



Received: 2025/06/02
Revised: 2025/06/16
Accepted: 2025/09/29
Published: 2025/09/30

***Corresponding Author:**

Kyungwon Oh

E-mail: kwoh@defense.ac.kr

임무공학 기반의 무인수상정 운용개념 연구

A Study on the Operational Concept of Unmanned Surface Vehicle Based on Mission Engineering

박동선¹, 오경원^{2*}, 김준영³

¹호서대학교 해양융합기술학과 교수

²호원대학교 국방기술연구소 교수

³LIG넥스원 무인체계/로봇연구소 수석연구원

Dong-Sun Park¹, Kyungwon Oh^{2*}, Junyoung Kim³

¹Professor, Dept. of Marine Convergence Technology, Hoseo University

²Professor, Institute of Defense Technology, Howon University

³Chief research engineer, Unmanned/intelligent Robotic Systems R&D Lab, LIG Nex1

Abstract

본 연구는 서해에서의 북한 고속상륙함(공기부양정) 침투 위협에 대응하기 위한 수상전 전용 무인수상정(USV) 운용개념을 임무공학(mission engineering) 기반으로 정립하였다. 임무 문제 정의, 임무 스레드(MT), 임무공학 스레드(MET) 분석, 성공·효과성·성능 척도를 도출하여 탐지·식별·추적·차단·교전·평가의 6단계로 구성된 운용개념을 설계하였다. 유·무인 복합작전(MUM-T)과 네트워크 중심작전(NCW)을 적용하여 실시간 정보 공유와 전장 상황 인식을 강화하였으며, 시뮬레이션과 현장 환경 기반의 개념 검증 절차를 통해 실효성을 확인하였다. 본 연구는 한국해군의 미래 수상전 고리 발전과 무인체계 적용을 위한 실질적 기초자료로 활용될 수 있다.

This study establishes a mission-engineering-based operational concept for unmanned surface vehicles(USVs) dedicated to surface warfare, focusing on countering North Korean high-speed landing craft threats in the West Sea. Utilizing the mission engineering (ME) framework, the research defines the mission problem, analyzes mission threads (MT) and mission engineering threads (MET), and derives measures of success (MoS), effectiveness (MoE), and performance (MoP). The resulting six-phase operational sequence—detection, identification, tracking, interdiction, engagement, and assessment—is supported by manned-unmanned teaming (MUM-T) and network-centric warfare (NCW) concepts. The proposed concept is verified through simulation and field-based evaluation. This study provides a foundational reference for the Republic of Korea Navy's future doctrine development and practical integration of autonomous maritime systems into operational planning.

Keywords

임무공학(Mission Engineering),
무인수상정(Unmanned Surface Vehicles)
운용개념(Concept of Operations),
유·무인 복합작전(Manned-unmanned Teaming),
네이버 씨 고스트(Navy Sea GHOST)

Acknowledgement

본 논문은 해군협회 연구과제(LIG넥스원)로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

1. 서론

한반도 안보 환경은 북한의 비대칭 전력 증강과 이에 따른 위협 증가로 인해 복잡성이 더욱 심화되고 있다. 이에 따라 한국군은 미래전에서의 전투력 향상을 위해 무인체계 도입을 점진적으로 확대하고 있다. 육군과 공군을 중심으로 다양한 무인항공기(unmanned aerial vehicle, UAV)와 자율주행 지상로봇 도입이 이루어지고 있으며, 해군 또한 무인수상정(unmanned surface vehicle, USV)과 무인잠수정(unmanned underwater vehicle, UUV) 개발을 추진하고 있다.

첨단 기술 발전과 전장 환경의 변화로 인해 미래전에서는 자율 무인체계(autonomous unmanned systems)의 역할이 더욱 중요해질 것으로 전망된다. 특히, 다음과 같은 이유로 자율무인체계의 도입이 필수적이다.

- 신속한 대응 및 작전 지속성: 자율무인체계는 인간의 피로와 관계없이 지속적인 작전 수행이 가능하며, 위험 지역에서도 신속한 대응이 가능
- 다중 플랫폼 연계 운용: 유·무인 복합체계(manned-unmanned teaming, MUM-T)를 통해 공중, 지상, 해상의 다양한 전력과 연계하여 다차원적 작전을 수행 가능

- 위험 지역에서의 임무 수행: 인간이 접근하기 어려운 환경에서도 효과적인 작전 수행이 가능
- 네트워크 기반 전장환경과의 적합성: 인공지능(AI) 및 데이터 네트워크 기술과 결합하여 실시간 정보 공유와 자율적 임무 수행이 가능

또한 한국군은 저출산·고령화로 인해 급격한 인구 감소 문제에 직면하고 있으며, 이는 ‘병력절벽’ 현상으로 이어지고 있어 전통적인 방식의 병력 유지가 불가능해지고 있다. 특히, 해군의 경우 함정 승조원의 고령화 문제와 함께 작전 반경이 넓어지는 환경에서 유인 전력만으로 모든 임무를 수행하는 것은 점점 더 어려워지고 있다. 따라서, 병력 감소 문제를 극복하고 지속적인 작전 수행 능력을 유지하기 위해 무인수상정과 같은 무인전력의 역할이 더욱 중요해지고 있다. 그러나 현재까지의 해양무인체계 운용은 주로 감시·정찰 임무에 한정되어 있으며, 직접적인 교전 능력을 갖춘 무인전력 개발이 미흡한 실정이다. 이에 따라, 실전에서 운용 가능한 무인체계를 개발하고, 이를 기존 유인 전력과 효과적으로 연계할 수 있는 전술 개념을 확립하는 것이 필수적이다.

1.1 연구 목적

본 연구의 목적은 한국 해군을 위한 수상전 전용 무인수상정(USV)의 운용개념(concept of operations, CONOPS)을 정립하는 것이다. 이를 통해 USV가 공기부양정을 포함한 고속상륙함의 위협을 효과적으로 대응할 수 있도록 최적의 운용 방안을 도출하는 것이 본 연구의 핵심 목표이다. 본 연구의 세부 목표는 다음과 같다.

- 작전환경에 적합한 USV 임무 정의
- USV 운용개념(CONOPS) 정립
- USV 운용개념의 실효성 검증
- 한국 해군의 무인전력 운용 발전 방향 제시

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구는 임무공학(mission engineering)의 표준 절차를 적용하여 USV 운용개념(CONOPS)을 정립하는 방법론을 적용한다. 이를 위한 연구의 범위는 다음

과 같이 정의된다.

- 작전환경
 - 연구 대상 지역은 서해로 한정하며, 서해의 저수심, 강한 조류, 어망 밀집 지역 등의 지리적 특성을 고려한다.
 - 적 위협은 북한의 고속상륙함(공기부양정)으로 설정하며, 이들의 기습 침투 위협에 대응하는 USV의 운용개념을 정립한다.
- USV 임무 개념
 - 연구 초점은 고속상륙함 대응을 위한 탐지·추적·차단·교전 임무 수행에 있으며, USV의 단독 작전뿐만 아니라 유·무인 복합작전(MUM-T) 환경에서의 운용도 고려한다.
- 성공 척도 및 평가 기준
 - USV의 운용 성과를 평가하기 위해 성공 척도(measure of success), 효과성 척도(measure of effectiveness), 성능 척도(measure of performance)를 설정한다.
 - 성공 척도 항목에 ‘우군 간 교전방지’ 항목을 추가하며, 이는 우군 함정 및 무인수상정, 민간 선박, 적아 식별율을 기준으로 평가한다.

2. 임무공학 방법론에 대한 이론적 고찰

2.1 임무공학의 정의 및 주요 개념

2017년 미국의 국방수권법(National Defense Authorization Act, NDAA)은 임무 통합 관리(mission integration management, MIM) 개념을 제시하였다. MIM 활동의 주요 주제는 시스템 오브 시스템(system of systems, SoS)의 테스트, 데이터 분석, 데이터 모델링 및 시뮬레이션을 지원하는 엔지니어링 인프라 구축을 포함한다. 국방수권법에서는 이러한 임무 통합(mission integration)을 광범위하게 다루고 있지만, 이러한 전략적 정책은 실질적인 실행 프로세스와 절차로 변환되었다.

임무공학(mission engineering, ME)은 미 국방부에서 MIM의 실행 체계로 탄생했다. 임무공학은 주어진 임무를 효과적으로 수행하기 위하여 시스템, 절차,

운용개념을 통합하고 최적화하는 공학적 접근법이다. 이는 개별 시스템의 성능 향상이 아닌 임무 수행 체계(SoS)의 효과 극대화에 초점을 맞추며, 다양한 전력과 자산이 유기적으로 결합된 복합 작전환경에서 최적의 임무 수행 방안을 도출하는 것이 핵심 목표이다.

미 국방부(Department of Defense, DoD)에서는 임무공학을 “특정 군사 작전을 성공적으로 수행하기 위해 여러 시스템이 조화롭게 운영되도록 설계하고 분석하는 과정”으로 정의하며, 현재와 미래의 운영 및 시스템 역량을 정교하게 분석, 조직화, 통합하여 원하는 전투 임무 효과를 달성하는 과정이라고도 하였다[1]. 이는 전통적인 시스템공학(system engineering)의 개념을 보다 확장한 개념으로 볼 수 있다.

