." *Journal of Applied Reliability* 15(2):131-138.
- Malhotra, Aparna. 2009. "Agent-Based Modeling in Defence." *DRDO Science Spectrum*, March: 60-65.
- Onggo, B.S., and M. Karatas. 2015. "Test-Driven Simulation Modelling: A Case Study Using Agent-Based Maritime Search-Operation Simulation." *European Journal of Operational Research* 254(2):517-531.
- Park, Seyoun, Hayong Shin, Taesik Lee, and Bongwan Choi. 2010. "Design of the Agent-Based Network-Centric Warfare Modeling System." *Journal of The Korea Society For Simulation* 19(4):271-80.
- R. Severinghaus, M. Tummala and J. McEachen. 2013. "Availability of Ad Hoc Wireless Networks of Unmanned Ground Vehicles with Group Mobility." *Proceedings on 46th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*.
- Sagir, Y. 2013. "Dynamic bandwidth provisioning using Markov chain based on RSVP", Master Thesis NPS.
- Shin, Kyuhyeon, Hochang Nam, and Taesik Lee. 2013. "Communication Modeling for a Combat Simulation in a Network Centric Warfare Environment." *Proceedings on Winter Simulations Conference (WSC)*, Washington, DC. pp. 1503-1514.
- Shin, Sunwoo, Jaeyeong Lee, Sungmin Bae, and Chongman Kim. 2017. "A Study on Simulation of Future Ground System Effectiveness Analysis Model with Communication Effects." *Journal of Applied Reliability* 17(2):168-180.
- Thulasiraman, P, G A Clark, and T M Beach. 2014. "Mobility Estimation Using an Extended Kalman Filter for Unmanned Ground Vehicle Networks." *Proceedings on Inter-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA)*, San Antonio, TX. pp. 223-229.
- Virginia A. T. Kaste, Ann E.M. Brodeen, A. E. M. & Barbara D. Broome. 1992. "Empirical Evaluation of Protocol Performance over Tactical Networks." *Proceedings on MILCOM Conference*, Vol. 2, San Diego, CA. pp. 533-537.
- Wang, Long, and Hu Liu. 2016. "Combat Decision-Making in Cloud War Based on Neural Networks." *Proceedings*

- on World Automation Congress (WAC), Rio Grande. pp. 1-4.
- Yan, X, X Li, D Liu, and X Zhang. 2015. "MR-OA: An Effective Framework for NCW Study Based on Multi-Agent Simulation." Proceedings on Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), Qinhuangdao. pp. 1961-1966.
- Yoo, Hwasun, and Minho Jang. 2009. "Performance Evaluation of S-FBCH Performance Evaluation Results for S-FBCH." Samsung Electronics. Accessed May 24 2017. [http://grouper.ieee.org/groups/802/16/tgm/contrib/S80216m-09\\_2634.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/802/16/tgm/contrib/S80216m-09_2634.pdf).
- Zhao, Shi, Liaoning Zhang, Rongli Xiao, Yang Qu, and Zheng Zhang. 2013. "The Design and Implementation of Tank Agent in Combat Simulation." Proceedings on 5th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, Hangzhou. pp. 186-189.