



Received: 2024/11/04  
Revised: 2024/11/09  
Accepted: 2024/12/05  
Published: 2024/12/31

\*Corresponding Author:

Yonghoon Ha

Tel: +82-41-831-5385

E-mail: yonghoonha@korea.kr

# ABM을 이용한 상륙작전에서의 공격드론 전투효과 분석

## Analysis of the Effectiveness of Attack Drones During Landing Operations Based on ABM

권재현<sup>1</sup>, 하용훈<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>해병대 대위/국방대학교 무기체계전공 석사과정

<sup>2</sup>국방대학교 국방과학학부 부교수

Jaehyeon Kwon<sup>1</sup>, Yonghoon Ha<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>CAPT, ROK Marine Corps/Graduate, Dept. of Defense Science,  
Korea National Defense University

<sup>2</sup>Associate Professor, Dept. of Defense Science, Korea National Defense  
University

### Abstract

최근 전장에서 무인무기체계의 중요성이 증가하며 인명 피해를 줄이고 신속한 작전을 지원하는 역할이 강조되고 있다. 본 연구의 목적은 에이전트 기반 모델링을 이용하여 상륙작전 시 공격드론의 조합과 공격 우선순위가 아군 전투부대의 생존율에 미치는 영향을 분석함으로써 공격드론의 활용 효과를 분석하는 것이다. 이를 위해 적 보병, 자주포, 대공포 등의 표적에 대해 공격드론의 동시 또는 우선순위에 따라 공격을 수행하는 네 가지 조합으로 방책을 구성하여 실험하였다. 시뮬레이션 결과, 공격드론의 생존성을 보장한 후 타 전투세력에 대해 공격하는 전략이 가장 효과적임을 확인하였다.

The importance of unmanned weapon systems on the battlefield is increasing, emphasizing their role in reducing casualties and enabling rapid operations. The purpose of this study is to analyze the impact of different combinations and attack priorities of attack drones on the survival rate of friendly combat units during amphibious operations using agent-based modeling. To achieve this, four strategies were tested by configuring attack drones to engage targets such as enemy infantry, self-propelled artillery, and anti-aircraft guns, either simultaneously or according to a priority sequence. The simulation results confirmed that the strategy of ensuring the survivability of attack drones before attacking other combat forces is the most effective.

### Keywords

공격드론(Attack Drones),  
전투효과(Combat Effectiveness),  
에이전트 기반 모델링(Agent-based Modeling),  
상륙작전(Landing Operations)

## 1. 서론

4차 산업혁명과 인공지능의 급속한 발전은 현대 및 미래 전쟁의 양상을 근본적으로 변화시키고 있으며, 이러한 변화의 중심에는 무인체계의 발전이 있다. 무인체계는 정찰, 감시, 타격과 같은 다양한 군사 임무를 인간의 직접적 개입 없이 수행할 수 있어 병력을 위협으로부터 보호하면서도 지속적인 감시와 정밀타격이 가능해져 전장 효율성을 극대화할 수 있게 되었다. 러시아-우크라이나 전쟁을 비롯해 최근의 이스라엘-하마스 전쟁까지 현대 전장에서 공격형 무인체계가 기존의 병력과 전술 장비를 압도하는 장면이 목격되고 있다. 이러한 세계적 흐름 속에서 한국군 역시 AI 기반의 유·무인 복합체계로 전환하는 국방혁신 4.0을 추진하고 있다. 이를 위해 해군은 해양 유·무인 복합체계를 상징하는 '네이비 씨 고스트(Nave Sea Ghost)'를 통해 다양한 해양 무인 전력을 선보였으며, 2023년에는 이를 활용한 상륙작전을 시연하기도 하였다[1].

상륙작전은 다양한 무기체계와 연합·합동전력이 해상, 공중, 지상을 전장으로 활용하며 적 지역으로 강제 진입하는 작전형태로 인해 복잡성과 위험성이 매우 높다. 그러므로 무인 무기체계를 우선적으로 투입함으로써 고위험 지역에서 병력·장비 손실을 최소화하고 전장 가시화 및 지속적인 작전 수행을 가능하게 할 수 있다.

이에 따라 본 연구는 상륙작전에서 공격드론의 활용 효과를 분석하기 위하여 에이전트 기반 모델링(agent-based modeling)으로 상륙작전 환경을 묘사한 시뮬레이션을 통해 공격드론의 영향을 평가하는 것을 목적으로 한다. 본 연구는 여단급 상륙작전을 가정하여 2개 대대 규모로 가상의 해안에 상륙하는 시나리오를 모의하였으며, 작전단계를 상륙작전 5단계 중 결정적 행동 단계(함안 이동부터 육상작전까지)로 한정하여 분석하였다. 연구 방법으로는 개별적인 전투 개체 간의 상호작용을 모델링하고 에이전트 기반 모델을 구축하는 방식을 적용하였으며, 이를 JAVA 기반 시뮬레이션 프로그램인 AnyLogic을 사용하여 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 교전 시나리오와 관련된 기존 시뮬레이션 연구를 검토하고, 3장에서는 시뮬레이션을 위한 시나리오와 실험 설계 방법을 제시한다. 4장에서는 실험결과를 분석하며 마지막으로 5장에서 결론을 제시한다.

