

ABM 시뮬레이션을 활용한 군집 무인수상정의 전투 및 운용 효과 분석

김수민, 하용훈*
국방대학교 국방과학학과

Analysis of Combat and Operational Effectiveness of Swarm Unmanned Surface Vehicles Using ABM Simulation

Soo-Min Kim, Yong-Hoon Ha*
Department of Defense Science, Korea National Defense University

요약 무인수상정은 저비용으로 다수의 전력을 확보할 수 있고, 인명피해의 우려가 없으며, 뛰어난 작전 지속성과 융통성 등의 다양한 장점이 있어 미래 해양전의 핵심전력이 될 것으로 예상된다. 최근 무인수상정을 무기로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 무인수상정의 전투 및 운용 효과를 과학적으로 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 군집 무인수상정의 전투 및 운용 효과를 ABM 시뮬레이션을 활용하여 분석하였다. 이를 위해 현재 해군에서 운용 중인 PKMR을 비교 대상으로 선정하였다. 그리고, '북한 VSV가 우리 해역에 침투하는 경우'와 '우리 함정이 VSV를 공격하는 경우' 2가지 시나리오에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, PKMR 대비 군집 무인수상정의 살상률이 두 시나리오 모두에서 향상됨을 확인하였다. 군집 간격은 VSV가 침투하는 경우 넓게, VSV를 공격하는 경우 좁게 운용하는 것이 효과적이었다. 또한, 무장 사거리가 전투에 미치는 영향을 확인하여 군집 무인수상정의 생존성을 높이기 위해서는 적 대비 긴 사거리의 무장 확보가 필요함을 제시하였다. 이러한 연구결과는 향후 군집 무인수상정을 전장에서 운용하기 위한 개념 정립의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

Abstract Unmanned surface vehicles (USVs) are expected to become a core force in future maritime warfare because of their ability to secure multiple forces at low cost, minimal risk of casualties, and outstanding operational endurance and flexibility. Research to utilize USVs as weapons has been ongoing, but studies scientifically analyzing the combat and operational effectiveness of swarm USVs are insufficient. Accordingly, this study analyzed the combat and operational effectiveness of swarm USVs using ABM simulations. PKMR, currently operating in the Republic of Korea Navy, was set as a comparative group. Simulations were conducted on two scenarios: 'North Korean USVs infiltrate South Korean maritime territory' and 'South Korean ships attack the USVs.' The simulations confirmed that the probability of killing swarm USVs, compared to PKMR, improved in both scenarios. For swarm spacing, operating with a wider spacing was effective when USVs were infiltrating and a narrower spacing when attacking USVs. In addition, by confirming the effect of the range of a weapon on combat, it was suggested that it would be necessary to acquire weapons with a longer range compared to the enemy to increase the survivability of swarm USVs. These results are expected to provide the basic data for establishing concepts for operating swarm unmanned surface vehicles in future battlefield environments.

Keywords : Unmanned Surface Vehicle, Swarming, Combat Effectiveness, Agent-Based Modeling, Simulation

*Corresponding Author : Yong-Hoon Ha(Korea National Defense Univ.)

email: yonghoonha@korea.kr

Received September 12, 2023

Accepted December 8, 2023

Revised October 19, 2023

Published December 31, 2023

1. 서론

최근 중국은 항모, 구축함, 전투기 등의 전력을 급속히 팽창시켜 왔으며, 2022년 11월 공개된 미 국방부 ‘중국 군사력 보고서’에 따르면 중국 해군 함정은 340척으로 미국(292척)을 제치고 세계 1위에 올랐다[1]. 또한, 중국 연안을 따라 배치된 등평-21 등의 장거리 초음속미사일은 미 해군 항모강습단에 큰 위협이 되었다. 즉, 미 해군은 전력의 열세와 유도탄의 위협 속에서 원정작전을 수행해야 하는 열악한 환경에 놓인 것이다. 미 해군은 이러한 위협을 극복하기 위해 2018년 분산해양작전이라는 새로운 작전개념을 도입하였다. 즉, ‘기존의 항모 중심의 고가치 전력을 집중 운용하기보다 다수의 이동플랫폼을 넓게 분산시켜 중국의 정보·감시·정찰 능력을 복잡하게 압박하고, 첨단 기술 기반의 초정밀·고화력 무기체계를 모든 플랫폼에 탑재하여 중국의 중심을 타격한다’는 개념이다[2]. 그리고 분산해양작전을 수행하기 위한 최적의 수단으로 저비용으로 큰 효과를 거둘 수 있는 ‘무인무기체계’를 선택하였다. 2022년 7월 RIMPAC(환태평양훈련)에서 미 해군은 다양한 무인체계를 포함한 첨단 무기체계를 보여주었다[3]. 특히, 무인수상정 ‘Sea Hunter’는 70일간 작전 운용이 가능하고, 정보·감시·정찰, 대기뢰전, 대잠전 등의 임무수행이 가능하며[4], 부상하는 중국의 군사 위협에 맞서 미국의 해상전력을 보호하기 위한 해군의 핵심 전력이 될 것으로 예상된다.

대한민국 해군 역시 미래 안보환경과 전쟁양상 변화에 능동적으로 대응하기 위해 ‘SMART(Strong Maritime forces Accomplished with Revolutionary Technology) Navy’를 추진 중에 있으며, 그 핵심에는 무인무기체계가 있다[5]. 특히, 무인수상정은 저비용으로 다수의 전력을 확보할 수 있고 작전 지속성과 융통성이 뛰어나 넓은 해역에 대한 상시 감시가 가능하며, 감시·정찰은 물론 대기뢰전·해상전투 등 다양한 임무수행이 가능하다. 또한, 인명피해 우려와 병력 부족 문제의 해결책이 될 수 있다는 점에서 미래 무기체계로서 더욱 각광받고 있다.