임무공학은 임무 수행을 최적화하기 위해 다양한 요소를 고려하며, 다음과 같은 주요 개념을 포함한다.

첫째, 임무 중심 접근(mission-centric approach)이다. 전통적인 시스템 중심(system-centric) 접근법과 달리, 임무 수행을 최우선 목표로 설정한다. 개별 시스템의 성능이 아닌, 전체적인 임무 목표 달성도가 평가 기준이다.

둘째, 임무 수행 체계 개념을 적용한다. 단일 플랫폼이 아닌 다양한 전력(유인함정, 무인체계, 정보·감시·정찰[ISR] 시스템 등)의 통합 운용을 전제로 설계하며, 유·무인 복합작전(MUM-T)을 포함한 다중 시스템 간 상호 운용성(interoperability)을 고려한다.

셋째, 임무 스레드(mission thread, MT) 분석이다. 임무 스레드는 임무 수행 과정에서 시스템 간 연계 및 절차를 단계별로 정리한 개념이다. 이 분석을 통해 각 시스템이 언제, 어떤 방식으로 정보를 교환하고 행동해야 하는지 체계적으로 도출한다.

넷째, 임무공학 스레드(mission engineering thread, MET) 분석이다. 임무 스레드를 기반으로 운용개념(CONOPS)과 연계하여 임무공학적 분석을 수행하는 개념으로, 각 시스템과 기술적 요소가 임무 수행 목표에 적합한지 여부를 검토하고, 최적화된 운용 방안을 도출한다.

다섯째, 효과 기반 설계(effect-based design, EBD)이다. 단순한 전력 증강이 아닌, 실질적인 작전 효과를 최우선으로 고려한다. 시스템의 기술적 성능이 아니라, 임무 목표에 대한 기여도를 기준으로 운용개념을 설계한다.

2.2 임무공학 절차

임무공학(ME)은 특정 임무를 효과적으로 수행하기 위해 시스템 및 프로세스를 설계하고 최적화하는 방법론으로, 여러 단계의 절차를 거쳐 최종 임무 성공을 목표로 한다. 이 절차는 임무 요구사항을 정의하고, 이를 달성하기 위한 시스템과 운용 개념을 설계하며, 이들이 실제 임무 환경에서 최적의 성과를 거둘 수 있도록 지속적으로 평가하고 개선하는 과정을 포함한다.

2.2.1 임무공학 산출물 사용자

임무공학 절차에서 생성되는 산출물은 전략 및 작전 기획자, 시스템 설계자 및 엔지니어, 테스트 및 평가 전문가, 작전 운용자, 최종 의사결정자 등 다양한 사용자가 활용하며, 이들의 요구사항을 반영하여 문서화된다.

미 국방부는 임무공학을 적용하여 Fig. 1과 같이 개념성숙, 기술 유효성과 투자결정, 시제, 획득 요구조건, 능력 포트폴리오 등을 필요한 정보를 사용자들에게 제공하고 있다[1].

2.2.2 임무공학 표준 절차 및 요소

미 해군의 임무공학 안내서에 명시된 임무공학 프로세스 요소는 Fig. 2와 같이 5단계로 구성된다[2]. 이러한 요소들은 유기적으로 연결되어 있으며, 반복적(iterative)이고 적응적(adaptive)인 방식으로 수행되어야 한다.

- 1단계: 임무 문제 또는 기회 식별(mission problem or opportunity identification)
 - 임무의 목적과 요구사항을 정의
 - 해결해야 할 격차(gaps), 문제(issues) 또는 기회(opportunities) 분석
- 2단계: 임무 특성화(mission characterization)
 - 임무의 작전 환경, 제약 조건, 위협(threats) 등을 정의
 - 임무 성과를 측정할 수 있는 기준 및 지표(metrics) 설정

- 3단계: 임무 아키텍처(mission architectures)
 - 임무 수행 절차를 모델링하고, 주요 임무 스레드(mission threads) 및 임무공학 스레드(mission engineering threads) 개발
 - 대체 시나리오 및 솔루션 평가를 위한 기준안(baseline)과 대안(alternatives) 설정
- 4단계: 임무공학 분석(mission engineering analysis)
 - 모델링 및 시뮬레이션(M&S) 도구를 활용하여 임무수행 방식 및 솔루션 평가
 - 분석 결과의 신뢰성 검증 및 피드백 적용
- 5단계: 결과 및 권고사항 도출(results and recommendations)
 - 분석 결과를 바탕으로 최적의 해결책 및 정책 권고
 - 획득(acquisition), 연구개발(R&D), 운용개념(CONOPS) 개선 등에 활용

2.3 임무공학 적용 사례

미 국방부는 2022년 임무공학을 구현할 때 발생하는 통합(integration) 문제를 체계적으로 분석하고, 이를 해결하기 위한 구체적인 기법을 연구하였다. 이 연구는 무기체계를 통합할 때 3가지 단계인 전환(transition), 채택(adoption), 확산(diffusion)으로 구조화되며, 현재 시스템 엔지니어링(SE) 프로세스 모델은 제품 개발에 집중되어 있으며 이에 따라 제품이 획득 단계에서 운영 단계로 전환될 때, 즉 SE에서 ME로 넘어갈 때 마찰(friction)이 발생한다고 밝혔다. 그리고 이를 극복하기 위하여 정렬(alignment), 선견(forethought), 귀납(induction), 제한(limitation) 원칙이 적용되어야 한다는 결과를 도출했다[3].

미 해군도 유·무인 복합체계(MUM-T)를 포함한 미래 해군전력의 운용 개념을 수립하는 과정에서 임무공학을 적극적으로 적용하고 있다. 특히 2022년에는 미 해군대학원의 전문가를 통하여 유령함대의 핵심이 되는 중·대형 USV 운용을 위한 임무공학 방법론

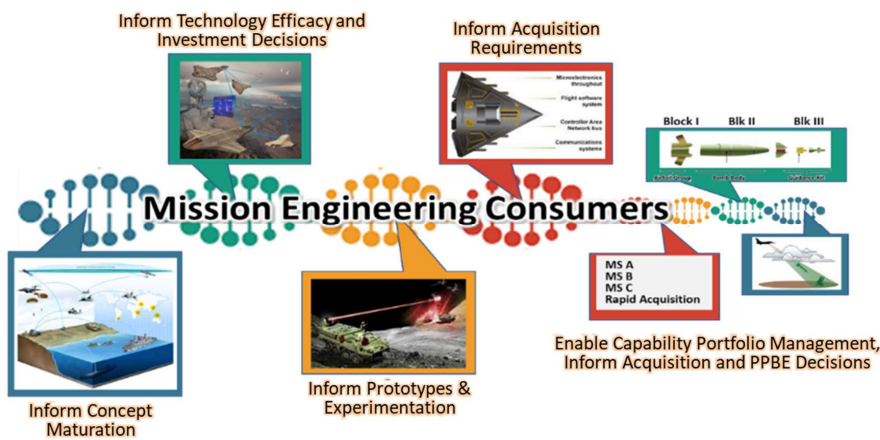


Fig. 1. Mission engineering consumers[1]

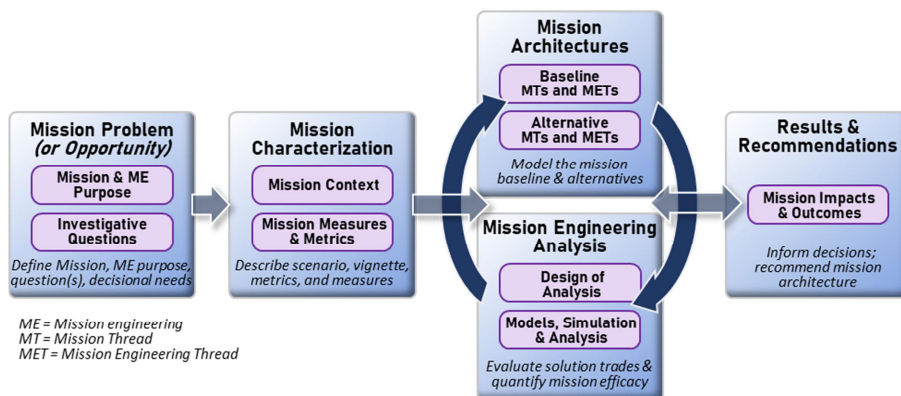


Fig. 2. Standard process and elements of mission engineering[2]

을 정립하고, 실질적인 작전 수행을 위한 기술적·운용적 요소를 분석하였다. USV의 다양한 임무 수행 시 고려해야 할 작전환경, 기술적 요구사항, 운용개념 등을 명확히 정의하여 실전적인 적용 방안을 제시하였다[4]. 또한 미 해군은 2025년을 목표로 한 유·무인 복합전력(hybrid force)의 임무공학적 설계 방안을 분석하였으며, 이를 통하여 유·무인 복합작전에서 USV의 역할과 임무 할당 과정, 유인체계와의 연계 운용개념을 도출하였다[5].