## 2. 시뮬레이션 전투효과분석관련 기존 연구

본 장에서는 시뮬레이션을 통한 전투효과 측정에 관한 기존 연구를 검토하였다. 전투효과 분석에 관한 연구는 특히 인공지능 및 무인 무기체계의 발전에 따라 미래 전장 환경에서의 전투 효과를 예측하고 평가하는 데 중요한 연구 주제로 활발히 수행되고 있다.

이재영 등은 다중에이전트 시뮬레이션을 활용해 전투 효과 분석의 신뢰성을 높이는 방법을 제안하였으며, 전통적 모델에 비해 다양한 변수와 복잡한 전투 환경 속 상호작용을 더 정확히 반영할 수 있음을 밝혔다[2]. 임종원 등은 시뮬레이션을 통해 미래 보병부대의 전투 수행 방안을 검증하였으며, ‘비전 21’ 모델을 통해 정보 자산의 우위와 선제적 화력 운용이 전투 효과를 극대화할 수 있음을 분석하였다[3]. 변재정 등은 유·무인 지상 전투체계를 협동 교전 모델로 분석하여 무인 차량 및 통신 중계 드론 등이 포함된 복합 전투체계의 전략적 효과성을 입증하고, 복잡한 전장 상황에 대한 대응 방안을 제시하였다[4]. 최민우 등은 ABM을 통해 군집 드론의 운용 효과와 임무 편성을 연구하였으며, 군집과 개별 운용의 효과를 비교하고 표적 수에 따른 최적 군집 수를 도출하였다[5].

AnyLogic을 활용한 연구로 고영훈 등은 전투 개체 간 정보 공유가 가능한 시뮬레이션을 개발해 기존 지상 무기체계와 미래 전장에 적용 가능한 무기체계의 전투 효과를 비교 분석하였다[6]. 이재영 등은 무인 지상차량의 운용 성능에 따른 전투 효과의 연관성을 분석하여 탐지율과 명중률의 파라미터 변화가 전투 결과에 미치는 영향을 평가하였다[7]. 신선우 등은 UGV가 포함된 시나리오를 통해 네트워크와 통신 환경이 전투 효율성에 미치는 영향을 연구하였다[8]. 김별 등은 중대급 상륙작전을 가정한 지상전투 시뮬레이션에서 KAAV, UAV, UGV 등 유·무인 복합체계의 구성을 달리하여 전투 효과를 분석하였다[9].

종합하면, 기존 연구들은 전투 환경의 상호작용을 모델링하여 전장 상황에 대한 효과적 대응 방안을 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 해상에서 전투력을 투사하는 상륙작전 환경의 특성을 고려하고, 상륙부대의 범위를 확장하고 공격드론을 적용함으로써 보다 현실적인 전투 시나리오에 대한 평가를 목표로 한다.

## 3. 시뮬레이션 구현

### 3.1 교전모델 가정사항 및 초기설정

상륙작전 상황에서 무인 무기체계의 전투효과를 평가하기 위해 에이전트 기반의 상륙작전 시뮬레이션 모델을 구축하였으며 이를 위해 모델 내에는 전장환경, 전투 자산, 교전규칙, 탐지 및 명중 확률 등의 설정이 포함되었다.

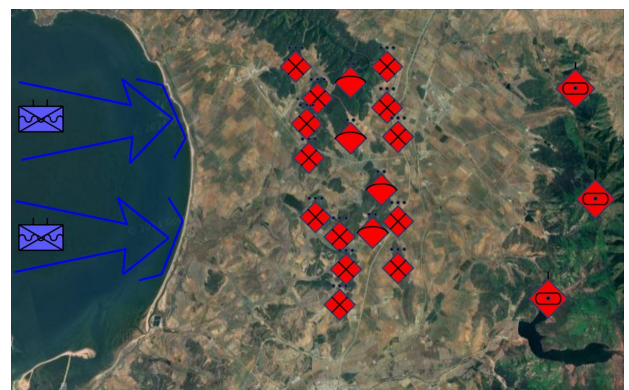


Fig. 1. Scenario overview and initial position of agents

작전지역은 해상과 육상이 포함된 임의의 해안지역으로 설정하였고, 시나리오 초기 상황은 청군의 상륙작전 단계 중 결정적 행동단계인 함안 이동부터 시작한다. 여단급 상륙작전으로 2개 대대 규모의 병력이 두 개의 해안에 상륙한 다음 4개의 제대로 구분하여 육상작전을 수행하며, 홍군은 작전지역 내에서 상륙하는 청군을 저지하기 위한 방어진지를 구축하고 있다. 청군은 상륙 후 방어진지에 집중 공격을 실시하여 나머지 적 병력을 격퇴하고 목표 지역을 확보하기 위해 기동한다.

