신뢰성응용연구
제15권, 제2호. pp.131-138, 2015

애니로직 시뮬레이션을 이용한 무인지상차량 운용성능과 전투효과의 연관성 분석*

이재영[1] · 신선우[1] · 김준수[1] · 배성민[2] · 김종만[1†]

[1]명지대학교, [2]한밭대학교

Interrelation Analysis of UGV Operational Capability and Combat Effectiveness using AnyLogic Simulation*

Jaeyeong Lee[1] · Sunwoo Shin[1] · Junsoo Kim[1] · Sungmin Bae[2] · Chongman Kim[1†]

[1]Myongji University, [2]Hanbat University

In modern warfare, the number of unmanned systems grow faster than any other weapon systems. Therefore, it is very important to predict and measure the combat effectiveness (CE) of unmanned weapon systems in battlefield for deciding defense budget to acquire those systems. In general, quantitative calculation of weapon effectiveness under complicated battlefield is difficult based on the future network centric warfare. Hence, many papers studied how to measure the combat effectiveness and tried to study a lot of related issues about it. However, there are few papers dealing with the relationship between the UGV (Unmanned Ground Vehicle)'s performance and CE in a ground battlefield. In this paper, we do the sensitivity analysis based on a given scenario in a small unit battle. In order to do that, we developed simulation model using AnyLogic and changed the input parameters such as detection and hitting probabilities. We also assess the simulation outputs according to the variation of input parameters. The MOE used in this simulation model output is survival ratio for Blue force. We hope that this paper will be useful to find which input variable is more effective to increase combat effectiveness in a small unit ground battlefield.

Keywords: MOE Simulation, Combat effectiveness, Sensitivity analysis, Measure of effectiveness

1. 서 론

미래의 전투에서는 인명살상을 최소화하기 위하여 무인전투장비 운용이 일반화될 것이다. 이는 최근 선진국을 포함하여 많은 국가들이 연구개발을 위해 투자를 확대하고 있는 UAV/UAS(Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aerial System), UGV(Unmanned Ground System), UMS(Unmanned Marine System)개념을 쉽게 이해할 수 있다.

한국에서도 2002년 무기정찰기가 해외에서 도입된 이후 지속적인 국내 연구개발을 통해 소형 무인기로부터 중고고도 무인기에 이르기까지 국내에서 개발할 정도로 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 무인항공기 개발과 함께 최근에는 무인지상전투체계를 소형정찰로봇에서부터 전투차량에 이르기까지 연구를 진행하고 있다.

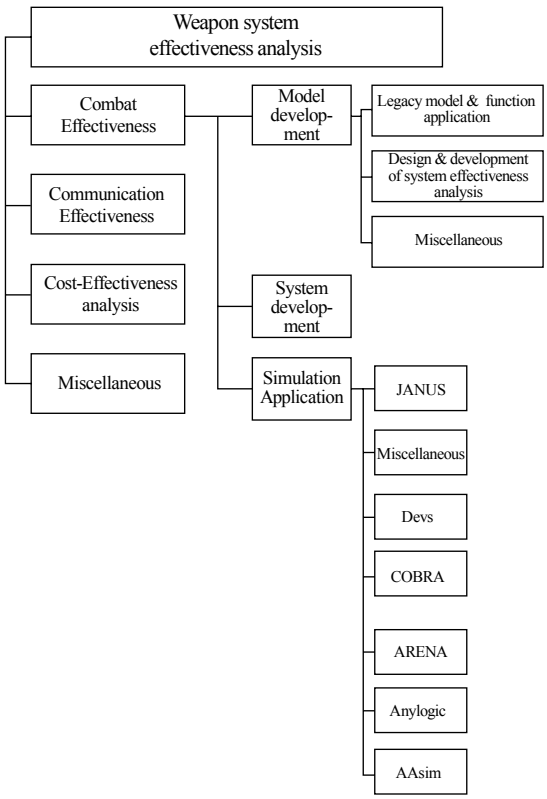
이처럼 무인화된 전투체계의 활용은 증가하고 있으나 이들 무인시스템에 대한 전투효과 측정방법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 상황에서는 미래의 무인전투체계의 효율적인 투자전략이 추진되기 어려울 수밖에 없는 것이다.

따라서 본 논문에서는 애니로직 모델을 활용한 시뮬레이션 모델을 통하여 UGV(무인지상전투체계) 운용성능과 전투효과의 연관성을 분석한다. 이를 통해 얻을 수 있는 기대효과는 연구개발 과정에서 보다 효과적인 운용성능이 무엇인지를 파악하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다.

* 본 연구는 국방과학연구소 미래 지상체계 분석 특화연구실(UC130068ID)의 지원으로 수행되었습니다.
† 교신저자 chongman@mju.ac.kr
2015년 5월 9일 접수; 2015년 6월 9일 수정본 접수; 2015년 6월 12일 게재 확정.

우선 제 2장에서 기존의 연구조사를 통하여 전투효과분석 분야가 어떻게 연구되고 있는지를 살펴보고, 제 3장에서는 연관성 분석을 위한 교전모델 시나리오 구축방법 절차를 설명한 후, 제 4장에서는 민감도분석을 통해 운용성능과 전투효과의 연관성 분석 결과를 제시하였으며. 마지막 제 5장에서는 연구결과에 대한 요약내용과 함께 향후 연구방향을 제시하였다.