프랑스에서도 임무공학을 기반으로 한 UAV(무인항공기)의 설계 개념을 연구하였다. 이를 통하여 무인체계의 운용 개념을 설계할 때 단순한 성능 평가가 아닌, 특정 임무 수행을 위한 요구조건을 분석하고 이를 반영한 설계 과정이 필요함을 도출하였다[6].

국내에서는 육군 지상전에서의 MUM-T 운용개념에 대하여 임무공학을 적용하여 연구하였다. 육군의 지상전투에서 유·무인 복합체계를 적용하는 연구가 진행되었으며, MUM-T 개념을 적용하여 무인차량과 유인전력이 함께 작전을 수행하는 개념을 분석하였다[7]. 지상전과 해상전 간의 차이점이 존재하지만, 임무공학적 접근법을 활용하여 유·무인 복합전력의 역할을 분석한 연구라는 점에서 본 연구와 유사한 시사점을 제공한다.

3. 무인수상정 운용개념 정립을 위한 임무공학 적용 방안

3.1 운용개념 수립을 위한 임무공학 접근법

운용개념(CONOPS)은 특정 시스템이나 플랫폼이 작전 환경에서 어떻게 운용될지를 개념적으로 정의하는 문서이다. 수상전 전용 무인수상정의 운용개념을 정립하기 위해서는 임무공학(ME) 접근법을 활용하여 체계적으로 개념을 도출할 필요가 있다.

3.1.1 임무공학을 활용한 운용개념 수립 절차

임무공학을 기반으로 운용개념을 수립하는 절차는 다음과 같이 단계적으로 구성된다.

- 1단계: 임무 정의 및 목표 설정
 - 서해 작전환경에서 무인수상정(USV)의 주 임

무를 정의(핵심 임무: 북한의 공기부양정(고속상륙함) 기습 침투 대응; 부수 임무: 감시·정찰, 해상 차단, 해양 감시 등)

- USV가 수행해야 할 운용 목표(operation objectives)와 성능 요구사항 도출
- 2단계: 작전환경 분석을 통한 임무특성화
 - 서해의 지형적·기상적 특성(저수심, 강한 조류, 어망 밀집, 저시정) 분석
 - 북한 해군의 주요 위협 요소(공기부양정, 미사일 고속정) 파악
 - 기존 한국 해군 전력(유인 전력)과 USV 간 협업 가능성 평가
- 3단계: 미션 스톱드(MT) 및 임무공학 스톱드(MET) 도출
 - USV의 주요 임무 수행 과정을 미션 스톱드로 정리
 - 이를 기반으로 임무공학 스톱드를 적용하여 상세한 운용 절차를 정립(예: 탐지 → 식별 → 추적 → 차단 → 타격 → 평가 및 복귀)
 - 효과성 척도(MOE) 및 성능 척도(MOP)를 설정하여 운용개념의 타당성 분석
- 4단계: 개념 설계 및 시뮬레이션 기반 검증
 - 개념 설계 단계에서 전술적 운용 방안, 플랫폼 구성, 통신 체계 등을 정의
 - 시뮬레이션을 통해 운용개념의 실효성을 검토하고 개선점 도출

3.1.2 임무공학 기반 운용개념의 핵심 요소

임무공학 기반 운용개념의 핵심 요소는 Table 1과 같다.

3.2 임무 요구사항 및 운용목표 설정

운용개념(CONOPS)을 효과적으로 구현하기 위해서는 무인수상정(USV)의 임무 요구사항과 운용목표를 명확히 정의하는 과정이 필수적이다. 본 절에서는 공기부양정의 기습침투 저지를 위한 USV의 임무 요구사항을 설정하고, 운용목표를 구체화하여 실전 적

용 가능성을 극대화한다.

3.2.1 임무 요구사항 정의

임무 요구사항은 USV가 수행해야 할 핵심 기능과 이를 구현하기 위한 필수 성능 요소를 정의하는 과정이다. 이는 임무공학적 접근을 통해 도출되며, 시스템 설계 및 운용개념 정립에 중요한 역할을 한다. USV는 서해에서 북한 공기부양정의 기습침투를 탐지·추적·저지하는 역할을 수행해야 하며, 이를 위해 Table 2와 같은 요구사항이 도출된다.

3.2.2 운용목표 설정

운용목표는 임무 수행 시 USV가 달성해야 하는 구체적인 성과 기준을 정의한 것으로, 효과적인 시스템 개발과 운용을 위한 기준이 된다. 운용목표는 전략적,

작전적, 전술적 수준으로 구분되며, 각 수준에서 요구되는 목표가 다르다.

- 전략적 목표
 - 북한 공기부양정의 기습침투를 방지하여 서해 지역의 해양 안보를 강화한다.
 - 유·무인 복합체계(MUM-T)를 활용하여 미래 무인전력 기반 해양 작전 개념을 발전시킨다.
- 작전적 목표
 - 서해에서 공기부양정의 주요 침투 경로를 감시하고, 조기 탐지 및 대응 체계를 확립한다.
 - USV를 전진배치하여 유인 전력 대비 신속한 대응 및 지속적 감시 능력을 제공한다.
 - USV 간 네트워크를 구축하여 실시간 정보 공유 및 협력 작전 수행 능력을 향상한다.

Table 1. Key elements of concept of operations (CONOPS)

Element	Description	Example reflection in CONOPS
Mission objective	Define the core mission the USV must accomplish	Interdiction of high-speed surface craft (e.g., air-cushion vehicles, ACVs)
Operational environment	Analyze environmental factors relevant to the mission	Shallow waters, fishing nets, floating debris, reefs
Operational method	Method(s) of executing missions by USVs	Surveillance & reconnaissance, interdiction, stand-off engagement, neutralization
MUM-T link	Concept of manned-unmanned teaming operations	Data sharing & cooperation between manned vessels and USVs
Performance & effectiveness evaluation	Criteria to evaluate CONOPS	Detection success rate, interdiction success rate, survivability

Table 2. Mission requirements

Category	Mission requirement	USV operational impact
Detection/identification	Rapidly detect and identify hostile craft, discriminate civilian/friendly	Install EO/IR sensors and maritime radar, apply AI-based classification
Tracking & reporting	Automatically track detected targets and share real-time information	Apply AI-based automatic tracking and tactical data link
Interdiction & denial	Block hostile craft from reaching objectives, conduct stand-off engagement if required	Networked control and remote weapon systems
Autonomy & cooperation	Multiple USVs operate autonomously and cooperate with manned assets (MUM-T)	Implement manned-unmanned teaming (MUM-T)
Environmental adaptability	Operate stably in shallow/coastal waters with obstacles	Use low-noise propulsion and obstacle avoidance systems

- 전술적 목표
 - 탐지 성능: 공기부양정을 최소 10 km – 15 km 거리에서 탐지할 수 있도록 센서를 최적화한다.
 - 추적 능력: AI 기반 표적 식별 및 추적 시스템을 활용하여 90 % 이상의 정확도로 표적을 유지한다.
 - 차단 작전: 공기부양정 접근 시 3~5분 내 저지 작전을 개시할 수 있도록 신속 대응 체계를 구축한다.
 - MUM-T 연계: USV가 유인 함정, 해상초계기와 통합 운용될 수 있도록 표준화된 데이터 공유 체계를 구축한다.

요소가 결합된 독특한 작전환경을 갖고 있다. 이러한 요소들은 무인수상정 운용개념 수립에 중요한 영향을 미치며, 이를 고려한 최적의 운용방안이 필요하다 (Tables 3-5 참조).

3.4 미션 스펙트럼 및 임무공학 스펙트럼 도출

운용개념(CONOPS)을 효과적으로 정립하기 위해서는 미션 스펙트럼(MT)과 임무공학 스펙트럼(MET)를 활용하여 무인수상정의 임무 수행 과정을 체계적으로 분석해야 한다.

3.4.1 서해 작전환경에서의 USV 미션 스펙트럼

미션 스펙트럼(MT)는 특정 작전 임무를 수행하는데 필요한 주요 절차 및 정보 흐름을 시간 순서대로 정리한 일련의 과정을 의미한다. 전장 환경에서 USV가

3.3 작전환경 분석을 통한 임무특성화

서해는 지형적·해양적 특성과 북한의 군사적 위협

Table 3. Analysis of operational environment of West Sea

Factor	Characteristics	USV Operational Impact
Topography & depth	Shallow waters (≤ 5 m), scattered islands and reefs	Exploit USV mobility to overcome large-ship limitations
Waterway width	Variable channel width (6 m – 9 m)	Overcome strong currents and depth changes
Navigational obstacles	Many fishing nets, buoys, floating debris	Require optimized routes and autonomous navigation
Threats	High-speed surface craft intrusion (≥ 50 knots)	Require rapid detection and capability to match/exceed target speed
Night & weather	Frequent low-visibility conditions	Operate with multi-sensor suite (EO/IR, radar)

Table 4. Required missions for countering high-speed surface craft threats

Mission type	Detailed requirements	USV operational impact
Early detection & reporting	Detect hostile craft early and transmit alerts in real time	Install EO/IR, maritime surveillance radar, and auto-detection
Tracking & monitoring	Continuously track and predict routes of hostile craft	Apply AI-based tracking and route prediction algorithms
Interdiction & denial	Prevent hostile craft from reaching target areas	Deploy USV barrier formations for interdiction and denial
Stand-off engagement & neutralization	Neutralize threats if necessary	Install stand-off weapons (guns, guided weapons)
MUM-T operations	Cooperate with manned assets to share targeting data	Share real-time data via tactical data link

수행하는 주요 임무를 단계별로 정리하여 작전 흐름을 시각화하고, 임무별 필수 요소(센서, 무장, 통신 체계 등)와 각 단계에서 요구되는 성능 및 기능을 분석한다.