에이전트 구성으로 청군은 4개의 소총부대와 대인 공격 자폭드론, 자주포 공격 자폭드론, 대공포 공격 자폭드론으로 편성되었고, 홍군은 소총부대, 대공포부대, 자주포부대로 구성하였다. 전투 상황을 묘사하기 위해 무기체계 제원은 Jane's 연감 등 공개된 자료를 바탕으로 설정하였다.

청군과 홍군의 소총부대는 대대급 전투편성으로 청군은 중대급으로 구분하여 목표를 향해 기동하며 홍군은 소대급 편성으로 방어진지를 구축하고 방어작전을 수행한다. 전투사거리는 청군의 K2 소총 유효사거리와 홍군의 AK소총 유효사 거리에 맞추어 설정하였다. 교전부대의 탐지확률의 경우 방어진지를 구축한 홍군이 유리한 점을 고려해 청군의 탐지확률을 홍군의 50 % 수준으로 가정하였다. 또한, 명중률은 김태겸의 연구[10]를 참조하여 홍군에는 K2 소총의 명중률인 60 %를 적용하고 청군은 홍군 명중률의 50 % 수준으로 가정하였다. 홍군의 자주포는 북한군이 운용하는 122 mm 자주포 제원을 적용하였고, 명중률은 김세용 등[11]이 연구한 155 mm 자주포 명중확률을 기본 제원 값으로 설정하였다.

청군의 자폭드론은 한국군이 최근 도입을 결정한 폴란드 WB 일렉트로닉스사의 Warmate 제원을 참조하였다. Warmate 드론은 최고속도 150 km/h, 최대 이륙중량 5.7 kg으로 영상기반 종말 유도를 통해 목표물에 대한 정확한 타격이 가능하며, 고폭탄 및 대전차 고폭탄 등 다양한 탄두를 장착할 수 있다. 작전반경은 30 km로 러시아-우크라이나 전쟁에서 실전 효용성도 입증된 바 있다[12]. 명중률은 유도 무기의 평균 목표 명중률인 80 %로 설정하였다[13].

청군의 공격드론에 대응하여 홍군의 대공화기를 에이전트로 구성하였으며, 여기에는 북한군이 운용 중인 14.5 mm 고사포 제원이 적용되었다. 14.5 mm

고사포는 소련제 KPV 기관총 2~4정을 한 묶음으로 구성한 대공화기로, 북한 전후방 지역의 방공망에서 널리 사용되고 있다. 발사속도는 분당 600발이며, 대공사격 시 유효사거리는 1.4 km에 이른다[14]. 시나리오 상, 본 대공화기는 홍군의 방어진지 내에 배치되며 명중률은 10 %로 가정하였고 장비당 1,000 발의 탄약을 사용 가능한 것으로 가정하였다. 에이전트별 기본 제원 값은 Table 1과 같으며 이를 통해 각 에이전트의 능력과 특징을 기반으로 시뮬레이션 상의 교전 성과를 분석할 수 있도록 구성되었다.

Table 1. Initial assumption of agents

	Category	Probability of detection (%)	Range (km)	Accuracy (%)
Blue team	Infantry unit	40	0.46	30
	Attack drone	50	30	80
Red team	Infantry unit	80	0.35	60
	SPH*	50	20	1.5
	AAG**	50	1.4	10

\*SPH: self-propelled artillery

\*\*AAG: anti-aircraft gun

청군과 홍군의 초기 전투력을 설정하기 위해 고영훈 등의 연구[6]를 바탕으로 전투원 1명을 전투력 1로 산정하였으며, 부대 규모에 따라 전체 전투력을 계산하였다. 자주포, 대공포, 공격드론과 같은 장비는 전투 개체 당 전투력을 100으로 설정하였다. 또한 상륙 이전에 수행된 여건조성 작전을 통해 홍군 작전지역 내 잔존 홍군은 70 %의 전투력을 유지하는 것으로 가정하였다. 이에 따라 홍군 소총부대의 전투력은 청군 소총부대의 70 %, 자주포는 대대급 보유수량인 18문 중 12문, 고사포는 중대급 보유수량인 6문 중 4문을 초기 전투력과 장비수량으로 설정하였다.

