

석사학위논문

미래 해양전에 부합한 AI 기반  
해군 유무인 복합전투체계 발전방안 연구

2026년

한성대학교 국방과학대학원

국 방 전 력 학 과

국 방 A I 융 합 전 공

박 현 수



석사학위논문  
지도교수 양병희

# 미래 해양전에 부합한 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전방안 연구

A study on the Development of an AI-based Naval  
Manned-Unmanned Teaming Combat System Aligned  
with Future Maritime Warfare

2025년 12월 일

한성대학교 국방과학대학원

국 방 전 력 학 과

국 방 A I 융 합 전 공

박 현 수

석사학위논문  
지도교수 양병희

# 미래 해양전에 부합한 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전방안 연구

A study on the Development of an AI-based Naval  
Manned-Unmanned Teaming Combat System Aligned  
with Future Maritime Warfare

위 논문을 국방전력학 석사학위 논문으로 제출함

2025년 12월 일

한성대학교 국방과학대학원

국 방 전 력 학 과

국 방 A I 융 합 전 공

박 현 수

박현수의 국방전력학 석사학위 논문을 인준함

2025년 12월 일

심사위원장 김 흥 빈 (인)

심 사 위 원 김 형 석 (인)

심 사 위 원 양 병 희 (인)

## 국 문 초 록

# 미래 해양전에 부합한 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전방안 연구

한성대학교 국방과학대학원  
국 방 전 력 학 과  
국 방 A I 융 합 전 공  
박 현 수

본 연구는 인공지능(AI) 기술발전과 해전 환경의 복잡성·불확실성 증대에 대응하여 미래 해양전에 대응하여 대한민국 해군이 지향해야 할 유무인 복합전투체계 (Manned-Unmanned Teaming, MUM-T) 발전방안을 구체적으로 제시하는 것을 목적으로 한다. 특히, 본 연구는 유무인 복합전투체계를 단순한 무인전력 확충의 관점이 아닌, AI를 기반으로 해군 전투체계 패러다임 전환의 문제로 인식하고 이를 Frame Work를 통해 체계적으로 분석하였다. 먼저, 유무인 복합전투체계의 개념 및 발전 과정을 고찰하고 주요 해군 강국(미국·중국·영국)의 정책 및 기술 동향을 비교하여 우리에게 주는 시사점을 분석하였다. 또한, AI 기술발전이 초래할 미래 해양전 양상을 분석하여 지능형 전투체계의 도입이 해양전 수행 개념 전반에 미치는 영향을 규명하였다.

미래 해양전은 전장 분산화, 자율 협업작전 확대, 데이터 중심 전력구조 전환, 지능형 지휘통제(C2) 체계 강화가 핵심요소로 나타났다. 이에 따라 대한민국 해군이 미래 해양전에 효과적으로 대응하기 위해 단계적 자율성

(Autonomy Level) 수준 확보, 표준화된 데이터 기반 통합 전투체계 구축, 민·군·산·학 연계된 기술협력 생태계 구축·형성이 필수 요소임을 도출하였다. 또한, 대한민국 해군의 무인체계 개발 현황과 기술 성숙도를 평가하였다.

본 연구는 대한민국 해군 무인체계 개발 현황을 기반으로 AI 기반 유무인 복합전투체계 운용개념 제안, 2025~2040년을 범위로 전력화 로드맵, 그리고 기술·전략/작전·정책적 영역을 포괄하는 구현 전략을 단계적으로 제안하였다. 이는 향후 해군 전력기획 및 국방 연구개발 투자 전략 수립에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[주요어] 유무인 복합전투체계(MUM-T), 미래 해양전, 인공지능(AI), 인간-기계 협력, 분산해양작전, 해군 전력발전, 지능형 지휘통제

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 1 절 연구의 배경 및 필요성 .....	1
제 2 절 연구의 범위 및 방법 .....	4
제 2 장 이론적 배경 및 개념적 틀 .....	5
제 1 절 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 개념과 발전 과정 .....	5
제 2 절 해양전에서 인공지능 적용 개념 .....	13
제 3 절 핵심 AI 기술요소 및 개념 .....	19
제 4 절 인간-기계 협업(Human - Machine Teaming, HMT) .....	23
제 5 절 분석의 틀(Analytical Framework) .....	26
제 3 장 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전 동향 분석 .....	32
제 1 절 미국의 발전 동향 .....	32
제 2 절 중국의 발전 동향 .....	39
제 3 절 영국의 발전 동향 .....	43
제 4 절 국가별 비교분석 .....	46
제 4 장 AI 기술 발전 추세와 미래 해양전 양상 .....	51
제 1 절 AI 기술 발전의 주요 추세 .....	51