2. 기존 연구 조사 : 전투효과분석 분야

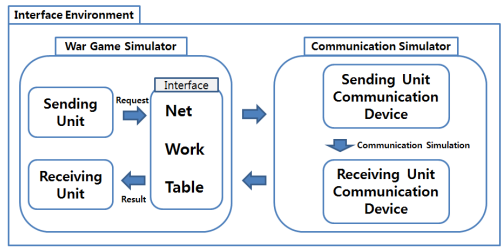


〈그림 1〉 Classification of the Combat Effectiveness

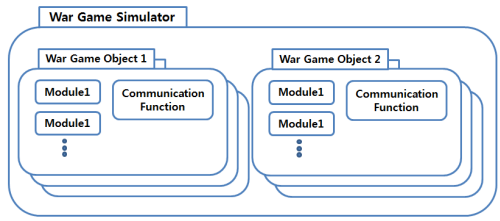
기존의 전투효과분석 분야 연구는 <그림 1>과 같이 크게 일반적인 전투효과분석, 네트워크 전장환경을 고려한 통신효과분석, 투자비용을 고려한 비용 대 효과분석, 기타 전투효과분석의 4가지로 구분할 수 있다(김종만 외, 2014).

첫째 일반적인 전투효과분석 관련된 논문분야이다. 이 분야의 주요 논문으로는 지상군 무기체계 효과분석 모형 개발 방향 연구(이민형 외, 2002), 모형개발에 가장 많이 언급되는 Schutzer교수의 C2이론(Schutzer, 1982), C2이론을 적용한 한국군의 지상전술 C4I 체계의 군단 통합화력 운용 간 전투력 상승효과를 측정하기 위하여 전력지수 개념을 추가한 연구(박송기, 2003), 지휘통제체계 강화와 부대 전투력간의 상관관계를 C2이론과 란체스터 제곱방정식을 이용하여 전장요소 중심으로 평가한 연구(신철 외, 2004), PAM(Performance Assessment Methodology) 모델을 활용해 C2이론에 적용한 시간변수를 산출하여 C4I 체계의 전투효과를 평가한 연구(장수진, 2004), 최근에는 C2모델 기반 전장아키텍처의 전투효과 평가 방안관련 연구(박양수 외, 2010), AHP(Analytic Hierarchical Process) 및 ANP(Analytic Network Process)기법을 적용한 연구(강승철, 2002; 김진준, 2003), 고전역학을 이용하여 전투력 평가함수를 적용한 연구(정환식, 2010) 등이 있다.

둘째 네트워크 전장환경을 고려한 통신효과분석 분야이다. 통신효과를 분석하는 방법은 워 게임 모델 내부에 통신 모델을 삽입함으로써 필요한 정보를 직접 접근하는 방법과, 두 모델을 서로 연동하여 정보를 간접적으로 접근 하는 방법으로 구분할 수 있다. 이들 2가지 방법을 각각 모델 결합(Integration)과 모델 연동(Interoperation)(Pollock, J.T, 2004)이라 부른다. 이를 좀 더 자세하게 설명하면, 통신 효과를 파라미터 화하여 데이터베이스에 저장하고 워 게임 시뮬레이션에 이 정보를 사용하는 것을 모델 결합(<그림 2> 참조)(김종만 외, 2014), 실제 전장 환경을 표현한 통신 모델을 사용하여 작전 시나리오에 맞는 통신 효과도 정보가 시뮬레이션 중에 계속적으로 측정/반영 하는 것이 모델 연동(<그림 3> 참조)(김종만 외, 2014)이라 하며 모델결합과 모델연동의 가장 큰 차이점은 내부 모델들(워 게임 모델, 통신모델) 사이의 독립성 유무라고 할 수 있다. 이 분야의 논문으로는 통신효과를 반영한 네트워크 중심전의 전투효과도 분석방법(배장원 외, 2012), 워게임 모델과 통신 모델의 연동을 통한 전투력 및 통신시스템 요구 성능의 상호 분석(김탁곤 외, 2012) 등이 있다.



〈그림 2 〉 Interoperation



〈그림 3〉 Integration

셋째 투자비용과 전투효과를 동시에 고려한 비용대 효과 분석 분야이다. 최근 무기체계가 점차로 복잡하고 다양해짐으로써 비용규모가 방대해짐에 따라 무기체계의 비용 측면의 효율을 높이기 위해 이 분야에 대한 여러 연구가 이뤄졌다.

비용 대 효과 분석(Cost Effectiveness)은 투자비용에 대하여 얻어지는 이익을 말한다. 현재까지 진행된 연구는 크게 2가지로 나눌 수 있다.

(1) 비용 대 효과분석 방법론에 대한 연구이다. 이는 비용 대 효과분석의 특성상 어떠한 무기체계의 도입/개발 전에 이루어지는 경우가 많이 있음으로 사례 중심 무기체계 비용 대 효과분석의 방법론을 제안하는 연구라고 할 수 있다. 무기체계의 효과분석과 의사결정을 위한 다기준 분석 방법론의 연구(임성훈, 2009)에서는 다양한 분석방법에 비용요소를 고려하여 동일비슷한 의사결정 시 현실성과 타당성을 높이고 우선순위를 구하는 것을 제안한다. 하지만 이러한 연구의 가장 큰 문제점은 비용 및 가용도를 위한 자료의 획득이 매우 어렵다는 것이다. 특히 외국의 무기체계의 경우 더욱 그렇다. 그에 대한 해결책으로 무기체계 평가를 위한 비용 대 효과분석 방법론(박태유, 1993)등의 연구에서는 불확실한 자료의 검증을 위하여 민감도 분석(Sensitivity analysis)을 제안한다. 이는 변화 가능대역에서 결과변화비율을 분석하고, 가장 영향을 많이 주는 요소를 식별하며, 결과 이전점(Break-even point)를 도출하여 합리적인 의사결정을 지원할 수 있다.