(Fig. 1)과 같이 이미 국내에서도 해검, M-Searcher 등 다양한 무인수상정이 개발되었으며[6], 최근에는 국방과학연구소(이하 국과연) 주관으로 NLL(Northern Limit Line, 북방한계선) 등 접적 해역에서 최대 10척의 무인수상정을 상시 운용할 수 있는 ‘군집 무인수상정 운용기술’(19~24)을 개발 중에 있다[7].

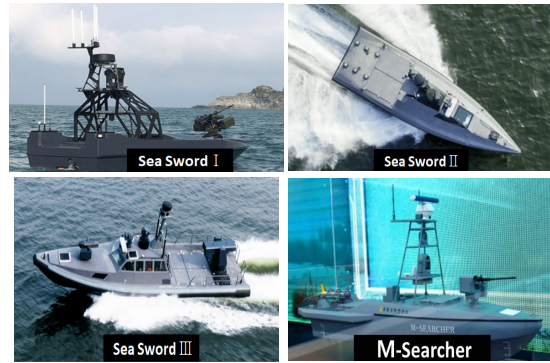


Fig. 1. Development of USV in Korea

다만, 현재까지 연구는 기술 자체의 개발과 확보에 초점이 맞추어져 있어, 실제 이 기술이 전장에서 얼마나 효과가 있는지와 어떻게 활용할 것인가에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 접적 해역에서 우리 해역으로 고속 침투와 기습이 가능한 북한 VSV(Very Slender Vessel, 파도 관통형 고속함) 함정을 대상으로 군집 무인수상정의 전투 및 운용 효과를 분석하고자 한다. 이를 위해 현재 해군에서 운용 중인 유인함정 PKMR(Patrol-boat Killer Medium Rocket, 유도로켓 탑재 고속정)을 군집 무인수상정의 비교 대상으로 선정하고, ‘침투하는 적을 탐색·교전하는 상황’과 ‘아군 함정이 적을 공격하는 상황’으로 나누어 결과를 측정하였다. 이를 통해 다양한 임무에서 군집 무인수상정의 전투 효과를 기존 전력과 비교하여 정량적으로 제시하고, 상황별 적합한 군집 간격과 무장 사거리가 전투에 미치는 영향 등을 분석하여 향후 전장에서 군집 무인수상정을 운용하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

연구에서 제시하고 있는 군집 무인수상정의 상황별 전투 효과를 분석하기 위해 ABM(Agent Based Modeling)을 활용하였다. 본 논문의 구성으로 2장에서는 군집 무인수상정에 관한 기존 연구를 살펴보고, 3장에서는 시뮬레이션에 관한 가정사항, 시나리오, 효과척도를 논의한다. 4장에서는 모의 전투에 대한 실험 결과를 분석하고 5장에서 결론과 발전방향을 제시한다.

2. 관련연구

2.1 군집 개념과 군집 무인수상정 기술

군집의 개념과 운용에 관한 연구로서 이종용 등(2017)은 4차 산업혁명 시대 특징인 초연결·초지능 사회에 적합한 전투 방식으로 군집을 언급하며, 군집의 개념과 성공요소, 무인기의 군집 적용방안(비무장 지대 감시·정찰, 후방지대 작전, 적 레이더 기만 등)을 제시하였다[8]. 박노영 등(2018)은 최소한의 피해로 최소 저항로(적의 입장에서 아군이 공격하지 않으리라 생각, 군사적 대비책 강구하지 않는 지점)를 탐색할 전력으로 초소형 자율 무인기의 군집 비행을 제시하고, 그 효과를 시뮬레이션을 통해 입증하였다[9].

군집 무인수상정의 기술에 관한 연구로 김동희 등(2022)은 무인수상정을 군집 운용하기 위한 무인수상정 시스템을 개발하고, 자율운항 성능시험을 실시하였다. 경로 추종, 장애물 회피, 무인수상정 2척을 이용한 편대 기동을 성공적으로 수행함으로써 무인수상정의 군집 운용 가능성을 확인하였다[10]. 최동호 등(2022)은 군집 무인수상정의 임무와 통신환경에 따라 가변 적용할 수 있는 세가지 무선통신 토폴로지(중앙집중형, 하이브리드형, 분산형)를 제안하고, 관련 무선통신 시스템을 제작하여 실험 시험을 수행하였다[11]. 박희문 등(2022)은 무인수상정 내부와 외부를 연동하여 군집으로 임무 계획을 수립할 수 있는 연동 인터페이스(IAS)를 설계하고, 시뮬레이션을 통해 효과를 검증하였다[12].

2.2 무기체계 전투 효과 측정

권오정 등(2021)은 AHP 기법을 이용하여 대대급 이하 체대에서 근무 경험이 있는 102명의 영관·위관 장교를 대상으로 설문과 AHP 분석을 실시, 개인휴대 전투드론을 보유한 부대가 보유하지 않은 부대보다 2.73배의 전투 효과가 있음을 제시하였으며, 전장감시 및 표적획득을 중요요소로 도출하였다[13]. 김경수 등(2021)은 란체스터 제곱 법칙을 이용하여 저비용 드론의 군집 전투 효과를 설명하였다[14]. 최민우 등(2021)은 ABM 시뮬레이션을 이용하여 드론의 군집 운용 효과를 제시하고, 임무 편성을 위한 적정 군집 개수를 분석하였다. 실험 결과, 동일한 조건에서도 군집 개수가 달라질 시 전투 효과 차이가 있음을 확인하였으며, 표적의 수에 따라 적정 군집 개수가 달라짐을 확인하였다[15]. 박선준 등(2022)은 확률형 전투모델을 이용하여 북한/일본/중국 등 주변국 주요 함정에 대한 무인수상정의 전투 효과를 분석하였다. 주변국 주요 함정 1척을 기준으로 무장 명중률, 무인수상정 척수, 탑재 유도로켓 수량을 변화시켜 결과를 측정함으로써 필요한 무인수상정 척수와 유도로켓 수량을

도출하였다[16].