서해에서 북한 공기부양정(고속상륙함) 침투 대응 임무를 수행하는 USV의 미션 스펙트는 Table 6와 같이 정의할 수 있다. 이와 같이 MT를 적용하면 특정 임무 수행 절차를 단계적으로 정리할 수 있으며, 이를 기반으로 임무공학 스펙트를 확장하여 보다 정교한 분석이 가능해진다.

3.4.2 서해 공기부양정(고속상륙함) 대응을 위한 임무공학 스펙트

임무공학 스펙트는 미션 스펙트를 기반으로 각 임

무 단계에서 요구되는 운용요소, 기술적 성능, 시스템 간 상호작용 등을 추가 분석하는 접근법이다. MT가 작전 흐름을 정의한다면, MET는 작전 수행을 위해 요구되는 기술적·운용적 요소를 분석하는 과정이다. 이를 통해 임무 성공률을 높이기 위한 설계 개선 및 운용 최적화 방안을 도출할 수 있다.

서해 작전환경에서 USV가 수행해야 할 임무공학 스펙트를 도출하면 Table 7과 같다. MET 분석을 통해 각 임무 단계에서 요구되는 기술적·운용적 성능요소를 보다 명확히 정의할 수 있으며, 이는 USV의 설계 및 운용개념 개선에 중요한 역할을 한다.

3.4.3 성공척도 및 효과성·성능 척도 설정

운용개념(CONOPS)의 실효성을 검증하고 최적화

Table 5. USV performance requirements

Category	Required performance	USV operational impact
Detection range	At least 10 km -15 km	Install long-range EO/IR and maritime surveillance radar
Maximum speed	≥ 50 knots	Design to match or exceed hostile craft speed
Autonomy	Autonomous route planning and obstacle avoidance	Apply AI-based navigation and obstacle avoidance
Weapon options	Capable of mounting stand-off weapons	Apply remote weapon system
Network communication	Support manned-unmanned teaming	Build real-time data sharing via data link

Table 6. USV mission threads (MT)

Stage	Main MT content	Related functions
Surveillance	Detect surface and subsurface targets in assigned area	Surveillance radar, EO/IR sensors, AIS
Threat identification	Analyze detected target data and classify (hostile/friendly/civilian)	AI-based automatic recognition
Target tracking	Analyze speed, heading, and projected path of threats	Tracking algorithms, data fusion
Engagement decision	Decide engagement according to ROE and mission directives	AI decision-support system
Weapon operation	Execute stand-off attack (missiles, guns)	Fire-control system, weapon modules
Damage assessment & recovery	Assess battle damage and evaluate target status	Battle damage assessment system

하기 위해서는 성공척도(MOS) 및 효과성·성능 척도(MOE, MOP)를 설정해야 한다. 이를 통해, 무인수상정이 서해에서 북한의 고속상륙함(공기부양정) 기습 침투를 효과적으로 저지할 수 있는지 평가하고 개선할 수 있는 기준을 마련한다.

- 성공 척도(MOS) 정의 및 설정: 성공 척도는 무인수상정의 운용개념이 실제 작전에서 성공적으로 수행되었는지 평가하는 기준이다. MOS

는 단순한 성능 지표를 넘어, 작전 목표 달성 여부 및 임무 수행의 효과성을 평가하는 데 활용된다(Table 8 참조).

- 효과성 척도(MOE) 정의 및 설정: 효과성 척도는 무인수상정의 작전적 운용 개념이 실제 전투 효과를 발휘하는지 평가하는 지표로, 성공 척도(MOS)와 성능척도(MOP)를 연결하는 역할을 한다(Table 9 참조).

Table 7. USV mission engineering threads (MET)

Mission stage (MT)	Main requirements (MET Application)	Key considerations
Surveillance	Monitor large maritime areas and process real-time data	EO/IR sensors, maritime radar performance
Threat identification	Automatic classification of enemy/friendly and civilian vessels	AI-based data fusion
Target tracking	Continuous tracking of high-speed craft and route prediction	Low-altitude radar sensors, autonomous navigation algorithms
Engagement decision	Determine engagement options to prevent penetration	ROE application, AI decision-support
Weapon operation	Execute stand-off weapon engagement	Guided missiles, guns, data link
Damage assessment & recovery	Assess effects and decide follow-up actions	Real-time battlefield information sharing

Table 8. Success measures (MOS) for interdiction operations against high-speed surface craft in the West Sea

MOS item	Success objective	Evaluation criteria
Detection success rate	≥ 90 %	USVs detect and track targets accurately without omission
Interdiction success rate	Arrival rate of hostile craft to objective ≤ 10 %	USVs effectively block routes and prevent intrusion
Coordination effectiveness	Neutralization via MUM-T ≥ 80 %	Cooperation with manned vessels neutralizes threats
Operational sustainability	Redeployable within 24 hours	Rapid redeployment after mission completion

Table 9. Major measures of performance (MOP) for evaluating USV performance

MOP item	Performance objective	Evaluation criteria
Detection range	≥ 10 km – 15 km	Detect hostile craft at long range
Detection accuracy	≥ 95 %	AI-based recognition/detection accuracy
Tracking continuity	≥ 90 %	Continuous tracking and real-time transmission
Maximum speed	≥ 50 knots	Mobility comparable to hostile craft
Autonomous navigation	Obstacle avoidance success = 100 %	Avoid nets, buoys, debris
Comms & data latency	Real-time (≤ 1 s)	Stable network connectivity during MUM-T

- 성능 척도(MOP) 정의 및 설정: 성능 척도는 무인수상정의 하드웨어 및 소프트웨어가 요구 성능을 충족하는지를 평가하는 기준이다. 즉, USV의 설계 및 시스템 성능이 임무 수행에 적합한지 여부를 정량적으로 측정한다(Table 10 참조).
- MOS-MOE-MOP 연계성 분석: 성공 척도, 성능 척도, 효과성 척도를 유기적으로 연계하여, 각 지표가 어떻게 작전 수행과 성과 평가에 반영되는지 분석한다(Table 11 참조).

과정이다. 본 절에서는 임무공학적 접근을 바탕으로 USV의 운용개념 구조를 정립하고, 이를 바탕으로 세부 운용 방안을 도출한다.

3.5.1 무인수상정의 운용개념 구조

무인수상정 운용개념 구조는 전술적 운용 계층과 작전 수행 흐름을 포함하는 체계적인 개념으로 정의된다. 이를 통해 탐지-추적-차단-무력화-평가의 전 과정이 원활히 수행될 수 있도록 한다. 무인수상정의 운용개념 구조는 Table 12와 같이 전략적·작전적·전술적 계층으로 구성된다.

무인수상정 운용개념의 흐름은 공기부양정이 접근하는 경로를 조기에 탐지하고, 실시간 추적 및 차단 기동을 수행하며, 필요 시 원격 타격을 통해 저지하는 방식으로 운용된다. 이러한 단계적 흐름을 구체화하면 Table 13과 같다.

3.5 임무공학 기반 운용개념 설계

무인수상정(USV)의 운용개념(CONOPS)은 서해에서 북한의 고속상륙함(공기부양정) 기습침투를 저지하기 위한 작전 수행 방식을 체계적으로 설계하는

Table 10. Major measures of effectiveness (MOE) for evaluating USV operational effectiveness

MOE item	Operational effectiveness objective	Evaluation criteria
Response time	Intercept within 5 minutes after detection	Block before craft reaches coastal objective
Mission success rate	≥ 90 % of missions successful	Success across detect-track-interdict-neutralize
MUM-T cooperation	≥ 95 % success in manned-unmanned teaming	USVs and manned ships share data and cooperate in real time
Minimize collateral damage	0 % damage to civilians/friendly forces	No civilian/fishing facility damage during operations
Cost efficiency	≥ 50 % cost reduction vs. manned operations	Contribute to lowering operational cost vs. manned vessels

Table 11. Linkage of MOS-MOE-MOP

Link element	MOS (success measure)	MOE (effectiveness)	MOP (performance)
Detection	Detection success ≥ 90 %	Response time ≤ 5 min	Detection range ≥ 10 km – 15 km
Tracking & monitoring	Interdiction success ≥ 90 %	Tracking continuity ≥ 90 %	AI detection accuracy ≥ 95 %
Interdiction & defense	Penetration ≤ 10 %	Interception before arrival ≥ 95 %	Maximum speed ≥ 50 knots
Neutralization	Engagement success ≥ 80 %	MUM-T engagement success ≥ 95 %	Stand-off weapon integration ≥ 85 %
Sustainability	USV survivability ≥ 80 %	Redeployment within 24 hrs	Obstacle avoidance success = 100 %

Table 12. Hierarchical structure of USV CONOPS

Level	CONOPS concept	Main role
Strategic	Establish maritime defense with MUM-T-based operations	Defend against high-speed surface craft incursions in West Sea
Operational	Rapid interdiction operations using USVs in West Sea	Conduct continuous surveillance and interdiction
Tactical	Autonomous USV operations and cooperative missions	Execute phased detect-track-interdict-neutralize

3.5.2 유·무인 복합작전 개념 적용 방안

무인수상정이 서해에서 북한 공기부양정(고속상륙함)의 기습침투를 저지하는 임무를 효과적으로 수행하기 위해서는 유·무인 복합작전(MUM-T) 개념을 적용하는 것이 필수적이다. 본 절에서는 USV와 유인 전력 간의 협업 구조를 설계하고, 이를 운용개념에 통합하는 방안을 제시한다.