(2) 무기체계 비용 대 효과분석 최적화 연구이다. 무기체계를 개발하기 전 개발자는 설계목표를 설정하게 되고 "설계 수준을 어느 단계까지 적용하는 것이 효과적인가"라는 의문을 수요자와 논의하게 된다. 상기와 같은 질문에 대한 명확한 해답을 찾기 위한 방법의 일환으로 최적화 연구가 진행되고 있다. 소형 무장헬기 생존성 설계 최적화를 위한 비용 대 효과분석 연구(김정훈, 2013)는 다양한 생존성 평가를 위한 분석방법간의 상호관계 및 각 방법론 간의 통합 구현방안 등을 제시하고, 이를 바탕으로 향후 개발이 진행 예정인 소형무장헬기의 생존성 설계 수준별 비용 대 효과분석을 통하여 최적화된 생존성 설계 목표를 수립할 수 있는 방안을 제안하고 있다.

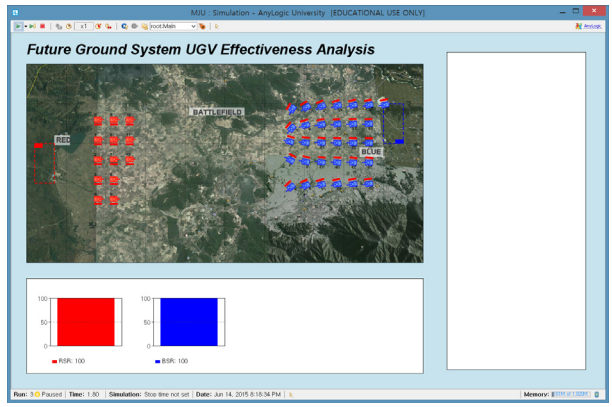
넷째 기타 전투효과 분야 연구로는 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산방안 연구(이형철 외, 2010) 등 주로 단일 무기체계 효과측정방안 이나 무기효과도 분석을 위한DB구축 방안 등과 관련된 연구내용을 주로 포함하고 있다.

3. 교전모델 시나리오 구축

3.1 교전모델 시나리오 개요

본 시뮬레이션의 목적은UGV 투입 이후 명중률과 탐지율을 포함한 입력값(즉, MOP)이 변함에 따라, MOE(효과척도) 값으로 설정한 아군의 BSR(잔존전투력)의 변화분석을 위한 것이다. 본 장에서는 이러한 분석시 플랫폼 역할을 하는 교전모델에 대한 설명을 기술하였으며 이를 위해 에이전트 기반 소부대 전투 시뮬레이션 모델을 구축하였다(<그림 4> 참조). 적군은 지도상 왼편 평야에 위치해 있고, 아군은 오른편 평야에서 위치하여 왼편에 있는 적진을 향해 정찰 및 교전을 수행하는 형태이다. 아군, 적군의 전차, 장갑차, UGV 등 에이전트들의 사거리, 속도, 명중률, 탐지율 등으로부터, 전투 환경상황을 설정하는 전투 지형 변수들도 하나의 초기 입력 변수가 되어, 교전에 영향을 미치는 요소로 생각한다. 본 연구의 교전모델에서 중대급 규모의 적군은 왼쪽 평야에서 수비진지에 있으며 공격하는 아군의 MOP 값보다 높은 MOP 값을 가지고 있다. 이처럼 공자의 약점을 극복하기 위해서, 아군은 UGV를 포함해, 대대급 규모의 부대가 공격을 한다. 시뮬레이션을 실행 후, 최초에 입력되었던 MOP 값들을 조금씩 변화를 주어 출력되는 MOE 변화량을 산출해 내는 것이 이 시뮬레이션의 목적이다.

본 시뮬레이션 모델을 만들기 위해 사용된 툴은 애니로직이며, 애니로직은 Discrete Event, Agent Based Modeling, System Dynamics 3가지 시뮬레이션 모델링기능 통합지원이 가능하다.



<그림 4> The Initial Screen for a Given Scenario in AnyLogic Model

3.2 모델 입력자료

미래 전장에서의 탐지율과 명중률에 따른 MOP 분석을 위한 소부대전투시나리오 구성을 위해 아래와 같은 가정 사항을 설정하였다(<표 1> 참조).

<표 1> The Initial Assumption

아군	사거리	속도
전차	2 km	25 km/h
장갑차	1 km	20 km/h
UGV	1 km	20 km/h
적군	사거리	속도
전차	2 km	25 km/h
장갑차	1 km	20 km/h

각 에이전트들의 탐지율과 명중률은<표 2>와 같이 선형함수로 표시하였으며 각 에이전트들은 서로에게 적용되는 탐지율과 명중률이 다르다. 즉 전차의 경우 상대 전차가 교전시에는, 초기에 설정된 확률을 갖지만 피탄면적이 적은 장갑차와의 교전 상황에선 원래의 확률에 비해 90% 정도의 확률을 갖게 된다. 초기값으로 지정된 적군 탐지율과 명중률은 방자의 유리한 점을 고려하여 아군보다 전반적으로 높은 수준으로 가정하였다. <표 2>에서 d는 아군과 적군의 사이의 거리(단위 : m)이다.