본 연구는 다양한 임무와 조건에서 군집 무인수상정의 전투 효과를 측정하고, 운용 효과를 분석하였다는 점에서 앞서 소개된 연구와 차별점이 있다.

3. 시뮬레이션

본 연구에서는 북한 VSV와 우리 PKMR·군집 무인수상정의 모의 전투를 구현하기 위해 ABM 시뮬레이션을 활용하였다. ABM은 행위자와 환경, 행위자들 간의 상호작용 및 행위자와 환경의 상호작용을 모델링하여 높은 수준의 행위를 재현 또는 예측하는 방법으로, 사회, 경제, 자연과학, 국방에 이르기까지 다양한 분야에서 활용되고 있다[17]. 모의 전투에 관한 시뮬레이션은 <Fig. 2>와 같은 절차로 구현하였으며, 모델링 도구로는 Netlogo(ver. 6.3.0)를 사용하였다. 시뮬레이션은 각 50회를 실행하였다.

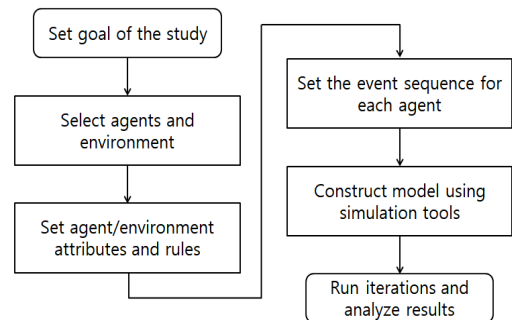


Fig. 2. Implementation procedure of ABM simulation

3.1 가정사항

각 에이전트의 제원을 살펴보면 다음과 같다.

북한은 노후화된 함정을 대체하고, 우리나라 해역에 고속 침투를 목적으로 스틸스 형상의 파도 관통형 함정 VSV를 개발하였다. 특히, VSV는 북한 특수전 부대의 탑승이 가능하며, 레이더 탐지를 회피하여 고속으로 우리 해역에 침투할 수 있다. 또, 어뢰 등의 위협적 공격수단을 보유하여 PKMR 등 우리 해군의 연안방어 전력을 기습 공격할 수 있어 점적 해역에서 주요한 위협으로 부상하였다[18]. 그중 30m급 VSV는 최대 50kts(92.6km/h) 속력으로 기동 및 어뢰와 30mm 기관총 탑재가 가능하며[19], 최근에는 Spike급 미사일 장착에 대한 우려가 제기된 바 있다[20]. Spike급 미사일에 대한 제원은 공

개된 바 없으나, 유사 무장을 기준으로 사거리 8km를 적용하였으며, 어뢰의 경우 인론을 통해 공개된 북한 전술을 고려 사거리 4km를 적용하였다[21]. 유도탄 명중률은 선진국 대비 무기체계 신뢰성이 낮아 50%를 적용하였다. 30mm 기관총은 유효사거리 4km, 명중률은 1발당 30%를 적용했으며[19], 탄약은 10번의 교전을 수행할 수 있는 적재량을 적용하였다.

PKMR은 전방 해역에서 연안방어 임무를 수행하는 대한민국 해군의 신형 고속정으로 길이 44m, 만재배수량 250t, 최대 40kts(74km/h)로 기동 및 130mm 유도 로켓, 76mm 함포를 탑재할 수 있다[22]. 130mm 유도 로켓의 경우 사거리 20km[23], 명중률은 우리나라 유도 무기의 일반적 명중률 80%를 적용하였다[24]. 76mm 함포는 유효사거리 8km, 명중률은 1발당 30%를 적용했으며, 탄약은 10번의 교전을 수행할 수 있는 적재량을 적용하였다.

현재 국내에서 개발되고 있는 기술 추세를 고려하여 연안 경계와 신속 대응이 가능한 군집 무인수상정을 가정하였다. 세부 제원은 길이 15m, 만재배수량 12t, 최대 40kts(74km/h)로 기동 및 70mm 유도 로켓을 탑재할 수 있다. 70mm 유도 로켓의 사거리는 8km, 명중률은 130mm와 동일한 80%를 적용하였다[25]. 무인수상정 간 군집 간격은 통신 범위를 고려 30km 이내에서 기동하였다. 함정별 무기체계 세부 사양은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Armament specifications for battle ship

Ship	Weapon	Load	Range	Accuracy rate
VSV	Rocket (Ship Mountability)	8	8km	50%
	Torpedo	2	4km	50%
	30mm Gun	10set	4km	30%
PKMR	130mm rocket	12	20km	80%
	76mm Gun	10set	8km	30%
USV	70mm rocket	8	8km	80%

다음은 에이전트의 수량 선정에 관한 사항이다.

VSV의 규모에 대해 알려진 바는 없으나, 김정은이 청진 기지를 방문하여 VSV 엔진을 한 달에 10개 이상 제작하라고 지시하는 등 직접적 관심을 기울이는 점을 고려[19] 상당한 수량을 확보했을 것으로 판단되며, 우리 함정의 능력을 고려 최대 30척의 VSV와의 교전을 가정

하였다. PKMR과 군집 무인수상정의 경우 동일한 연안 방어 임무를 수행하며, PKMR 1척(약 600억원)보다 무인수상정 10척의 획득하는 비용(적당 약 30억원)이 더 낮다. 현재 국과연에서 10척의 무인수상정을 군집 운용하는 기술을 개발 중인 것을 고려하여 임무, 비용, 기술적 측면에서 PKMR 1척과 무인수상정 10척을 비교 대상으로 선정하였다.

시뮬레이션 구역의 크기는 90km(가로) x 60km(세로)로 설정하였으며, 이는 <Fig. 3>처럼 우리나라 주요 접적 해역인 서해 연평도를 기준으로 우회하여 인천, 도 서기지로 침투하는 상황을 가정하였다.