유·무인 복합작전이란 유인 전력(함정, 항공기, 지상부대)과 무인 전력(USV, UAV, UUV)이 상호 협력하여 작전을 수행하는 개념이다. 서해 작전환경에서 USV 단독 작전이 가지는 한계를 보완하기 위해서는 다음과 같은 MUM-T 개념이 필요하다.

첫째, 유인 전력의 의사결정 지원이다. 즉 USV가 탐지한 정보를 실시간으로 유인 지휘통제체계(command control center, C2)에 제공하여 정확한 작전 결정을 지원해야 한다.

둘째, 작전 대응력 강화이다. USV가 전진배치되어 탐지·추적을 수행하고, 필요할 경우 유인 전력이 지원하여 최적의 타격을 수행한다.

셋째, 생존성 향상이다. USV가 위험 지역에서 선제적으로 감시 및 차단 작전을 수행함으로써 유인 전력의 노출을 최소화해야 한다.

이러한 유·무인 협력 작전 수행을 위한 적용 방안은 ① USV 전진배치 감시 → ② 탐지 정보 공유 → ③ 유

인 전력과 협력하여 추적 및 차단 → ④ 원격 무력화 수행 → ⑤ 작전 종료 후 데이터 분석 및 재배치 등 5 단계로 진행된다. 그리고 USV가 유인 전력과 역할 분담을 통해 최적의 작전 효과를 달성할 수 있도록 USV와 유인 전력 간의 협력 구조는 Table 14과 같이 설계된다. MUM-T 기반의 협력 작전을 수행하기 위해서는 USV와 유인 전력 간 실시간 정보 공유 및 데이터 연계 체계 구축이 필수적이며, Table 15과 같이 구성하면 된다.

3.5.3 전장 상황 인식 및 네트워크 중심작전 적용 방안

유·무인 복합작전(MUM-T)에서 무인수상정(USV)이 효과적으로 운용되려면 전장 상황 인식(battle-field situational awareness) 능력과 네트워크 중심작전(NCW) 개념을 적용한 통합 작전 체계 구축이 필수적이다. 본 절에서는 USV가 실시간 전장 정보를 수집·분석·공유하는 방안을 정립하고, 이를 기반으로 네트워크 중심 작전을 적용하는 방안을 제시한다.

전장 상황 인식이란 작전 수행 중 실시간으로 변화하는 전장 환경을 인지하고, 이를 토대로 최적의 전술적 결정을 내리는 능력을 의미한다. USV는 서해에서 공기부양정의 기습침투를 저지하는 역할을 수행하며, 이를 위해 적 공기부양정의 실시간 탐지 및 경로 예측, 다수의 USV 및 유인 전력 간 전술적 정보 공유,

Table 13. Detailed concepts by operational phase

Operational phase	Details
Detection/identification	<ul style="list-style-type: none"> Use EO/IR sensors and sea monitor radar to detect hovercraft at a distance. Perform AI-based automated target recognition and threat assessment. Share data from detected targets with Command Control Center (C2) and manned power in real time.
Tracking & prediction	<ul style="list-style-type: none"> Using AI-powered automatic tracking systems to predict the direction and speed of the target's movement Continuous monitoring by multiple USV working together to encircle targets Analyze path blocking possibilities and deliver target data to blocked USV.
Interdiction/blocking	<ul style="list-style-type: none"> Stop the hovercraft from entering before it reaches the target area. Blocking type USV starts at high speed and obstructs the path of the hovercraft Disturb the communication and navigation systems of the hovercraft using electronic warfare(EW) equipment.
Stand-off engagement	<ul style="list-style-type: none"> Remote controlled weapons (guns, guided weapons) applicable. Perform multi-layered defense against hovercraft in collaboration with manned power. Automatically share strike points over a real-time network between USVs for effective engagement.
Post-mission data/improvement	<ul style="list-style-type: none"> Assessing the accuracy of detection, tracking, and blocking through operational data analysis Improve USV's automatic detection and tracking performance with AI-driven learning systems. Optimizing future operational concepts by reflecting actual operational data

서해의 복잡한 환경(저수심, 어망, 조류 등)에서 최적의 기동 경로 설정, 실시간 데이터 분석을 통한 전술 의사결정 지원 등에 대한 높은 수준의 전장 상황 인식 능력이 필요하다. 이를 위한 구성요소는 Table 16과 같다.

네트워크 중심 작전은 모든 전장 요소(센서, 플랫폼, 지휘통제체계)를 네트워크로 연결하여 실시간으로 데이터를 공유하고, 이를 기반으로 최적의 작전 결정을 내리는 개념이다. USV가 효과적인 NCW 환경에서 운용되기 위해서는 ① USV 전진배치 감시 → ② 데이터 수집 및 AI 분석 → ③ 실시간 네트워크 공유 → ④ 유·무인 협력 작전 수행 → ⑤ 작전 종료 후 데이터 피드백 및 재활용 등의 단계별 체계를 구축해야 한다.

NCW 개념이 적용된 USV 운용을 위해서는 실시간 데이터 공유 및 전술 의사결정 체계 구축이 필수적이다. USV 데이터 흐름 구조는 ① USV 센서 탐지 → ② AI 기반 표적 분석 → ③ 실시간 데이터 링크 공유 → ④ 지휘통제소(C2) 분석 및 전술 결정 → ⑤ USV 및 유인 전력 협력 작전 수행 등이다. 또한 USV-유인 전력 간 데이터 공유는 Table 18과 같이 이루어진다.

3.5.4 USV의 전술적 배치 및 작전 절차

무인수상정(USV)을 서해에서 북한 공기부양정(고속상륙함)의 기습침투를 저지하기 위해 효과적으로 운용하려면 최적의 전술적 배치 및 작전 절차의 정립이 필수적이다. 본 절에서는 USV의 배치 개념과 작전

Table 14. USV-manned force cooperation structure

Phase	Role of USV	Role of manned force	Cooperation method
Detection/identification	Forward deployment, EO/IR detection	Maritime patrol aircraft, radar assets	USV detection data transmitted in real time
Tracking & prediction	AI-based tracking	C2 conducts analysis and response planning	Use AI outputs to support engagement decisions
Interdiction	Preemptive interdiction and barrier operations	Naval/marine units conduct direct interdiction	Coordinate via cooperative networks
Engagement	Remote weapon operation	Guided missile/artillery engagement	Share targeting information, cooperative strike
Evaluation/feedback	Post-mission analysis, data feedback	C2 effectiveness evaluation & planning	Real-time sharing and wargaming

Table 15. Communication & data sharing system for MUM-T operations

Component	Function
USV network sensor system	Multi-USV real-time target information sharing
C2 data link	Relay data collected by USVs to C2 for analysis
Link with manned platforms	Share real-time data with ships and aircraft

Table 16. Key elements for battlefield situational awareness

Component	Function
Multi-sensor surveillance	EO/IR and radar-based wide-area surveillance
AI-based data analysis	Automatic classification and threat-level assessment
Autonomous network	Real-time USV-to-USV data sharing and collaboration
Manned force link	Cooperative operations with ships and aircraft

Table 17. USV network architecture for NCW application

Component	Function
Sensor network	Integrated EO/IR and radar-based surveillance
Data link	Real-time USV-to-USV data sharing linked to C2
Cloud-based data Analysis	AI-assisted target analysis and optimized command
Distributed C2 system	Build command networks for MUM-T operations

Table 18. Data sharing between USVs and manned forces

Data type	Role of USV	Utilization of manned force
Target detection data	Collect EO/IR and radar data.	C2 conducts threat analysis.
Real-time position data	Relay USV mobility and target movement.	Ships/aircraft support operations
Engagement orders & plans	AI-based interdiction route setting	C2 finalizes strike orders.
Post-mission feedback	Store and analyze battle data.	Evaluate effectiveness and improve operations

Table 19. Expected effects of applying NCW for situational awareness

Effect area	Details
Improved response speed	Real-time data sharing shortens the detection-to-response cycle.
Maximized MUM-T cooperation	Data linkage enables optimal execution of engagements.
AI-based operational automation	Threat-level analysis and optimal route planning support
Reduced operational costs	Efficient data utilization optimizes force employment.

절차를 구체화하여 실전 운용 방안을 도출한다.