청군과 홍군 간의 교전에 따른 전투력 감소량은 부대의 규모와 화력의 효과에 따라 상이하게 설정하였다. 청군 소총부대는 중대급으로 기동하고 홍군 소총부대는 소대급 규모로 교전하므로 명중 시 교전 효과는 3:1로 설정하였다. 홍군은 소대급 방어로 방어 정면을 300 m로 가정하고 전투원들을 일선형 배치하는 것으로 가정하였다. 또한, Warmate 공격드

론의 고폭탄 살상반경이 10 m임을 고려하여 대인 공격드론의 효과를 반영하였다[15]. 청군은 중대급 공격기동으로 공격 정면을 500 m, 개인 간격을 10 m로 설정하고 122 mm 자주포 살상반경인 40 m를 고려하여 자주포의 공격효과를 산정하였다. Warmate 공격드론에 장착된 대전차 고폭탄은 120 mm 두께의 압연 균질 장갑(RHA)을 무력화할 수 있어[15] 자주포 공격드론이 자주포에 명중하는 경우에는 완파되는 것으로 가정하고, 대공포의 공격으로 드론이 명중되면 드론 역시 완파되는 것으로 가정하였다.

Table 2는 시뮬레이션에 사용된 에이전트별 초기 전투력 수치, Table 3는 에이전트별 교전 시 1회 명중에 따른 전투력 감소량이다. 이를 통해 교전 시 각 에이전트의 특성과 전투력 변화를 정량적으로 평가할 수 있다.

**Table 2.** Combat power at the beginning of the scenario

Category		Combat power
Blue team	Infantry battalion	600
	Attack drone	100
Red team	Infantry battalion	420
	SPH	100
	AAG	100

**Table 3.** Attack effects during engagement

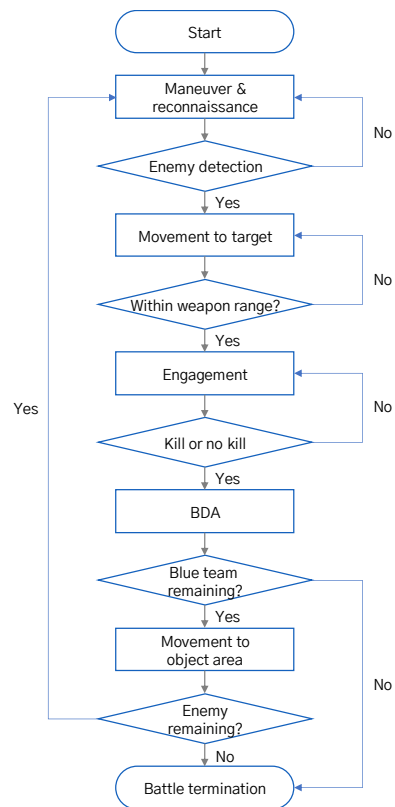
Attack agent	Target agent	Attack damage	
Blue team	Infantry unit	Red team's infantry unit	3
	Anti-personnel attack drone	Red Team's infantry unit	5
	Anti-tank attack drone	Red team's SPH, AAA	100
Red team	Infantry unit	Blue team's Infantry unit	1
	SPH	Blue team's infantry unit	44
	AAG	Attack drone	100

3.2 시나리오 모의논리

Fig. 2는 교전 모델 시나리오의 모의논리를 구성한 것이다. 시뮬레이션이 시작되면 공격드론이 우선적

으로 작전지역에 투입되어 표적탐지와 공격을 통해 홍군의 전투력을 감소시킨다. 이후 청군은 목표 지역을 향해 이동하며, 사전에 설정된 탐지율과 탐지반경을 기반으로 정찰 활동을 수행하여 적을 탐지한다.

적이 탐지되면 해당 표적을 공격 목표로 설정하여 추적단계로 전환되며, 목표가 무장 사거리 내에 들어올 때까지 접근한다. 표적이 무장 사거리 내에 위치하게 되면 사전에 설정된 명중률을 바탕으로 교전이 이루어진다. 교전 후 피해평가 결과에 따라 청군이 소멸되면 시뮬레이션은 종료된다. 만약 청군이 소멸되지 않고 남아있을 경우 목표지역으로 이동을 계속하며, 적군이 존재하는 동안 기동과 정찰, 교전 과정을 반복하게 된다. 청군이 목표지역에 도달하게 되면 시뮬레이션이 종료된다.