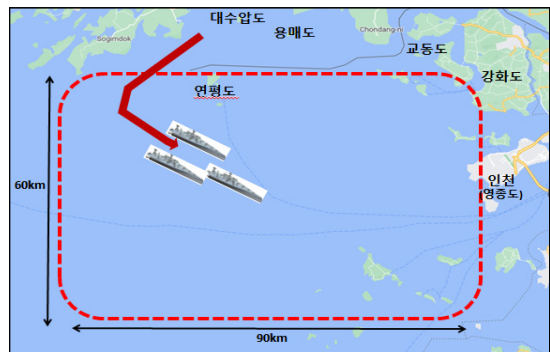


Fig. 3. Simulation Area

3.2 시나리오

해상에서 함정이 수행할 수 있는 수상전의 형태는 크게 '적을 감시·정찰하고 탐지된 적과 교전하는 방어적 역할'(시나리오 I)과 '집결된 적 등의 위협을 제거하는 공격적 역할'(시나리오 II)로 구분할 수 있다. 향후 도입될 군집 무인수상정 또한 이러한 임무를 수행할 것으로 예상되며, 해당 임무의 전투 효과를 측정할 수 있도록 시나리오를 구성하였다. 시나리오 I, II 모두 PKMR은 1척, 무인수상정은 10척으로 고정하고, VSV를 5~30척까지 5척씩 조정하였다. 이때, 군집 무인수상정은 각 함정 간 간격을 5~30km까지 5km씩 구분하여 결과를 측정하였다.

3.2.1 시나리오 I : 침투하는 적을 탐색, 교전

시나리오 I은 우리 해역에 침투하는 VSV를 탐색·교전하는 상황으로 <Fig. 4>처럼 구역 좌측에 위치한 VSV가 구역 우측으로 기동하고, 우측 끝단에 도달 시 침투완료로 가정한다. 이때, PKMR과 군집 무인수상정은 구역 우측에 위치하여 VSV 침투를 저지한다.

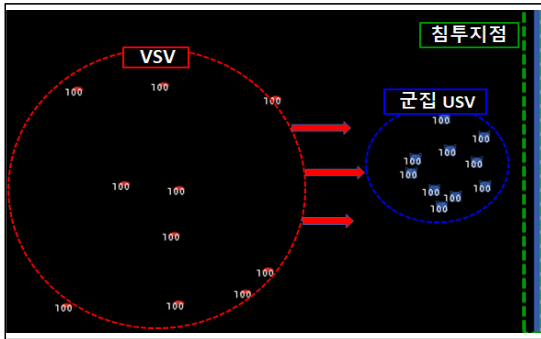


Fig. 4. Netlogo Simulation for Scenario I

시나리오는 VSV가 기존 30mm 함포와 어뢰를 운용하는 경우(사거리 4km)와 Spike급 미사일을 탑재할 경우(사거리 8km)로 구분하였다. 이를 통해 적보다 무장 사거리가 우세한 경우와 유사한 경우를 비교함으로써 무장 사거리가 전투에 미치는 영향을 확인할 수 있을 것이다.

3.2.2 시나리오 II : 적 함정에 대한 공격

시나리오 II는 일정 해역에 집결해 있는 VSV를 우리 함정이 공격하는 상황으로 <Fig. 5>처럼 구역에서 자유롭게 기동 중인 VSV를 PKMR과 군집 무인수상정이 공격한다. 이때, 공격은 한쪽이 전멸할 때까지 수행하며, 시나리오 II 또한 VSV 무장 사거리에 따라 결과를 나누어 측정하였다.

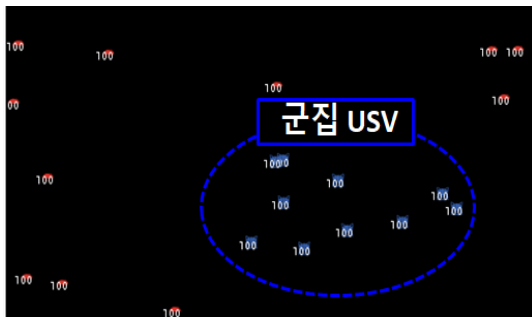


Fig. 5. Netlogo Simulation for Scenario II

3.3 MOE(Measure Of Effectiveness, 효과척도)

전투 효과를 측정하기 위한 MOE로 살상률과 생존율을 다룬다. 살상률은 전체 적 중에서 제거된 적의 비율을 나타낸 것으로 본 연구에서는 PKMR과 군집 무인수상정의 전투 효과를 비교하는 가장 중요한 척도로 활용되며, Eq. (1)과 같다.

$$Probability\ of\ Kill = \frac{number\ of\ enemies\ eliminated}{Total\ number\ of\ enemies} \times 100\% \quad (1)$$

생존율은 전투 종료 시 생존해 있는 아군 함정의 비율을 나타낸 것으로 무인무기체계의 경우 사람이 탑승하지 않기 때문에 피격 시 충격이 기존 유인체계 대비 크지 않으나, 생존율 감소는 살상률과 전투 지속성에 영향을 미침으로 생존율 또한 효과 측정의 척도로 선정하였고, Eq. (2)와 같다.

$$Survival\ Rate = \frac{number\ of\ surviving\ ship}{Initial\ number\ of\ ship} \times 100\% \quad (2)$$

이와 같이 본 연구에서는 살상률과 생존율을 이용하여 군집 무인수상정의 전투 효과를 분석하였다.