서해의 지형적 특성(저수심, 조수간만 차, 어망 밀집)과 공기부양정의 침투 전술을 고려하여, USV의 최적 배치 개념을 정립한다. USV 배치 원칙은 첫째, 최전방 감시 및 조기 탐지 체계를 구축하는 것으로, 공기부양정이 기습침투하기 전에 조기 탐지할 수 있도록 NLL(북방한계선) 인근 및 주요 해안 접근로에 전진 배치한다. 둘째, 다층 방어망 구성으로, 탐지-추적-차단-공격의 다층 방어체계를 구축하여 공기부양정이 목표 해안에 도달하지 못하도록 차단한다. 셋째, 유·무인 협력 배치 분야로, USV가 전진배치되어 감시·차단을 수행하고 유인 전력과 협력하여 교전하는 것이다. 이들 원칙에 따른 배치 형태는 Table 20와 같다.

USV는 공기부양정의 침투를 탐지하고, 차단 및 무력화하는 일련의 작전 절차를 수행해야 한다. USV 작전 수행은 ① 전진배치 감시 → ② 공기부양정 탐지 및 추적 → ③ 실시간 데이터 공유 및 대응 계획 수립 → ④ 차단 기동 및 전술적 포위 → ⑤ 필요 시 원격

타격 수행 → ⑥ 작전 종료 및 피드백 분석 등의 단계로 이루어지며, 세부 운용 개념은 Table 21과 같다. 더불어 전술적 배치를 고려한 작전 지역 설정이 필요하며, USV 배치 구역 개념은 Table 22와 같다. 즉, 서해 작전환경에서 공기부양정의 주요 침투 예상 지역을 분석하여, USV의 전술적 배치를 최적화해야 한다.

3.5.5 USV의 전술적 기동 및 교전 전략

무인수상정(USV)이 서해에서 북한 공기부양정(고속상륙함)의 기습침투를 저지하기 위해 효과적으로 작전을 수행하려면, 최적의 전술적 기동 및 교전 전략을 수립해야 한다. 본 절에서는 USV의 기동 전략과 교전 방식, 다층 방어 개념을 적용한 작전 수행 방안을 구체화하여 실전 운용 능력을 최적화한다.

먼저 USV의 전술적 기동 전략으로 USV는 공기부양정의 기습 침투를 효과적으로 저지하기 위해 신속한 기동성과 기만 전술을 활용한 작전 수행이 필요하

Table 20. Types of USV deployment

Deployment type	Main mission	Operational concept
Fixed surveillance	Continuous monitoring of key infiltration routes	Persistent surveillance near coasts and ports
Patrol deployment	Patrol within designated operation areas	Wide-area search and multi-target detection
Interdiction deployment	Rapid deployment to block detected threats	Multiple USVs cooperate to block routes
MUM-T deployment	Conduct missions in cooperation with manned assets.	Real-time data sharing and cooperative operations

Table 21. USV operational procedures by phase

Phase	Main mission	Operational concept
Detection & identification	Early detection and alerting of hostile craft	EO/IR sensors, radar, AI-based recognition, C2 data sharing
Tracking & prediction	Predict hostile craft movement	AI-based tracking and path prediction, multi-USV cooperative operations
Interdiction & blocking	Prevent craft from reaching objective area	USV barrier formations, electronic warfare jamming of GPS/communications
Stand-off engagement	Neutralize target if required	Remote weapon systems (guns, guided weapons)
Post-mission assessment & redeployment	Analyze results, feedback, rapid redeployment	C2 data analysis, continuous redeployment

Table 22. Concepts of USV deployment areas

Area type	Main function	Deployment location
Forward surveillance	Early detection and real-time alerts	Near NLL, coastal infiltration areas
Interdiction area	Block and neutralize target movement	Coastal/high-threat infiltration points
MUM-T operational area	Cooperative final engagement with manned assets	Naval bases, major operational choke points

다. USV 전술적 기동 원칙은 다음과 같으며, 기동 유형은 Table 23와 같다.

- 고속 기동 및 회피 기동: 공기부양정(50노트 이상)의 속도를 고려하여 동등한 속도로 기동하면서 회피 기동 수행
- 분산 및 협력 기동: 다수의 USV가 분산 기동 후 집결하여 포위 및 차단하는 전술 적용
- 기만 전술: 전자전(EW) 장비 및 다중 USV 운용을 통해 적을 교란하며 유인 전력과 협력 작전 수행

USV의 교전 전략으로 USV는 단독 작전 또는 유·무인 협력 작전을 수행할 때 다양한 교전 전략을 활용하여 공기부양정을 효과적으로 무력화할 수 있어야

한다. USV 교전 원칙은 다음과 같으며, 교전 유형은 Table 24와 같다.

- 무력화 전술 적용: 공기부양정의 기동 능력을 저하시키는 전술을 최우선 적용
- 다층 교전 체계 구축: 탐지-차단-무력화의 다단계 교전 체계 활용
- 실시간 전술 데이터 공유: 교전 중 실시간 데이터 공유를 통해 최적의 전술 적용

더불어 다층 방어체계를 구축함으로써 USV 운용을 최적화해야 한다. USV가 공기부양정의 기습침투를 방어하기 위해서는 다층 방어체계를 구축하고, 이를 기반으로 전술 기동 및 교전 전략을 최적화해야 한다. 다층 방어체계 개념은 탐지 및 경보 → 차단 및 기

동 방해 → 원격 타격 및 무력화 → 유인 전력과 협력하여 최종 저지 등으로 구성되며, USV 작전 배치는 Table 25와 같다.

본 절에서는 USV의 전술적 기동 및 교전 전략을 구체화하여 작전 수행 능력을 최적화하는 방안을 정립하였다. 이를 통해 USV의 고속 기동 및 협력 기동을 활용한 최적의 작전 수행 방안을 수립하고 중성화 전술, 차단 및 기동 방해, 원격 타격 등 다양한 교전 전략을 정의하였고, 다층 방어체계를 구축하여 공기부양정의 기습침투를 효과적으로 방어하는 방안을 제시하였다.

3.6 시나리오(scenario) 및 비네트(vignette)

3.6.1 시나리오(scenario)

시나리오는 특정 임무가 수행될 작전환경, 시간, 적

위협, 우군 능력, 제약조건 등을 포괄적으로 묘사하는 고수준의 작전 상황 서술이다. 서술의 목적은 임무 수행 환경 및 조건 정리, 시스템 및 능력 요구사항의 배경 제공, 분석 모델 구축의 기반 설정 등이다.

서해 USV 운용개념 관련 시나리오는 다음과 같다. 북한 고속상륙함(공기부양정)이 야간을 이용해 서해 북방한계선 남쪽으로 침투를 시도한다. 한국 해군은 인근 도서 지역에 배치된 유인 함정과 함께 무인수상정을 전진 배치하여 사전 탐지 및 차단 작전을 수행한다. 작전 시 기상은 흐림, 조류는 남하 중이며, 수역은 저수심과 어망 밀집 구역으로 구성된다. 서해 USV 운용 시나리오는 Table 26와 같다.

3.6.2 비네트(vignette)

비네트는 하나의 시나리오 내에서 발생할 수 있는 세부 작전 상황 또는 특정 임무 수행 장면을 묘사한

Table 23. Types of USV maneuvering operations

Maneuver type	Description	Operational concept
High-speed interdiction	Intercept predicted infiltration route with rapid maneuver	Block before target reaches objective
Swarming & cooperative maneuver	Multiple USVs encircle and restrict target movement	Multi-directional cooperative interdiction
MUM-T maneuver	Conduct optimal maneuvers in cooperation with manned forces	Joint operations with naval assets

Table 24. Types of USV engagements

Engagement type	Description	Operational concept
Interdiction & denial	Physical barriers or maneuver-based interdiction	Prevent high-speed surface craft from reaching coastal objectives
Stand-off engagement	Direct engagement with remote weapons	USV weapons or in cooperation with manned forces
MUM-T engagement	Real-time joint engagement with manned assets	USVs designate targets, manned forces strike

Table 25. USV deployment for multi-layered defense

Defense area	Role of USV	Operational application
Forward surveillance	Detect and alert on incursions	EO/IR and radar surveillance
Interdiction area	Block and neutralize target movement.	High-speed interception and barrier maneuvers
MUM-T operation	Final engagement and neutralization	Cooperative strike with manned forces

짧고 구체적인 정황 예시로, 다시 말해 시나리오의 단편적 장면 또는 미션 단위 조각이다. 비네트를 작성하는 목적은 임무 수행 프로세스나 시스템 기능의 요구도출, 임무공학 스펙트(MET)나 CONOPS 상세 설계의 기반 제공, 시뮬레이션 또는 분석 모델링에 직접 활용 가능 등이다.

시나리오로 임무 환경을 구조화한 후, 여러 개의 비

네트를 추출하여 MET 설계, 요구사항 도출, 분석 기준 설정에 활용한다. 각 비네트는 MT의 입력으로 연결되며, 이를 통해 성능 및 효과성 척도 기반의 분석 모델 구축이 가능하다.