〈표 2〉 Linear Function for Accuracy & Detection Rates

아군	탐지율(%)	명중률(%)
전차-전차	$-0.02\times d+100$	$-0.04\times d+100$
전차-장갑차	$(-0.02\times d+100)\times 0.9$	$(-0.04\times d+100)\times 0.9$
장갑차-장갑차	$-0.01\times d+100$	$-0.05\times d+100$
UGV	$-0.02\times d+100$	
적군	탐지율(%)	명중률(%)
전차-전차	$-0.13\times d+100$	$-0.17\times d+100$
전차-장갑차	$(-0.13\times d+100)\times 0.9$	$(-0.17\times d+100)\times 0.9$
장갑차-장갑차	$-0.6\times d+100$	$-0.0025\times d+100$

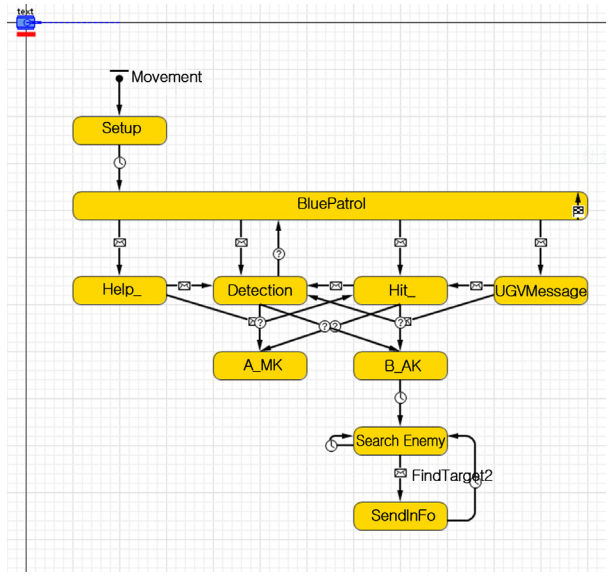
3.3 에이전트별 모의논리

에이전트는 미리 작성된 자신만의 모의 논리로 행동하고 판단한다. 이를 설정하는 것으로 에이전트를 좀 더 사실과 가깝게 만들 수 있다. 본 시뮬레이션은 에이전트 기반 시뮬레이션이므로 아군과 적군의 전차, 장갑차는 각각 자신만의 에이전트 모의 논리를 가지고 있다.

3.3.1 전차

아군의 전차는 아군 부대에 있어서 핵심적인 역할을 하며 장갑차에 비해 사거리, 속도, 화력에서 월등히 높다. 아군의 탱크는 부속 에이전트인 Fire와 HitPoint를 가지고 있으며, 자신의 상태를 파악하는 State Chart Movement와 Radar를 가지고 있다. 총 2가지의 State Chart를 통하여 자신의 상태를 파악하고 판단하여 행동을 결정하게 되며 전차의 행동은 기동, 탐지, 사격으로 구분된다.

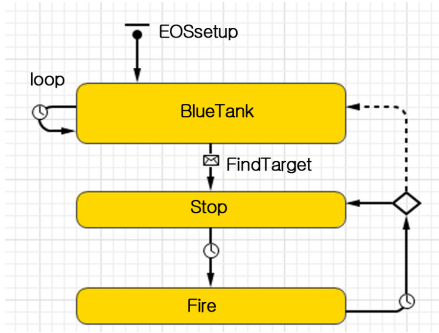
Movement(<그림 5> 참조)는 아군이 적진으로 정찰을 할 때, 어느 경로로 정찰을 하고 최종 정찰 지역을 적진지 내에서 정하여 움직인다. BluePatrol 이란 곳에서는 총 4가지의 행동을 할 수 있는데, 적의 위치를 먼저 탐지한 Detection, 적군에게 선공을 당한 Hit, 자기 자신 근처에 있는 아군을 도우러 가는 Help, UGV가 먼저 적진으로 들어가 적군의 위치를 파악한 후 아군에게 정보를 보내는 UGVMessage 이렇게 4가지의 행동을 보일 수 있다. 그리고 Detection과 Hit 하위에 에이전트가 고장이 난 후에 할 수 있는 행동인 AK와 MK가 있다.



〈그림 5〉 State Chart for Movement of Blue Tank

에이전트가 전투 중 타격을 입게 된다면, 에이전트는 두 가지의 상황이 될 수 있다. 기동성 관련 궤도에 타격을 받은 경우인 M-Kill과 사격기능 관련 포탑에 타격을 받은 경우인 A-Kill 상태가 된다. M-Kill 상태가 된다면, 기동성을 잃어버리고 에이전트는 자리에서 움직일 수 없는 상태가 된다. 그리고 그 자리에서, 사거리 안에 접근한 적에게만, 공격을 가한다. 한편 A-Kill 상태가 될 경우에는, 사격 기능을 잃어버린 것이므로, 기동은 가능하지만, 사격을 할 수 없다. 따라서 이때는 정찰/탐지 기능을 수행하게 되며 주변에 있는 적군들을 대적할 수 있는 아군에게 정보를 전달하는 역할을 한다. A-Kill과 M-Kill 둘 다 발생한다면, 에이전트는 T-Kill(Total Kill)이 되어 그 자리에서 파괴된다.