**Fig. 2.** Scenario logic flow chart

Figs. 3-4는 AnyLogic 프로그램에 구현된 청군의 공격드론, 홍군의 대공포 에이전트의 모의논리를 구성한 statechart이다. 공격드론은 교전을 실시하는 소총부대보다 먼저 작전구역에 투입하여 방어세력을 공격하는 역할을 한다. 기동단계(moving state)를 통해 육상구역으로 이동하는 동시에 탐색활동을



실시하여 설정된 탐지확률에 따라 타겟이 정해지면 공격단계 (fire state)로 전환된다. 공격단계에서는 설정된 명중률에 따라 명중 여부가 결정되며 타겟의 전투력을 감소시킨 뒤 명중 성공 여부와 관계없이 소멸된다. 공격 이전 설정된 타겟이 소멸되면 기동 단계로 재전환되어 기동 및 탐지를 실시한다. 대공포는 탐지단계 (searching state)에서 탐지확률에 따라 타겟이 정해지고 공격단계 (fire state)에서 설정된 명중률에 따라 공격을 실시하며 에이전트 당 1,000발의 탄약을 발사한다. 명중으로 인해 타겟이 소멸되거나 사거리를 벗어나게 되면 탐지단계로 전환되어 새로운 타겟을 탐지한다.

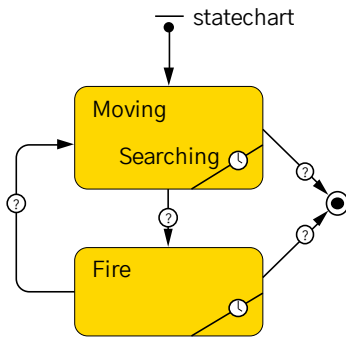


Fig. 3. Statechart of attack drone

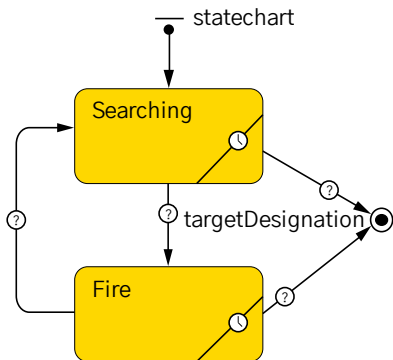


Fig. 4. Statechart of AAG

3.3 MOE 설정 및 전투효과 분석 실험방법

전투효과를 측정하기 위하여 이재영 등의 연구[16]에서 제시된 UGV 효과분석 실험 척도를 참고하여, 청군의 생존율을 효과척도(MOE, measure of effectiveness)로 설정하였다. 상륙작전의 특성상, 최초 돌격제대는 해안 두보 확보 및 상륙목표 달성 후에는 후속 상륙부대를 지원하거나 육군과의 연결 작전으

로 이어지게 된다.

이러한 차후 작전을 효과적으로 수행하기 위해서는 전투력 보존이 필수적이다. 또한, 상륙작전 중 전투력의 즉각적인 보충이 제한되기 때문에 작전 초기에 청군의 생존성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 청군의 작전 중 생존율은 식 (1)을 통해 정의된다. 최초 전투력( $P_0$ ) 대비 잔존전투력( $P_{survival}$ )을 비율로 환산한 값을 사용하였다.

$$R_{survival}(\%) = \frac{P_{survival}}{P_0} \times 100 \tag{1}$$

3.3.1 실험 I: 대응 표적별 공격에 따른 공격드론의 효과분석

본 연구에서는 청군의 공격드론을 두 가지 유형으로 구분하여 운용 효과를 분석하였다. 대인 공격드론은 홍군의 소총부대를 목표로 하고, 대전차 공격드론은 자주포, 대공포와 같은 고위험 장비를 목표로 삼는다. 이러한 대응 표적의 차이에 따라 두 가지 드론 공격 방책(course of action)을 설정하여 실험을 수행하였다.

- 방책 #1: 자주포 공격드론 미투입, 대인 공격드론만을 투입
- 방책 #2: 대인 공격 미투입, 자주포 공격드론만을 투입

각 방책에 대해 시뮬레이션을 300회 반복 수행하였으며, 평균 생존율을 대푯값으로 설정하여 청군 생존율 변화를 분석하였다. 이 실험을 통해 각 드론 유형의 공격방책에 따른 청군의 생존율 변화를 비교하여 효과적인 드론 운용 전략을 도출하고자 하였다.

3.3.2 실험 II: 드론 공격 우선순위에 따른 효과 분석

청군의 드론은 홍군의 대공포 공격에 의해 손상될 수 있으므로 드론의 생존율을 높이고 적 제압 효과를 극대화하기 위해서는 대공포를 우선적으로 무력화하는 전략이 필요하다. 실험 I의 결과를 토대로 전투효과가 높은 드론 유형을 선정한 후, 대공포 공격드론의 단독 임무수행으로 홍군의 대공포를 무력화

할 수 있는 적정 수량을 산출한다. 이를 바탕으로 대공포 공격드론과 대인 또는 자주포 공격드론의 공격 우선순위에 따른 효과를 분석하고자 한다.