서해 USV 운용 시나리오에서 추출된 비네트는 Table 27과 같다. 시나리오와 비네트를 기반으로 한 임무공학 스펙트 도출 결과 및 MOP 연계 분석 지표

Table 26. West Sea USV operational scenario

Category	Scenario description
Scenario title	West Sea nighttime interdiction of high-speed surface craft
Operational environment	<ul style="list-style-type: none"> • Near NLL, 22:00-04:00 • No moonlight, 1 m waves • Shallow waters, many fishing nets and reefs
Enemy threats	<ul style="list-style-type: none"> • About 10 North Korean high-speed landing hovercrafts • 50 knots maximum speed, attempting to penetrate at night • Possible installation of some electronic/stealth equipment
Friendly forces	<ul style="list-style-type: none"> • 10 USVs: equipped with autonomous maneuvering and surveillance sensors • Control ship (1 guard or patrol ship): rear control and remote shooting support • Coastal surveillance radar and network interworking
Mission objective	<ul style="list-style-type: none"> • Early detection and interdiction • Prevent civilian damage, ensure discrimination • Execute multi-layered defense with MUM-T

Table 27. Vignettes and main tasks

Vignette	Title	Main Tasks
V1	Detection & situation awareness	<ul style="list-style-type: none"> • Two USVs detect target radar reflection signals in northern surveillance waters. • Check thermal images with EO/IR → Secure high-speed navigation. • Non-AIS-equipped, judged not to be a civilian ship
V2	Target identification & tracking	<ul style="list-style-type: none"> • AI classification algorithm automatically identifies the target vessel as a high-speed upstream definition. • Track mode transition, expected penetration route real-time propagation • Send shut-off manoeuvre commands to the control ship and the remaining 8 USVs.
V3	Civilian discrimination	<ul style="list-style-type: none"> • Two civilian fishing boats in waters two miles to the right • USV sends identification information to control ship after acquiring civilian ship information with laser lidar. • Re-routing the blocker boat
V4	Interdiction maneuver	<ul style="list-style-type: none"> • USV preoccupies the expected path of enemy hovercraft. • 50 knots per hour, front-facing approach • Automatically prepare combat maneuvering procedures when the enemy maintains a target sea channel.
V5	Engagement & neutralization	<ul style="list-style-type: none"> • Three enemy high-speed landing ships attempt to divert to the side of the right-wing control ship. • Three USVs in the area are moving to the cutoff position, and then they're remotely armed neutralization shooting. • Turn the remaining two enemy ships back, and decide to end the operation.
V6	Post-Engagement Assessment	<ul style="list-style-type: none"> • USV 1 lost communication and sensor error during engagement • C2 leads mission to bypass path • Review sensor calibration algorithm improvements by collecting all data after the end of the situation

는 Table 28, 시뮬레이션 입력 자료는 Table 29에 제시하였다.

3.7 시뮬레이션 및 개념 검증 방안

무인수상정(USV)의 운용개념(CONOPS)이 실전에서 효과적으로 적용될 수 있도록 시뮬레이션을 활용하여 개념을 검증하는 과정이 필수적이다. 본 절에서는 USV의 전술 기동 및 교전 전략을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 설계하고, 이를 통해 운용개념의 실효성을 검증하는 방안을 제시한다.

3.7.1 개념 검증을 위한 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델은 USV의 탐지-추적-차단-무력화 과정이 실제 작전환경에서 효과적으로 수행될 수 있는지를 검증하는 도구이다. 이를 통해 전술 운용개념의 타당성을 평가하고 최적화 방안을 도출할 수 있으며, 유·무인 협력 작전의 효과를 분석하고 실전 적용 가능성을 높이는 데 기여할 수 있다.

USV 운용개념 검증을 위한 시뮬레이션 모델은 서해 작전환경을 반영하여 공기부양정 대응 작전의 다양한 시나리오를 평가할 수 있어야 한다. 이를 위한

Table 28. MET-to-MOP linkage and indicators

MT phase	Vignette	USV functions	Supporting assets	Candidate MOPs
Detection	V1	EO/IR and radar monitoring, AIS check	C4I, maritime radar	Detection distance (km), detection time (seconds), detection rate (%)
Identification	V2, V3	AI-based recognition, civilian discrimination	Control Ship, AI, DB, TDL	Identification accuracy (%), enemy friendly discrimination (%) and false alarm (%)
Tracking	V2	Estimated path calculation, continuous tracking	TDL, autonomous navigation system	Tracking retention rate (%), target location update interval (seconds)
Interdiction	V4	High-speed maneuver, Send warning broadcasts	Cooperative USVs, C2	Block success rate (%), startup time (seconds), standby position accuracy
Engagement	V5	Remote armed fire, automatic evasive manoeuvre	Control ship, fire-control	Hit Accuracy rate (%), reaction rate (seconds), ammunition consumption
Assessment	V6	Report damage after engagement, analyze sensor logs	C2 server, DB	Data collection rate (%), analysis time (minutes), improvement feedback application rate

Table 29. Simulation input data

Category	Input data
Operational area	Near NLL waters (input coordinates)
Operational time	22:00-04:00, no moonlight, tidal currents present
Enemy forces	10 high-speed surface craft, max speed 50 kts, pre-set incursion routes
Friendly forces	10 USVs (50 kts, sensor-equipped), 1 control ship (C2, remote weapons)
Sensor model	Radar 10 km, EO/IR 4 km, AIS ON for civilian vessels
Communication range	USV-TDL 15 km, no satellite link (simulate denied satcom)
C2 structure	Control Ship C2 → USV, cooperative command and control
Simulation objectives	Early detection/interdiction success, prevention of civilian damage

모델 구성요소와 유형은 각각 Table 30, Table 31과 같다.

시뮬레이션을 통해 USV 운용개념을 검증하기 위한 표준 실행 절차를 ① 작전 환경 설정 → ② 공기부양정 위협 모델 적용 → ③ USV 운용 시나리오 구성 → ④ 탐지 및 추적 성능 평가 → ⑤ 차단 및 교전 효과 분석 → ⑥ 결과 평가 및 운용개념 최적화 등으로 정립한다. 주요 검증항목은 Table 32와 같다.

본 절에서는 USV 운용개념 검증을 위한 시뮬레이션 모델을 설계하고, 검증 절차 및 평가 기준을 정립하였다. 이를 통해 서해 작전환경을 반영한 실전적 시뮬레이션 모델을 구축하고, USV의 전술 기동 및 교전 능력을 정량적으로 평가할 수 있는 기준을 수립하며, 유·무인 협력 작전의 효과성을 분석하여 최적의 운용개념을 도출할 수 있도록 하였다.

3.7.2 시뮬레이션 결과를 바탕으로 한 운용개념 검증 및 개선 방안

무인수상정의 운용개념이 실전에서 효과적으로 적용될 수 있도록, 시뮬레이션 결과를 분석하여 개념을 검증하고 지속적으로 개선하는 과정이 필요하다. 본 절에서는 시뮬레이션 결과를 평가하여 운용개념의 유효성을 검증하고, 이를 바탕으로 개선 방안을 도출하는 방법을 정립한다.

USV 운용개념이 탐지-식별-추적-차단-무력화 과정에서 목표 성능을 충족하는지 평가해야 한다. 이를 위해, 시뮬레이션을 통해 수집된 데이터를 정량적으로 분석하고, 운용개념의 강·약점을 도출한다. 주요 평가 항목 및 기준은 Table 34와 같다.

시뮬레이션 데이터 분석 절차는 ① 시뮬레이션 수

Table 30. Simulation model components

Model component	Description
Environmental modeling	Reflects West Sea maritime environment (currents, fishing nets, shallow waters)
Enemy threat model	Reproduction of the movement patterns and surprise infiltration tactics of North Korea's hovercraft
USV performance model	Simulate USV's detection, maneuvering, and engagement capabilities
MUM-T cooperation model	Real-time data sharing and collaborative operations between USV and manned forces
Combat simulation	Evaluates operational effects across detect-ID-track-interdict-engage

Table 31. Types of simulation models

Type	Description	Purpose
Maneuver-level simulation	Evaluates individual USV operational capabilities	Performance analysis of detection-tracking-engagement
Mission-level simulation	Models multi-USV and manned cooperative operations	Verification of MUM-T operational effectiveness
Physics-based simulation	Evaluates sensor & weapon performance in environment	Validate actual sensor/weapon performance
AI-based simulation	Uses machine learning to optimize maneuvers	Enhance autonomous maneuvering & engagement

Table 32. Verification items and evaluation criteria

Verification item	Evaluation criteria	Description
Detection performance	Detection success $\geq 90\%$	Verify accurate detection of hostile craft.
Maneuver optimization	Interdiction success $\geq 90\%$	Evaluate whether USVs block routes effectively.
Engagement effectiveness	Neutralization success $\geq 80\%$	Verify neutralization with stand-off/kinetic weapons.
MUM-T effectiveness	Success in MUM-T operations $\geq 95\%$	Assess whether MUM-T executes defense effectively.

행 → ② 데이터 수집 → ③ 성능 분석 → ④ 운용개념 평가 → ⑤ 문제점 도출 및 개선안 수립 → ⑥ 재검증을 위한 시뮬레이션 반복 등으로 구성된다. 이에 따른 시뮬레이션 결과를 기반으로 운용개념이 실전에서 효과적인지 검증하는 과정은 다음과 같이 정립한다.