두 번째로, 탐지와 사격을 담당하는 State Chart에 관해서 설명하겠다.



〈그림 6〉 EOS Setup of BlueTank

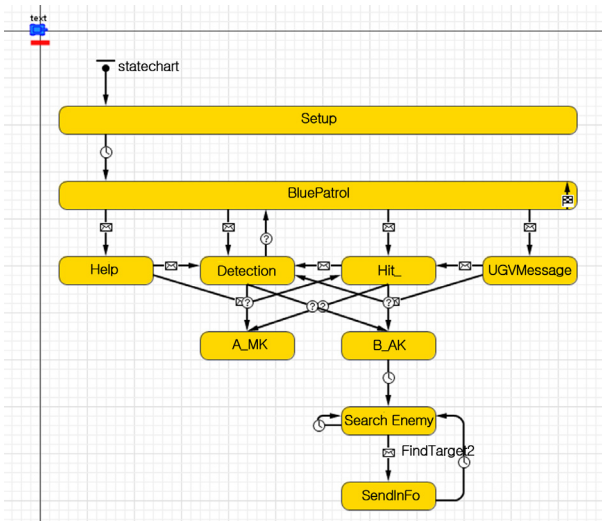
<그림 6>은 EOSSetup이라는 State Chart이며 기본적 행동으로는 loop를 통해 BlueTank라는 상태를 반복한다. BlueTank안에는 자신이 공격 할 수 있는 가장 근접한 적을 찾아내는 역할을 한다. 적으로 간주 할 수 있는 RedTank, RedAV 중 가장 가

까운 적의 에이전트를 찾아낸 후, 그들 중 가장 근접한 적을 공격할 대상타겟으로 선택한다. 그리고 공격 가능한 사거리, Random Number를 이용한 탐지율 두 가지의 조건이 충족한다면 자신에게 "Find Target"이라는 메시지를 송신 후 Stop 상태로 넘어가게 된다. 그리고 Fire라는 공격 상태로 넘어가 타겟을 공격한다. Fire 상태 안에는 시뮬레이션의 메인화면에서의 모션과 Random Number를 이용한 명중률을 판단하여 적에게 명중 여부를 판단하는 코딩이 있다. 공격 후 타겟이 파괴되지 않았다면, Stop으로 돌아가 재장전 후 사격을 다시 수행하며, 적이 파괴되었다면, 다시 BlueTank로 돌아가 새로운 적을 찾는 정찰상태가 된다.

이와 같이 BlueTank에는 기동, 탐지, 사격에 관한 State Chart가 있어, 전차의 상태를 확인하고, 행동을 판단한다.

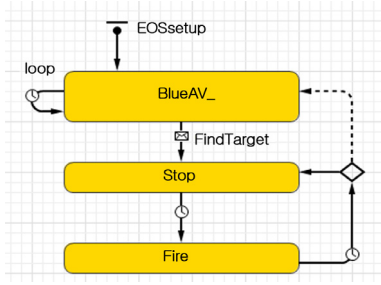
3.3.2 장갑차

장갑차는 시뮬레이션 상에서, BlueAV라는 에이전트로 묘사된다. BlueTank와 비슷한 구조로 기동, 탐지, 사격의 State Chart를 가지고 있지만, 세부적으로는 판단하는 행동 체계가 다르다. 장갑차는 전차에 비해 화력이 약하다는 가정으로, 전차를 대상으로 하는 전투는 불가능한 것으로 가정하였다. 즉, 아군 장갑차의 교전 가능한 상대는 적의 장갑차이다. 그러므로 BlueTank의 State Chart에서 Tank를 대적하기 위한 기능은 <그림 7>에서는 제외하였다.



<그림 7> State Chart for Movement of AV

시뮬레이션 시작 후, BluePatrol을 통해 정찰로를 결정하고 정찰한다. 정찰 도중에는 4가지의 상황, 즉 Help, Detection, Hit, UGVMessage가 발생 할 수 있게 되며 적과 교전 중에 발생 할 수 있는 A_MK와 B_AK가 있다. 장갑차의 모든 State Chart는 앞에 소개했던 전차에서의 행동과 동일하다. 단, Hit에서는 장갑차는 전차에게 공격을 받아도, 전차를 적으로 인식하지 않는다. 왜냐하면 전차를 적으로 인식하더라도, 장갑차는 전차에게 피해를 줄 수 없다고 가정했기 때문이다.

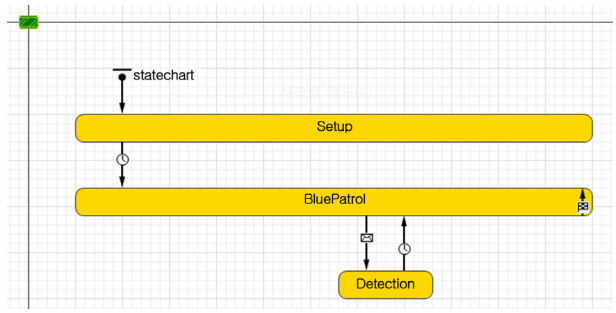


<그림 8> EOS Setup of AV

장갑차는 같은 장갑차끼리만 교전상대로 인식할 수 있다. 그러므로 전차의 탐지, 사격에서 전차를 적으로 공격하는 프로그램 기능을 제외한 것 이외에는, 전차의 탐지, 사격과 동일하다(<그림 8> 참조).