- **방책 #3:** 대공포 공격드론과 대인 또는 자주포 공격드론을 동시에 투입
- **방책 #4:** 대공포 공격드론에게 대인 또는 자주포 공격임무를 추가 부여, 대공포 우선 공격 후 대인 또는 자주포를 공격

두 방책에 대해 실험 I과 동일한 방식으로 300회 시뮬레이션을 반복하여 평균 생존율 변화를 비교한다. 이 실험을 통해 드론의 공격 우선순위가 평균의 생존율에 미치는 영향을 분석하여 최적의 드론 운용 방안을 도출하고자 하였다.

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 실험 I: 대응 표적별 공격에 따른 공격드론의 효과 분석

각 공격드론을 0대부터 100대까지 10대 단위로 증가시키며 MOE를 측정하여 평균의 생존율에 미치는 영향을 분석하였다. 방책 #1과 방책 #2에 따른 평균 생존율의 변화는 Table 4와 같다.

방책 #1에서 대인 공격드론만을 투입하여 홍군의 소총부대를 타격한 경우, 대인 공격드론 100대를 투입 시 평균의 생존율은 드론을 투입하지 않았을 때보다 12.3 % 상승하였다. 그러나 대인 공격드론의 전투 효과는 다소 존재하나, 전체적인 생존율 향상에는 한계를 보였다. 이는 홍군의 방어부대가 일정 간격으로 유지한 채 일선형 배치를 취하고 있어 대인 공격드론의 고풍탄 효과가 제한되기 때문으로 판단된다.

반면, 방책 #2에서 자주포 공격드론만을 투입하여 홍군의 자주포 부대를 타격한 경우, 평균 생존율은

대인 공격드론을 투입했을 때보다 훨씬 급격하게 증가하여 46 %의 생존율 향상을 보였다. 이는 상륙작전 중 자주포와 같은 화력지원 자산이 상륙군에게 더 큰 위협으로 작용함을 나타내며, 강력한 화력을 갖춘 적 자산에 대한 대응이 필요함을 시사한다. 따라서 자주포와 같은 위협 자산을 우선 무력화하는 것이 작전 성공에 중요한 전략적 요소임을 확인할 수 있다. 또한, 대전차 공격드론이 30대 이상 투입될 때부터 평균의 생존율이 급격하게 증가하는데 이는 공격드론의 수량이 일정 수준에 도달하면서 홍군의 대공 방어능력을 압도하게 되는 지점으로, 대규모 드론 공격이 홍군의 방어망을 무너뜨리는 전환점을 나타낸다.

##### 4.2 실험 II: 드론 공격 우선순위에 따른 효과 분석

실험 I의 결과를 통해 자주포 공격드론이 대인 공격드론보다 더 높은 전투 효과를 발휘함을 확인하였으므로, 본 실험에서는 대공포와 자주포에 대한 공격 조합과 우선순위를 고려하여 분석을 진행하였다. 대공포 공격드론의 수량을 단계적으로 증가시키며 잔존하는 홍군의 대공포 평균 수량을 측정한 결과는 Table 5와 같다. 잔존 대공포 수량이 평균 1 이하로 감소하는 기준은 대공포 공격드론 33대 투입 시점이며, 이에 따라 대공포 공격드론을 33대 이상 투입하면 홍군의 대공포는 효과적으로 제압된다.

따라서, 대공포를 공격하는 드론의 수가 33대 이상일 때의 두 가지 전략을 비교하였다. 방책 #3은 대공포와 자주포를 각각 공격하는 다른 임무를 지닌 공격드론이 동시에 공격하는 경우로, 평균의 생존율 변화는 Table 6와 같다. 이때 대공포를 공격하는 드론은 33대로 고정하였다. 방책 #4에서는 대공포 공격용, 자주포 공격용 구분 없이 각 드론이 대공포 우선 공격 후 자주포를 공격하는 방식이며 이에 따른 평균의 생존율 변화를 Table 7에 나타냈다.

**Table 4.** Survival rate according to COA#1 and COA#2

(Unit: %)

COA	Number of drones (EA)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
COA#1	31.7	33.4	34.5	34.5	36.5	37.9	40.0	41.4	41.2	43.1	44.0
COA#2	31.7	33.8	34.2	37.6	42.4	46.9	53.7	62.7	70.2	75.9	78.5

**Table 5.** Number of remaining AAGs based on the number of AAG attack drones (Unit: EA)

Number of drones (EA)					
10	20	30	31	32	33
3.7	2.9	1.4	1.4	1.2	0.9

**Table 6.** Survival rate according to COA#3 (Unit: %)

Number of SPH attack drones (EA)							
0	7	12	17	22	27	32	37
33.6	33.4	39.5	67.2	72.7	76.1	75.6	76.2