4. 결과 분석

4.1 시나리오 I : 침투하는 적을 탐색, 교전

<Table 2>는 VSV가 기존 무장을 탑재하고 우리 해역에 침투하는 경우, PKMR 단독과 군집 무인수상정의 군집 간격(5~30km)별 살상률과 생존율을 나타낸다. 군집 무인수상정의 살상률은 군집 간격 5km에서 가장 낮고, 15km까지 가파르게 증가하며, 25km 이상에서는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 군집 무인수상정의 생존율은 살상률과는 반대로 군집 간격 5km에서 가장 높고, 25km까지 서서히 낮아짐을 알 수 있다. VSV의 침투를 가장 잘 저지할 수 있는 군집 간격인 25km를 기준으로 PKMR과 전투 효과를 비교 시, 살상률은 37.1~49.5% 높으나, 생존율은 0~9.8%로 동일하거나 일부 낮게 나타났다. 이는 무인수상정이 넓게 분산하여 VSV와 접촉하여 교전 확률이 증가함으로써 피격 확률도 증가되었기 때문으로 판단된다.

Table 2. (a) Probability of Kill for Scenario I(VSV range 4km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30	
PKMR	58.0	57.2	54.4	51.8	47.3	44.5	
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	34.8	34.5	35.0	34.5	34.8	33.4
	10km	71.0	70.0	68.3	68.0	67.1	66.1
	15km	91.2	91.0	90.8	90.4	90.1	89.3
	20km	93.0	92.8	92.5	92.0	91.8	91.7
	25km	95.1	94.6	94.5	94.1	94.0	94.0
30km	95.0	94.4	94.5	94.0	93.8	94.0	

Table 2. (b) Survival Rate for Scenario I (VSV range 4km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30
PKMR	100	100	100	100	100	100
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	100	100	100	100	100
	10km	100	99.4	99.2	97.8	97.4
	15km	100	99.4	99.0	97.0	96.4
	20km	100	99.0	98.2	96.6	95.2
	25km	100	98.2	97.0	95.5	93.4
	30km	100	98.4	98.0	96.0	93.0

〈Table 3〉은 VSV가 Spike급 미사일을 탑재하고 우리 해역에 침투하는 경우, PKMR 단독과 군집 무인수상정의 군집 간격(5~30km)별 살상률과 생존율을 나타낸다. 해당 실험 역시 군집 간격 25km 이상에서 살상률이 가장 높은 반면 생존율은 가장 낮았다. VSV의 침투를 가장 잘 저지할 수 있는 군집 간격 25km 기준으로 PKMR과 전투 효과를 비교 시, 살상률은 2.0~22.8% 높게 나타났다으나, 생존율은 26.4~74.0%로 현저히 낮게 나타났다. 이는 무인수상정이 넓게 분산하여 VSV와 접촉·교전 확률도 증가하는 반면, VSV와 무인수상정의 무장 사거리가 동일하여 VSV 수가 증가할수록 무인수상정의 생존성 보장이 힘들기 때문으로 판단된다.

Table 3. (a) Probability of Kill for Scenario I (VSV range 8km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30
PKMR	58.8	58.0	55.4	51.6	44.8	37.3
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	32.0	33.6	32.8	33.9	32.1
	10km	59.2	55.2	50.0	47.9	39.8
	15km	69.2	64.6	55.2	52.6	41.8
	20km	78.0	74.2	61.6	56.1	43.4
	25km	81.6	75.0	65.4	55.6	46.8
	30km	81.2	74.4	65.8	56.0	46.2

Table 3. (b) Survival Rate for Scenario I (VSV range 8km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30
PKMR	100	100	98.0	92.0	78.0	66.0
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	91.6	85.8	72.6	68.6	59.4
	10km	79.2	59.0	40.2	30.4	16.4
	15km	76.0	55.4	31.4	21.4	12.0
	20km	74.8	53.8	30.0	20.2	10.6
	25km	73.6	49.6	28.4	18.0	9.6
	30km	73.4	49.2	28.0	18.4	9.0

위 실험을 통해 VSV가 침투하는 상황에서는 군집 무인수상정의 간격을 25km 이상으로 운용하는 것이 침투 저지에 가장 유리함을 알 수 있다. 다만, 이 경우 생존율이 가장 낮아 이를 보완할 대책이 필요할 것이다.

4.2 시나리오 II : 적 함정에 대한 공격

〈Table 4〉는 우리 함정이 기존 무장을 탑재한 VSV를 공격하는 경우, PKMR 단독과 군집 무인수상정의 군집 간격(5~30km)별 살상률과 생존율을 나타낸다. 군집 간격에 따른 군집 무인수상정의 살상률은 모두 100%로 동일하였으며, 생존율은 5km에서 가장 높게 나타났다. 군집 간격 5km를 기준으로 PKMR과 전투 효과를 비교 시, 살상률과 생존율은 VSV 20척까지는 유사한 성능을 보이나, 25척 이상에서는 PKMR보다 높은 것으로 나타났다. 이때, 살상률은 12.0~26.7% 높으며, 생존율은 PKMR의 생존율이 0%인 반면, 군집 무인수상정은 99.4~99.6%로 현저히 높게 나타났다. 이는 PKMR 1척은 총 22번(유도로켓 12발, 함포 10set)의 교전을 수행할 수 있어 적의 수가 일정 이상이 되면 대응하기 힘든 반면, 군집 무인수상정은 10척이 총 80번(적당 유도로켓 8발)의 교전을 수행할 수 있어 다수의 적도 대응 가능하기 때문으로 판단된다.