3.3.3 UGV

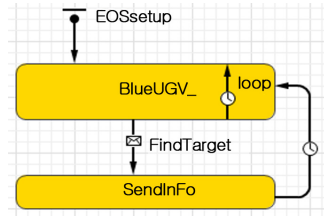
UGV는 전투기능이 없는 정찰을 위한 지상 무인 로봇이다. UGV는 발견하기에 작기 때문에 적군이 위치를 파악할 수 없다고 가정하였다. UGV는 적을 발견하여 위치정보를 아군에게 제공하며, 정찰을 계속 수행하는 것으로 묘사하였다.



<그림 9> State Chart for Movement of UGV

UGV는 적군에게 발견이 되지 않기 때문에, 정찰 중 발생하는 상태는 Detection 밖에 없는 것으로 가정하였다(<그림 9> 참조).

UGV는 BlueUGV_라는 상태의 루프를 통해, 자신과 근접한 적군과 아군을 탐지한다. 이때 적군의 Random Number 탐지율을 이용하여 적군을 탐지한다. 탐지 가능 사거리와 탐지율이 충족되면, 자신에게 "Find Target"이란 메시지를 보낸다. 타겟의 위치가 파악되면, 정지 후 가장 근접한 아군에게 타겟의 정보와 "UGV"라는 메시지를 전송한다(<그림 10> 참조).

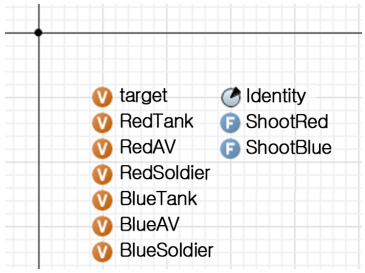


<그림 10> Detection Systems of UGV

3.3.4 부속에이전트

3.3.4.1 Fire

모든 에이전트들이 교전 중 명중이 된 상황에서, M-Kill, A-Kill, T-Kill 피해율을 결정하는데 사용되는 부속 에이전트이다(<그림 11> 참조).



<그림 11> Fire Agent

각 에이전트에서 명중이 된 상황에서, Shoot Blue, Red Function이 실행되어, 어떠한 피해를 입는지 결정하게 된다. 피해 타입 M-Kill, A-Kill, T-Kill을 결정하는 데 있어서 거리에 따른 확률을 갖게 되면 <표 3>과 같다.

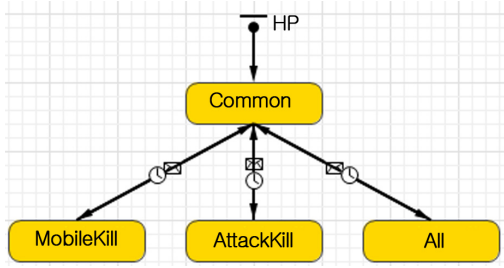
<표 3> Damage Type for Probability Table According to the Distance

Blue				
전차-전차	2Km~1.5Km	1.5Km~1Km	1Km~0.5Km	0.5Km~
T-kill	0%	10%	20%	40%
A-Kill	50%	45%	40%	30%
M-Kill	50%	45%	40%	30%
전차-장갑차	2Km~1.5Km	1.5Km~1Km	1Km~0.5Km	0.5Km~
T-kill	20%	30%	40%	60%
A-Kill	40%	35%	30%	20%
M-Kill	40%	35%	30%	20%
장갑차-장갑차	2Km~1.5Km	1.5Km~1Km	1Km~0.5Km	0.5Km~
T-kill	20%	30%	40%	60%
A-Kill	40%	35%	30%	20%
M-Kill	40%	35%	30%	20%
Red				
전차-전차	2Km~1.5Km	1.5Km~1Km	1Km~0.5Km	0.5Km~
T-kill	0%	10%	20%	40%
A-Kill	50%	45%	40%	30%
M-Kill	50%	45%	40%	30%
전차-장갑차	2Km~1.5Km	1.5Km~1Km	1Km~0.5Km	0.5Km~
T-kill	20%	30%	40%	60%
A-Kill	40%	35%	30%	20%
M-Kill	40%	35%	30%	20%
장갑차-장갑차	2Km~1.5Km	1.5Km~1Km	1Km~0.5Km	0.5Km~
T-kill	20%	30%	40%	60%
A-Kill	40%	35%	30%	20%
M-Kill	40%	35%	30%	20%

위에 있는 표와 같은 양식으로 피해율이 적용되며, 전차와 전차, 전차와 장갑차, 장갑차와 장갑차 모두가 각각의 상황에 따라 적용되는 피해확률에 차이를 두고 적용하였다.

3.3.4.2 HitPoint

HitPoint는 적에게 공격을 받았을 경우 자신의 피해상태를 파악할 수 있는 부속 에이전트이다.



<그림 12> Damage System of HitPoint

HitPoint는 각 에이전트에 있는 Help 이벤트를 사용하기 위한 Help를 도와주는 Function과 여러 변수들이 존재한다. 에이전트가 명중 되는 순간, 3가지 피해타입 중 결정한다. 그리고, M-Kill이나 A-Kill의 피해를 입었을 경우, Help라는 Function이 실행된다. Help Function은 공격을 받을 경우, 자신을 공격한 적의 정보를, 자신과 제일 근접해 있으면서, 적을 대적할 수 있는 아군에게 정보를 전달해 원조 요청을 한다(<그림 12> 참조).

에이전트가 M-Kill과 A-Kill 둘 다 당할 경우 Die라는 Event가 실행되어 에이전트는 파괴된다.