\*Number of AAG attack drones (EA): 33

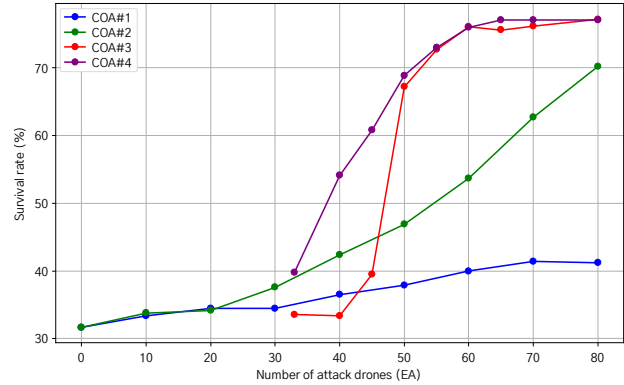
**Table 7.** Survival rate according to COA#4 (Unit: %)

Number of drones (EA)							
33	40	45	50	55	60	65	70
39.8	54.1	60.8	68.9	73.0	76.0	77.1	77.1

두 방책을 비교한 결과, 동일한 수량의 드론을 투입할 때 공격 우선순위를 설정하여 드론을 운용하는 것이 평균의 생존율을 보장하는 데 더 효과적임을 확인할 수 있었다. 대공포와 자주포를 동시에 공격할 경우, 드론이 분산된 임무를 수행하게 되어 방어 자산을 충분히 제압하지 못할 가능성이 있다. 따라서 드론에 직접적인 위협을 제공하는 대공포를 먼저 제거한 후 차후 임무에 집중하는 것이 생존율을 높이는 효과적인 방책이 될 수 있다.

4.3 종합분석

각 공격 방책에 따른 평균의 생존율 변화는 Fig. 5와 같다. 방책 #1에서는 평균의 생존율이 소폭 증가하지만 강력한 화력 자산에 대한 대응이 부족해 상대적으로 전투효과가 가장 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 방책 #2는 드론 수가 많아질수록 평균 생존율이 비례적으로 증가하며, 드론이 80대 이상일 때 안정적인 생존율(70%)을 유지할 수 있다. 이는 자주포가 평균에게 강력한 위협요소로 작용하므로 이를 우선 제거하는 것이 생존율 향상에 효과적임을 보여준다.



**Fig. 5.** Survival rate by the course of actions

방책 #3에서는 드론 수가 45대 이하일 때 생존율이 상대적으로 낮게 나타난다. 드론 수가 적을 경우 목표가 분산되어 각 위협 요소에 대한 억제 효과가 감소하지만, 50대 이상의 드론이 투입되면 대공포와 자주포를 동시에 억제할 수 있을 만큼 충분한 화력을 확보하여 생존율이 급격히 상승한다. 따라서 드론 수가 충분한 상황에서는 효과적이나, 자원이 제한된 상황에서는 비효율적일 수 있다.

방책 #4는 4가지 방책 중 가장 빠르게 평균 생존율이 상승하며, 드론 50대 투입 시점에서 70%에 가까운 평균 생존율을 보인다. 대공포는 드론에 직접적인 위협을 가하는 요소이므로 이를 먼저 제거해 드론의 생존성을 보장한 후 다른 전투세력을 공격하는 전략이 효과적임을 보여준다. 이러한 분석을 통해 자원이 제한된 상황에서는 대공포 우선 제거 전략이 평균 생존율을 극대화하는 데 효과적임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 에이전트 기반 모델링을 통해 상륙작전에서 공격형 무인 무기체계의 전투 효과를 분석하고 다양한 공격 방책을 적용하여 전투부대의 생존율을 극대화할 수 있는 최적의 드론 조합과 전술적 우선순위를 도출하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 대공포를 우선 제거한 후 자주포를 공격하는 전략이 평균 생존율을 가장 높이는 것으로 나타났으며, 이를 통해 목표 우선순위를 설정하여 공격 자산의 효율성을 극대화하는 것이 중요한 전략적 요인임을 확인할 수 있었다. 둘째, 자주포를 공격하는 드론 투입 시 생존율이 유의미하게 향상되었으며, 이는 강력한 화력을 가진 무기체계에 대한 선제적 대응이

생존율을 높이는 데 중요함을 시사한다. 셋째, 드론 수가 부족한 상황에서 목표가 분산될 경우 생존율이 감소하는 경향이 있었고, 이는 자원이 제한된 상황에서 목표를 집중적으로 타격하는 전략이 더욱 효과적임을 나타낸다.