Table 4. (a) Probability of Kill for Scenario II (VSV range 4km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30
PKMR	100	100	100	100	88.0	73.3
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	100	100	100	100	100
	10km	100	100	100	100	100
	15km	100	100	100	100	100
	20km	100	100	100	100	100
	25km	100	100	100	100	100
	30km	100	100	100	100	100

Table 4. (b) Survival Rate for Scenario II (VSV range 4km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30
PKMR	100	100	100	100	0	0
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	100	100	99.8	99.8	99.6
	10km	100	98.7	98.0	97.6	96.4
	15km	100	98.6	97.6	97.0	96.4
	20km	100	98.6	97.4	96.8	96.8
	25km	100	98.4	98.0	96.0	94.6
	30km	100	98.5	97.8	96.6	96.2

〈Table 5〉는 우리 함정이 Spike급 미사일을 탑재한 VSV를 공격하는 경우, PKMR 단독과 군집 무인수상정의 군집 간격(5~30km)별 살상률과 생존율을 나타낸다. 군집 무인수상정은 군집 간격이 좁아질수록 살상력과 생존율 모두 서서히 높아지다 군집 간격 5km에서 비교적 큰 차이로 높아짐을 알 수 있다. 군집 간격 5km 기준으로 PKMR과 전투 효과를 비교 시, 살상률은 VSV 10척까지는 동일하나 15척 이상에서는 6.9~22.3% 높게 나타났다으며, 생존율은 VSV 15척까지는 6.6~46.8% 낮으나, 20척 이상에서는 3.4~12.2% 높은 것으로 나타났다. 이는 군집 간격을 5km로 좁게 운용하는 경우, 상대적으로 분산된 VSV에 대해 다수의 무인수상정이 화력을 집중할 수 있어 각개격파가 가능하기 때문으로 판단된다.

Table 5. (a) Probability of Kill for Scenario II (VSV range 8km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30	
PKMR	100	100	88.4	71.2	56	44.6	
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	100	100	95.3	85.8	73.7	66.9
	10km	100	94.6	84	71.1	57.3	47.6
	15km	100	94	82.7	69.6	55.3	45.7
	20km	100	94.1	82.8	67	54.2	45.6
	25km	100	93.5	82	66.8	54.6	45.2
	30km	100	93.8	82.2	67	55.1	46

Table 5. (b) Survival Rate for Scenario II (VSV range 8km)

VSV Number	5	10	15	20	25	30	
PKMR	100	100	38	2	0	0	
Swarm USV (Swarm Spacing)	5km	79.4	53.2	31.4	14.2	5.2	3.4
	10km	70	42.4	18.2	5.2	1.8	0
	15km	65	37.2	13.4	4.8	1.0	0
	20km	64.8	35.5	12.4	3.2	0.6	0
	25km	64.2	36.4	12.8	3.4	0.8	0
	30km	64.4	36.1	12	3.8	0.6	0

위 실험을 통해 우리 함정이 VSV를 공격하는 상황에서는 군집 무인수상정의 간격을 5km로 좁히는 것이 살상률과 생존율에 전반적으로 유리함을 알 수 있다.

4.3 종합분석

본 절에서는 군집 무인수상정의 운용 효과를 종합적으로 분석하였다. 먼저, VSV가 우리 해역으로 침투 시 군집 간격은 25km 이상이 침투 저지에 유리하였으며,

VSV를 공격할 시 군집 간격은 5km 이하가 적 위협 제거에 유리하였다. 이러한 파라미터를 도출하는 것은 ‘해당 무기체계를 전장에서 어떻게 운용할 것인가’라는 전술적 측면에서 매우 중요하다. 2차 세계대전에서 독일군은 전차의 화력과 기동력에 주목하여 ‘전격전’을 도입함으로써 프랑스의 방어선을 빠르게 무력화한 것처럼 새로운 무기가 효과를 발휘하기 위해서는 운용개념을 정립하는 것이 필수적이다. 특히, 군집 무인수상정 운용에 관한 연구가 전무한 현 상황에서 군집 간격 등 파라미터는 체계적인 운용개념 적립을 위한 귀중한 기초자료가 될 것이다.

〈Fig. 6〉은 VSV가 우리 해역에 침투 시, VSV 무장 사거리에 따른 군집 무인수상정(군집 간격 25km 기준)의 살상률과 생존율 차이를 나타낸다. 〈Fig. 6(b)〉에서 볼 수 있듯이 군집 무인수상정과 VSV의 무장 사거리가 유사한 경우, 생존율이 현저히 감소함을 알 수 있으며, 〈Fig. 6(a)〉처럼 살상률 저하에도 영향을 미친다.

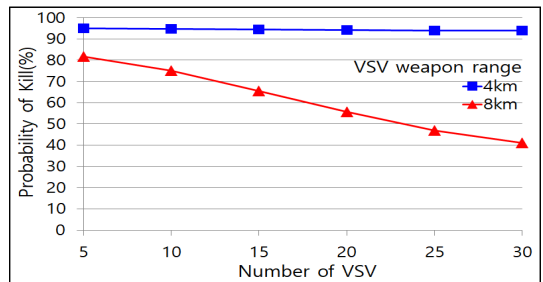


Fig. 6.(a) Probability of kill

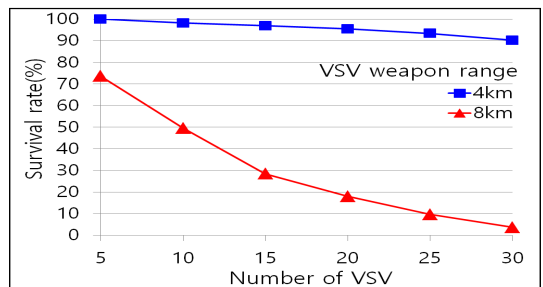


Fig. 6.(b) Survival rate

Fig. 6. ‘Probability of Kill’ & ‘Survival rate’ of Swarm USV(Swarm spacing 25km) based on VSV weapon range when VSV infiltrates

〈Fig. 7〉은 VSV를 공격할 시, VSV 무장 사거리에 따른 군집 무인수상정(군집 간격 5km 기준)의 살상률과 생존율 차이를 나타내며, 해당 실험 역시 군집 무인수상정

과 VSV의 무장 사거리가 유사한 경우, 생존율이 현저하게 감소함을 알 수 있다.