지금까지 본 연구에서 개발한 애니로직 모델에서 사용된4가지 에이전트의 모의논리를 설명하였다. 모의논리는 State Chart 자신의 상태를 정의하며 발생할 수 있는 이벤트를 판단하며, 자신의 행동을 결정한다. 적군은 UGV가 없기 때문에 아군의 전차 및 장갑차 에이전트들과 동일한 기능과 성능을 가진 에이전트들로 구성되어 있다.

4. 민감도분석을 통한 연관성 분석

시뮬레이션을 통해 입력된 MOP(탐지율, 명중률 등)의 변화에 대한 민감도분석을 위해 BSR(Blue Survival Ratio)과 RSR(Red Survival Ratio)을 분석하였다. 이들의 계산식은 다음과 같다.

$$BSR = \frac{B_T}{B_0} \times 100,\ RSR = \frac{R_T}{R_0} \times 100$$

여기서 BT(RT)는 전투종료시점의 아군(적군)의 잔존전투력이며 Bo(Ro)는 아군(적군)의 초기 전투력이다. 이는 각각 아군 생존률, 적군 생존률을 나타내는 변수이며, 전투 종료시점을 결정하는 변수이다. 따라서 시뮬레이션 진행과정에서 적군이나 아군이 초기에 설정한BSR, RSR 값 이하로 내려

갈 경우 모델은 종료된다.

이때 초기 및 잔존 전투력 산출시 적용되는 전력지수는 <표 4>와 같다고 가정하였다.

〈표 4〉 Combat Force Index of Agents

전차	장갑차
100	200

본 연구에서는 시뮬레이션을 완성 후 민감도 분석을 할 때, RSR 이 30% 이하로 감소했을 경우 시뮬레이션을 종료하기로 하고 실험을 진행하였다.

4.1 민감도 분석

4.1.1 민감도 분석 개요

본 시뮬레이션의 목적은 주어진 시나리오대로 전투를 진행한 후 MOP(운용성능) 값들의 일부인 탐지율 및 명중률 조정한 후 산출되는 MOE 값을 측정 비교하는 것이다. 교전 시나리오는 우리나라 서부평야지역에서 아군의 대대급 기계화부대 즉, 전차 21대, 장갑차 15대와 적군의 중대급 기계화부대 전차 15대가 전투를 하는 시뮬레이션이며, 적용되는 입력변수 값들을 초기 입력값 대비 5%씩 증가시키면서 실험을 진행하였다.

보다 객관적인 분석결과 도출을 위해 동일한 교전 시나리오 상에서 100번의 반복실험을 통해 아군의 잔존전투력인 BSR 값의 평균값을 산출 비교하였다. 여기서 탐지율과 명중률은 무기운용 특성상 상호 독립적인 관계이므로 두 변수간의 교호작용은 없는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션 횟수는 100회 이상시 안정적인 결과를 보여주어100회만 실시하였다.

4.1.2 민감도 분석

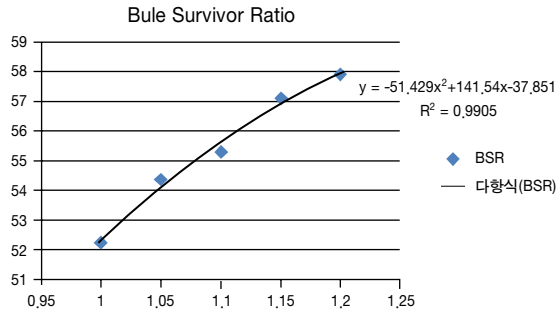
본 연구에서는 주어진 시나리오에서 아군의 탐지율(P-radar)과 명중률(P-hit) 값을 조정해 나가면서 실험을 진행하였다. 입력변수의 조정시나리오는 아래 <표 5>와 같이 4가지로 구분하였으며 이들을 최초 입력변수 결과값과 비교하였다. <그림 13>에서 BPR은 Blue Probability of Radar를 의미한다.

〈표 5〉 BSR Change with Change in the P-Radar

시나리오	1	2	3	4
최초값 대비 증가율	5% 증가	10% 증가	15% 증가	20% 증가

<그림 13>의 X축은 탐지율 증가에 따른 BSR값의 변화를 나타낸 것이며 Y축은 탐지율 증가에 따른 시나리오 변화를 보여주고 있다. 위 그림에서 알 수 있듯이 탐지율을 높일수록, BSR값은 비선형적으로 증가율이 감소하면서 상승하는 것을 확인 할 수 있다.

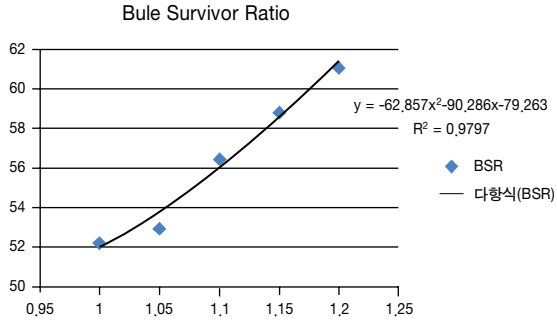
회귀분석 결과, $Y=-51.429X^2+141.54X-37.851$로 Concave 형태를 나타내었다($R^2=99.05\%$).