본 연구는 몇 가지 한계를 가진다. 특정 시나리오에 기반해 전투 상황을 모델링하였으나, 실제 전장에서 발생할 수 있는 다양한 변수(지형, 군수지원, 민간 등의 기타 전장 요소 등)를 완전히 반영하지 못하였다. 또한, 드론의 목표 우선순위와 수량 조합에 중점을 두었으나 통신 효과, 자산 재배치 등의 다양한 전술적 요소가 생존율에 미치는 영향을 충분히 고려하지 않았다. 무인 무기체계의 역할이 증대되는 상황에서 이와 같은 한계점을 극복하고 정찰 무인기, 지상 무인체계, 군수지원 드론 등 여러 무인 무기체계가 참여하는 시나리오를 통해 전장 활용도를 높이는 후속 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] B. R. Lee, "Unmanned Surveillance, Reconnaissance, and Missile Base Strikes... Navy Unveils First Manned-Unmanned Integrated Combat System," *Newdaily*, released June. 8. 2023, Available From: <https://www.newdaily.co.kr/site/data/html/2023/06/08/2023060800225.html>
- [2] J. Y. Lee, S. W. Shin, J. M. Kim and S. J. Shin, "Application of Multi-agent Based Simulation for Improving the Credibility of Combat Effectiveness Analysis," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 17, No. 4, pp. 107-114, 2017.
- [3] J. W. Lim, B. W. Choi and D. S. Yim, "A Study on the Methodology for Combat Experimental Testing of Future Infantry Units using Simulation," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 3, pp. 429-438, 2021.
- [4] S. W. Han and J. J. Pyun, "Modeling and Analysis of Cooperative Engagements with Manned-Unmanned Ground Combat Systems," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 29, No. 2, pp. 105-117, 2020.
- [5] M. W. Choi, H. S. Moon, S. W. Han and N. S. Cho, "An ABM Simulation Study on Operational Effectiveness and Mission Organization for Swarm Drones," *Military Operation Research Society of Korea*, Vol. 47, No. 2, pp. 75-90, 2021.
- [6] Y. H. Kho, B. Y. Lim, S. C. Park and Y. J. Kwon, "M&S Case Study for Information Sharing Enabled Combat Entities," *Journal of the KIMST*, Vol. 17, No. 4, pp. 395-403, 2014.
- [7] J. Y. Lee, S. W. Shin, J. S. Kim, S. M. Bae and C. M. Kim, "Interrelation Analysis of UGV Operational Capability and Combat Effectiveness using AnyLogic Simulation," *Journal of Applied Reliability*, Vol. 15, No. 2, pp. 131-138, 2015.
- [8] J. Y. Lee, S. W. Shin and C. M. Kim, "Analysis of UGV Effectiveness Based on ABM(Agent Based Modeling) and Communication Network Environments," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 27, No. 3, pp. 89-97, 2018.
- [9] B. Kim and C. J. Lee, "Combat Effectiveness Analysis of Manned-Unmanned Teaming System Using Agent-Based Modeling," *Journal of the the Korean Institute of Defense Technology* Vol. 4, No. 4, pp. 10-18, 2022.
- [10] T. G. Kim, "Rifle Performance Improvement Cost Estimation through Relation between the Accuracy and Engagement Results Using the Engagement class simulation Model," *Master's thesis*, Korea National Defense University, 2017.
- [11] S. Y. Kim and J. Y. Lee, "An Improvement of Hit-probability and an Efficient Counter-fire Execution," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 17, No. 4, pp. 143-152, 2008.
- [12] E. J. Park, "Proven in the Ukraine War... Will Poland's Suicide Drone 'Warmate' Be Adopted?," *News1*, released Aug. 10. 2024, Available from: <https://v.daum.net/v/20240810063009495>
- [13] Y. H. Lee, J. H. Kim, K. S. Lee, J. S. Lee, M. J. Lee and D. H. Kim, "Calculation of Sample Size for Guided Missile Considering Test Method and Reliability Growth," *Journal of the KIMST*, Vol. 20, No. 6, pp. 844-852, 2017.
- [14] Y. W. Yoo, "Powerful Enough to Penetrate Most Armored Vehicles: North Korea Fires 14.5mm Anti-Aircraft Gun at GP," *Chosun-Ilbo*, released May. 5. 2020, Available from: [https://www.chosun.com/site/data/html\\_dir/2020/05/05/2020050501206.html](https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2020/05/05/2020050501206.html)
- [15] Jane's Information Group, *Weapons: Air-Launched, Poland@ Warmate Class*, Janes, 2024
- [16] J. Y. Lee, C. M. Kim, K. Y. Park, J. S. Kim, S. W. Shin, J. J. Pyun and S. M. Bae, "A Study of Experimental Design for Unmanned Ground Vehicle Effectiveness Based on a Small Unit Combat Scenario," *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol. 42, No. 4, pp. 591-606, 2014.