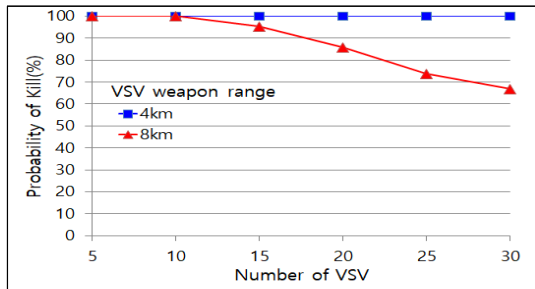


Fig. 7.(a) Probability of kill

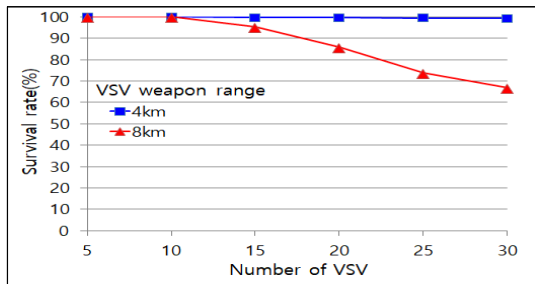


Fig. 7.(b) Survival rate

Fig. 7. 'Probability of Kill' & 'Survival rate' of Swarm USV(Swarm spacing 5km) based on VSV weapon range when attacking VSV

이러한 결과는 무장 사거리가 군집 무인수상정 전투에 큰 영향을 미치는 주요한 요소임을 보여주며, 4.1절에서 도출된 군집 무인수상정이 부족한 생존성을 확보하기 위해서는 적 대비 긴 사거리의 무장이 필요함을 알 수 있다. 이에 향후 군집 무인수상정을 도입 시에 소요제기 단계부터 적의 위협을 면밀히 분석하고, 선정된 위협 대비 긴 사거리의 무장을 도입할 수 있어야 한다.

5. 결론

본 연구는 ABM 시뮬레이션을 활용하여 군집 무인수상정의 전투 효과를 측정하고, 운용 효과를 분석하였다. 이를 위해 VSV를 주요 위협으로 선정하고, PKMR과 전투 효과를 비교하였다. 또, 상황을 'VSV의 침투'와 'VSV를 공격'으로 구분하고, VSV 수와 무장 사거리, 무인수상정 간 군집 간격 등의 수치를 변화시켜 결과를 측정하였다. VSV가 침투하는 상황에서 군집 무인수상정의 살

상률은 무장 사거리가 우세한 경우 37.1 ~ 49.5%, 유사한 경우 2.0 ~ 22.8% 향상되었으며, 군집 간격은 25km 이상으로 운용하는 것이 적 침투 저지에 유리하였다. VSV를 공격하는 상황에서 살상률은 무장 사거리가 우세한 경우 0 ~ 26.7%, 유사한 경우 0 ~ 22.3%로 동일하거나 향상되었으며, 군집 간격을 5km로 좁게 운용하는 것이 적 제거에 유리하였다. 이러한 결과는 군집 무인수상정 10척을 운용하는 것이 PKMR 1척보다 저비용으로 큰 효과를 얻을 수 있다는 점에서 더욱 의미가 있다. 또한, 군집 무인수상정의 전투에 무장 사거리가 미치는 영향을 확인하여, 군집 무인수상정이 부족한 생존성을 확보하기 위해서는 적 대비 긴 사거리의 무장 도입이 필요함을 제시하였다.

본 연구는 여러 가정사항으로 인한 연구 결과의 한계가 있으며, 향후 다음과 같은 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 첫째, 임무를 효과적으로 수행하기 위한 군집 무인수상정의 적정 수량 분석이 필요하다. 임무별로 필요한 군집 무인수상정의 수량을 도출하여 현재 10척으로 개발되고 있는 군집 무인수상정 기술에 대한 적절성 평가가 가능할 것이다. 둘째, 다양한 위협과 조건에 대한 전투 효과 분석이 필요하다. 적이 대공 방어체계를 탑재하거나, 무장 사거리가 긴 경우 등 다양한 위협을 분석함으로써 향후 군집 무인수상정이 직면할 상황을 사전에 대비할 수 있을 것이다.

References

- [1] Chosun Daily, The U.S. is also concerned about inferior military capabilities in India-the Pacific, Chosun Daily press release, released Dec.28.2022, Available From: <https://www.chosun.com/international/us/2022/12/28/WFZNU72IUZF3NP4EJKG3PUM63U/> (accessed Aug.21. 2023)
- [2] H. S. Jung, "US Navy's Distributed Maritime Operation looking for Technologies of the 4th Industrial Revolution Era", Korean Defense Policy Research, Vol.36, No.2, pp. 61-93, July. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22883/jdps.2019.35.2.003>
- [3] Korea National Defense Daily, [On their way to the RIMPAC site in 2022] Autonomous operation on the sea Seahawk is up, Korea National Defense Daily press release, released July. 7. 2022, Available From: https://kookbang.dema.mil.kr/newsWeb/20220708/7/BBSMSTR_00000010024/view.do (accessed Aug.20. 2023)
- [4] Korea Institute for Military Affairs, U.S. Navy's Ghost Fleet Promotion Plan, Military Report, Korea Institute