- 1단계: 탐지 및 식별 단계 검증
 - USV가 공기부양정을 조기에 탐지할 수 있는 거리와 정확도 평가
 - AI 기반 자동 탐지 시스템의 오탐 및 누락률 분석
 - 개선 방안: 센서 성능 향상 및 탐지 알고리즘 최적화
- 2단계: 차단 기동 검증
 - 다수의 USV가 협력하여 공기부양정의 침투 경로를 효과적으로 차단할 수 있는지 평가
 - 전자전(EW) 기법을 활용한 GPS 재밍 효과 분석
 - 개선 방안: 차단 기동 알고리즘 보완 및 전술적 기동 최적화
- 3단계: 교전 효과 분석
 - 원격 무기체계를 활용한 공기부양정 무력화 성

공률 평가

- 비살상무기(고출력 음파, 전자전 공격)의 작전 효과 검증
- 개선 방안: 원격 타격 정확도 향상 및 새로운 무력화 기법 개발
- 4단계: 유·무인 협력 효과 검증
 - USV와 유인 전력 간 데이터 공유 속도 및 통신 신뢰성 평가
 - 실시간 전술 협력의 효과 분석 및 전술적 협조 문제 도출
 - 개선 방안: 네트워크 안정성 향상 및 전술 교전 절차 개선

또한 시뮬레이션 결과를 분석하여 운용개념을 실전 환경에 맞게 지속적으로 최적화하는 방안을 도출한다(Table 35 참조).

운용개념을 지속적으로 발전시키기 위해 시뮬레이션 결과를 반영한 피드백 루프를 ① 시뮬레이션 결과 분석 → ② 문제점 도출 → ③ 개선 방안 수립 → ④ 수정된 운용개념 적용 → ⑤ 재검증 → ⑥ 실전 배치 최적화 등으로 구축한다. 이러한 피드백 루프를 통해 운용개념을 지속적으로 개선하고, 실전 배치 시 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 보장한다.

Table 33. Expected benefits of simulation model application

Expected Effect	Description
Optimized CONOPS	Improves feasibility and refines maneuvers.
Cost reduction	Reduces costs by testing scenarios before real operations.
Improved response	Enhances USV autonomy and engagement capabilities.
Optimized MUM-T ops.	Validates effectiveness of MUM-T cooperation.

Table 34. Major evaluation items and criteria

Item	Target criteria	Mission evaluation question
Detection performance	Detection success ≥ 90 %	Can USVs rapidly and accurately detect hostile craft?
Tracking continuity	≥ 90 %	Can USVs maintain continuous tracking?
Interdiction success	≥ 85 %	Can USVs block craft before coastal arrival?
Engagement effectiveness	Neutralization success ≥ 80 %	Can USVs eliminate threats effectively?
MUM-T cooperation	Success in MUM-T operations ≥ 95 %	Can USVs cooperate effectively with manned assets?
Operational sustainability	Redeployable within 24 hours	Can USVs be quickly replenished and redeployed?

Table 35. Optimization of operational concepts suitable for real-world environments

Division	Problem points	How to improve
Improved detection and identification performance	Limited detection range (reduced performance at night and in bad weather)	Apply multi-sensor fusion (EO/IR, radar)
	Lack of detection accuracy	Improving AI-based target recognition algorithms
Improved USV blocking and maneuvering strategies	Increased blocking failure rate during high-speed maneuvers of an inflatable float	Apply collaborative blocking techniques with multiple USVs
	Maneuvering restrictions due to obstacles (fishing nets, floats)	Enhanced real-time rerouting capabilities
Improved USV engagement effect	Lack of remote hitting accuracy	Optimization of strike guidance systems and development of new armaments
	prevention of friendly/civilian ship engagement	Strengthen the identification of friendly/civilian ships
	Avoid friendly/civilian ship engagements	Enhanced ability to identify friendly and civilian vessels
Optimization of manned/unmanned cooperation networks	Delay in data sharing speed	Network-centric operations (NCW)-based network optimization
	Real-time collaboration with manned power	Application of AI-based real-time tactical analysis and automatic command system

Table 36. Key elements from technical, operational, and tactical perspectives to assess practical applicability

Division	Evaluation items	Current status and applicability in real operations	Need for further research
Technical evaluation	Detection and identification performance	EO/IR, radar systems provide superior detection performance, AI enables automatic target detection	Needs improvement in adverse weather and night operations
	Autonomous maneuver and interdiction operation	AI enables path optimization and supports real-time evasive maneuvers	Further research on multi-USV cooperative maneuver algorithms
	Remote weapon system (RWS)	Remote-controlled weapons and non-lethal weapons applicable	Needs improvement in strike accuracy and new weapon development
Tactical evaluation	Manned-unmanned teaming (MUM-T)	Real-time data sharing with manned forces, cooperative operations capability	Requires improved tactical coordination and communication reliability
	Multi-layered defense system	Step-by-step response capability (detection - interception - neutralization)	Requires tactical optimization through field testing
	Operational endurance	Long-duration surveillance, rapid redeployment capability	Requires extended battery endurance and optimized maintenance
Operational evaluation	Operational cost-effectiveness	Expected cost savings vs. manned forces	Research required for optimizing initial development & operational costs
	Operational deployment feasibility	Effective operation in the West Sea environment	Legal/institutional review required for deployment

3.7.3 USV 운용개념의 실전 적용 가능성 평가

USV 운용개념의 실전 적용 가능성을 평가하기 위해 기술적, 작전적, 운용적 관점에서 주요 요소를 분석한다(Table 36 참조).

4. 결론

본 연구는 서해에서 북한 공기부양정(고속상륙함)의 기습침투를 저지하기 위한 수상전 전용 무인수상정 (USV)의 운용개념(CONOPS)을 임무공학(ME) 방

법론을 활용하여 정립하였다. 이를 위해 임무 요구사항 도출, 기술적 운용 구조 설계, 유·무인 복합작전 개념 적용, 시뮬레이션 검증 및 실전 적용 가능성 평가를 단계적으로 수행하였다.

이를 통하여 서해 작전환경을 고려하여 USV가 수행해야 할 주요 임무(탐지, 추적, 차단, 무력화)를 도출하고, 임무 스펙트럼(MT) 및 임무공학 스펙트럼(MET)을 분석하여 성공척도(MOS), 효과성 척도(MOE), 성능척도(MOP)를 정의하여 USV의 임무 수행 능력을 정량적으로 평가하기 위한 기준을 수립하였다.

또한 서해의 저수심, 어망 밀집 지역 등 작전환경을 반영한 USV의 기술적 운용개념을 정립하였다. 이렇게 도출한 USV 운용개념의 실효성을 검증하기 위해 기술 및 작전 시뮬레이션 모델을 구축하고, 운용개념 개선안과 실전 적용 가능성을 평가하였다.

이를 바탕으로, 향후 한국 해군의 무인수상정 운용개념을 발전시키기 위한 방향을 제시하고자 한다.

첫째, 북한은 공기부양정을 활용한 기습침투뿐만 아니라 무인체계 및 전자전 기술을 활용한 비대칭 전력을 강화하고 있어, 이에 대응하기 위한 USV 운용개념의 발전이 필요하다.

둘째, AI, 전자전(EW), 네트워크 중심 작전(NCW) 등의 기술이 발전함에 따라 무인수상정의 자율운용 능력 및 유·무인 협력 작전을 지속적으로 최적화할 필요가 있다.

셋째, 향후 미 해군 등 연합군과의 협력 작전 수행 가능성을 고려한 운용개념 발전이 필요하다.

이를 기반으로 정책적·제도적 측면에서 USV 운용

교리 발전, 법·제도 정비, 연합작전 및 국제협력 확대, 실전 운용 검증을 위한 노력을 배가하여야 한다. 또한 작전적 측면에서는 유·무인 복합작전(MUM-T) 최적화, 기술적 기동 최적화, 네트워크 중심 작전(NCW) 강화를 수행해야 한다. 한편 기술적 측면에서는 다중 센서 융합, AI 자율운용, 전자전 대응력 강화를 추진해야 한다. 이러한 발전 방향을 지속적으로 연구하고 적용함으로써 한국 해군의 무인수상정 운용개념을 실전적으로 최적화하고 미래 해상작전에 대비할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] US DoD, "Mission Engineering Guide," 2020.
- [2] US DoD, "Mission Engineering Guide Version 2.0," 2023.
- [3] Alejandro S. Hernandez, "Characterizing Integration Challenges in Mission Engineering to Form Solution Strategies," *Systems Engineering*, pp. 1-15, 2022.
- [4] Raffianne N. Doyle, "Mission Engineering Methodology for Realization of Unmanned Surface Vessel Operations," Naval Postgraduate School, Monterey, California, September 2022.
- [5] Jeremy J. Brown, "Mission Engineering for Hybrid Force 2025," *Naval Engineers Journal*, No. 135-1, pp. 141-153, March 2023.
- [6] Jean-charles Chaudemar, "Mission-based Design of UAVs," *Systems Engineering*, pp. 1-19, 2024.
- [7] Seunghyeon Hwang, "A Study on the Application of Mission Engineering for Creating a Ground Combat MUM-T Operational Concepts," *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, Vol. 31, No. 1, pp. 67-79, 2024.