〈그림 13〉 BSR Change with Change in the P-Radar

<그림 14>는 명중률 조정에 따른 BSR값의 변화를 나타낸 것이며 BPH는 Blue Probability of Hit를 의미한다. <그림 14>를 보면, 명중률을 높일수록 BSR값은 비선형적으로 증가율이 증가하면서 상승하는 것을 확인 할 수 있다.

회귀분석 결과, $Y=62.857X^2-90.286X+79.263$로 Convex 형태를 나타내었다($R^2=97.97\%$).



〈그림 14〉 BSR Change with Change in the P-Hit

5. 결론 및 향후 연구방향

미래의 무인시스템은 향후 지속적으로 개발이 예상되고 있으며 특히 무인항공기 전력화에 이어 지상무인체계인 UGV 개발 및 전력화는 더욱 확대될 것으로 예상된다. 따라서 UGV 개발시 예상되는 전투효과에 대한 세부적인 내용에 대한 연구 필요성이 증대하고 있다.

본 논문에서는 UGV효과 평가연구의 확장선상에서 기존의 전투효과 분석개념을 적용한 시뮬레이션 모델 개발을 통하여 주요 운용성능의 변화에 따른 전투효과의 변화추세를 분석하였다.

민감도 분석 결과 아군의 명중률과 탐지율 상승 변화에 따라 아군의 잔존전투력 BSR값은 비선형적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 탐지율 변화에 따른 BSR 증가는 Concave 형태를, 명중률 변화에 따른 BSR 증가는 Convex 형태를 보

이는 것으로 나타났다.

따라서 동일한 비율의 명중률과 탐지율 성능향상에 동일한 비용이 소요될 경우, 탐지율을 향상시키는 것이 효과향상 측면에서 명중률 향상보다 유리하다는 것을 알 수 있었다.

더 정확한 결과를 얻어내기 위한 향후 연구 방향으로는 교전 시나리오의 세부환경을 묘사(탄종, 기후변화 등)할 필요성이 있다. 그리고 교전 대상 에이전트의 범위를 확대하는 것도 필요하다. 예를 들면 전차와 장갑차 이외에 보병 전투요원을 추가하는 것이 될 수 있을 것이다. 그리고 발전된 모델 위의 다양한 교전시나리오를 통해 MOE 변동값의 추세분석이 필요하다.

참고문헌

[1] 강승철(2002), AHP 기법을 이용한 지상전술C4I 체계의 전투효과 분석에 관한 연구, 국방대학원 석사학위논문.

[2] 김정훈(2012), 소형 무장헬기 생존성 설계 최적화를 위한 비용대 효과분석, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집2013년, 제11호, pp. 861-865.

[3] 김종만・김준수・박건영 외(2004), 전투체계 효과분석에 대한 주요 연구 리뷰 및 향후 연구방향,한국CAD/CAM학회 논문집, 제19권, 제4호, pp. 305-315.

[4] 김진준(2003), ANP 기법을 이용한C4I 체계의 효과평가 방법에 관한 연구, 국방대학교 국방관리대학원 석사학위논문.

[5] 김탁곤・김덕수・성창호(2012), 워게임 모델과 통신모델의 연동을 통한 전투력 및 통신시스템 요구 성능의 상호 분석, 한국통신학회 논문집, 제37C권, 제10호, pp. 993-1003.

[6] 박송기(2003), 지상전술 C4I체계의 군단 통합화력운용간 전투력 상승효과 평가에 관한 연구, 국방대학교 석사학위논문.

[7] 박양수・정찬기(2010), C2모델 기반 전장아키텍처의 전투효과 평가방안, 한국군사과학기술학회지, 제13권, 제14호, pp. 619-626.

[8] 박태유(1993), 무기체계 평가를 위한 비용 대 효과분석 방법론, 한국국방연구원 국방논문집제24권, 제93.12호 pp. 239-258.

[9] 배장원・강봉구・김병수・성창호・김탁곤・안명길・이상일(2012), 통신 효과를 반영한 네트워크 중심전의 전투효과도 분석 방법, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제21권, 제3호, pp. 57-69.

[10] 이민형・문형곤・박찬우(2002), 지상군 무기체계 효과분석 모형 개발 방향, 한국시뮬레이션학회 학술대회 논문집, pp. 131-136.

[11] 임성훈・조기홍・박 승(2009), 무기체계의 효과분석과 의사결정을 위한 다기준분석 방법론의 연구, 한국군사과학기술학회지, 제12권, 제5호, pp. 557-562.

[12] 이재영・신 철(2004), Schutzer의 C2 효과측정 모델을 이용한 지휘통제체계 강화와 전투효과의 함수적 상관관계, 대한산업공학회지, 제30권, 제1호, pp. 65-75.

[13] 이형철(2010), 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산 방안 연구: 고폭탄 효과평가모형 정립을 중심으로, 한성대학교 대학원 박사학위논문.

[14] 장수진(2004), PAM모델을 이용한 전술C4I체계 효과도 산출에 관한 연구, 국방대학교 석사학위논문.

[15] 정환식・박건우・이재영 외(2010), NCW 환경에서 C4I 체계 전투력 상승효과 평가 알고리즘 : 기술 및 인적 요소 고려, 지능정보연구, 제16권, 제2호, pp. 55-72.

[16] Pollock, J. T. and Hodgson, R. (2004), *Adaptive Information*, Wiley-interscience.

[17] Schutzer, D. (1982), *Selected Analytical Concepts in Command and Control ; C2 Theory and Measures of Effectiveness*, Gordon and Breach Science Publisher, New York USA.