- for Military Affairs, Korea, pp.1-2.
- [5] D. S. Park, "4th Industrial Revolution Advanced Technology Based 'SMART Navy' Navigation Plan", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol.24 No.5, pp7-10, Mar. 2020.
 - [6] Chosun Daily, U.S. secret weapon 'ghost fleet' to face Chinese aircraft carrier, Chosun Daily press release, released June. 7. 2020, Available From: https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2020/06/07/2020060700756.html?utm_source=naver&utm_medium=referral&utm_campaign=naver-news (accessed Aug.21. 2023)
 - [7] Korea National Defense Daily, Group response according to the battlefield situation...Leads the Future of the Sea, Korea National Defense Daily press release, released Oct. 22. 2021, Available From: https://kookbang.dema.mil.kr/newsWeb/20211025/1/BBSMSTR_00000010026/view.do (accessed Aug.21. 2023)
 - [8] J. Y. Lee, S. C. Lee, "A Study on the Application of Swarming Tactics Using Future Unmanned Systems", Journal of Military History Studies, No. 144, pp.353-381, Dec. 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17934/jmhs..144.201712.353>
 - [9] N. Y. Park, K. S. Kim, "A Study on the Micro- Autonomous UAVs(Swarming) for The Minimum Resistance Approach Path Search in the concept of Indirect Approach", Korea Military Academy Hwarang-dae Research Institute, Vol.74, No.1, pp1-31, Feb. 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31066/kimas.2018.74.1.001>
 - [10] D. H. Kim, B. W. Choi, "The Development and Experimentation of Unmanned Surface Vehicles (USV) for Swarm Operation", Journal of the Institute of Control, Automation and Systems Engineer, Vol.28, No.5, pp420-426, May. 2022.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2022.22.0023>
 - [11] D. H. Choi, D. H. Kim, M. S. Kim, B. W. Choi, M. C. Jung, Y. D. Choi, "Design and Implementation of Wireless Communication Topology for Swarm Unmanned Surface Vehicle(USV) Operation", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol.20, No.8, pp79-89, Aug. 2022.
DOI: <https://doi.org/10.14801/ikiit.2022.20.8.79>
 - [12] H. M. Park, H. J. Joo, K. M. Seo, Y. K. Choi, "Design and Implementation of Interface System for Swarm USVs Simulation Based on Hybrid Mission Planning", The Korea Society for Simulation, Vol.31, No.3, pp1-10, Sep. 2022.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9709/JKSS.2022.31.3.001>
 - [13] O. J. Kwon, Y. H. Song, J. G. Kim, N. S. Cho, "A Study on Combat Effectiveness of Personal Combat Drone Using Analytic Hierarchy Process Method", Journal of the Military Operations Research Society of Korea, Vol.47, No.2, pp.36-49, Dec. 2021.
 - [14] K. S. Kim, J. H. Kim, Drone Swarm development trend and development trend to lead future warfare, p479, Defense and Technology, 2019, pp.98-109.
 - [15] M. W. Choi, H. S. Moon, S. W. Han, N. S. Cho, "An ABM Simulation Study on Operational Effectiveness and Mission Organization for Swarm Drones", Journal of the Military Operations Research Society of Korea, Vol.47, No.2, pp.75-90, Dec. 2021.
 - [16] S. J. Park, S. S. Min, Y. H. Ha, "Analysis of the Combat Effectiveness of the Unmanned Surface Vehicle", Journal of the Korean society for Naval Science and Technology, Vol.5, No.2, pp134-142, Sep. 2022.
DOI: <https://doi.org/10.31818/JKNST.2022.09.5.2.134>
 - [17] U. Wilensky, W. Rand, An Introduction to Agent - based Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with Netlogo, p579, Massachusetts Institute of Technology, 2015, pp.45-56.
 - [18] New Daily, North Korea Orders Mass Production of High Speed Torpedo ship, Aiming for the northwestern islands?, New Daily press release, released Nov.23.2018, Available From: <https://www.newdaily.co.kr/site/data/html/2018/11/23/2018112300065.html> (accessed Oct.13.2023)
 - [19] D. C. Lee, "A Study on military strategy and naval strategy in the Kim Jong-un era", Korea Association of Unification Strategy, Vol.21, No.4, Dec. 2021.
 - [20] Chosun Daily, North Korea to mount new missiles on stealth-type high-speed boats, Chosun Daily press release, released Apr.20.2019, Available From: https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2019/04/20/2019042000259.html (accessed Aug.25. 2023)
 - [21] Donga Daily, The Secret of the torpedo attack on the Cheonan warship, Donga Daily press release, released Nov.12.2020, Available From: <https://www.donga.com/news/article/all/20201112/103918170/1> (accessed Aug.25. 2023)
 - [22] Newsis Daily, Simultaneous launch of three PKMR's (200ton) to replace older PKM, Newsis Daily press release, released Dec.21.2018, Available From: https://newsis.com/view/?id=NISX20181221_0000509433&cID=10304&pID=10300 (accessed Aug.25. 2023)
 - [23] Economic Review Daily, Meaning of Oversea Introduction of Maritime Operations Helicopter and Production of PKMR Economic Review Daily press release, released Apr.24.2018, Available From: <https://www.econovill.com/news/articleView.html?idxno=336483> (accessed Aug.28. 2023)
 - [24] Y. H. Lee, J. H. Kim, K. S. Lee, J. S. Lee, M. J. Lee, D. H. Kim, "Calculation of Sample Size for Guided Missile Considering Test Method and Reliability Growth", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol.20, No.6, Dec. 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.6.844>
 - [25] Seogye Daily, Guided rocket deployment to catch North Korea's hovercraft by 2016, Seogye Daily press release, released Apr.26.2015, Available From: <https://www.segye.com/newsView/20150426002353?Ourl=naver> (accessed Aug.28. 2023)

김 수 민(Soo-Min Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 해군사관학교 무기 체계학과 (이학사)
- 2022년 1월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학학과 무기체계전공 석사 과정

<관심분야>

해양무인체계, 전력 획득, 시뮬레이션

하 용 훈(Yong-Hoon Ha)

[정회원]



- 1994년 2월 : 해군사관학교 해양 학과 (이학사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 해양학과 (이학사)
- 2000년 12월 : 미국 해군대학원 공학음향학 (공학석사)
- 2009년 2월 : 서울대학교 조선해양공학 (공학박사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 국방대학교 국방과학학과 부교수

<관심분야>

감시정찰무기체계, 표적탐지 및 추적, 수중음향 및 대잠전 관련 M&S 등