제 2 절 AI 기술 발전이 초래할 미래 해양전 양상 .....	56
제 3 절 AI 기반 해양전의 핵심 변화 요소 .....	60
제 4 절 미래 해양전의 양상의 주요 변화 .....	62
<b>제 5 장 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전방안 .....</b>	<b>66</b>
제 1 절 해군 무인체계 개발 현황 및 시사점 .....	66
제 2 절 미래 해양전 유무인 복합전투체계 운용개념 .....	68
제 3 절 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 로드맵 .....	76
제 4 절 해군 유무인 복합전투체계 구현 방안 .....	79
<b>제 6 장 결론 .....</b>	<b>96</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>99</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>103</b>

## 표 목 차

[표 2-1] 유무인 복합전투체계 발전단계별 주요 특징 .....	9
[표 2-2] AI 기반 유무인 복합전투체계 분석체계 .....	26
[표 3-1] 국가별 AI 기반 유무인 복합전투체계 발전동향 비교분석 ..	49
[표 4-1] 기존 해양전과 AI 기반 미래 해양전 비교 .....	61
[표 5-1] 대한민국 해군 무인체계 개발 현황 및 시사점 .....	67
[표 5-2] AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전 로드맵 .....	77

## 그 림 목 차

[그림 1-1] 해양 유무인 복합전투체계(MUM-T) 기본 개념도 .....	3
[그림 2-1] 해양 유무인 복합전투체계 개념도 .....	7
[그림 2-2] 무인전력지휘통제함 모형 .....	7
[그림 2-3] 국방 AI 단계별 발전모델 개념 .....	9
[그림 2-4] AI 기반 수상 감시정찰 및 전투 임무 .....	14
[그림 2-5] 군집 무인수상정 운용기술 .....	15
[그림 2-6] 센서융합 개념도 .....	21
[그림 3-1] 미 해군 유령함대 세부전력(안) .....	34
[그림 3-2] Project Overmatch 개념도 .....	37
[그림 4-1] 지능항해 시스템 개념도 .....	52
[그림 4-2] NavyX MADFOX 프로젝트 .....	53
[그림 4-3] 미 'Project Maven' .....	54
[그림 4-4] 군집드론 중심의 유무인 복합전투체계 기술 운용 개념도	55
[그림 5-1] Sea Sward-II .....	67

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구의 배경 및 필요성

21세기 들어 해양 전장은 인공지능(AI), 빅데이터, 자율주행, 네트워크 중심전(NCW) 등 첨단기술의 융합에 의해 급격하게 변화하고 있다. 특히 해양작전 환경은 광범위한 공간적 범위와 제한된 인적 자원, 그리고 복잡성이 특징이며 이러한 특성은 인간 중심의 전통적 지휘·통제 체계로는 미래 해양전의 빠른 변화에 대응하기에 한계점이 존재한다.

따라서, 세계 해군은 유무인 복합전투체계(Manned-Unmanned Teaming, 이하 MUM-T) 개념을 중심으로 AI 기반의 자율운용 기술을 적극적으로 도입하고 있다. AI 기술의 발전은 단순한 자동화 수준을 넘어 자율적 판단과 협업적 임무 수행이 가능한 전투체계를 현실화하고 있다. 특히, 무인수상정(USV), 무인잠수정(UUV), 무인항공기(UAV) 등 다양한 무인 플랫폼이 함정과 연계하여 작전하는 ‘네트워크 기반 자율전’(Autonomous Networked Warfare)의 개념이 가속화되고 있다.

이러한 변화는 인명 손실 최소화, 작전 효율·효과성 확대, 전력 운용의 유연성 증대라는 세 가지 측면에서 해군 전력구조의 근본적 변화를 촉진하고 있다. 특히, 해양 전장은 광대한 작전 범위, 복잡한 해양환경, 제한된 탐지·통신 능력 등으로 인해 지상·공중 영역보다 자율적 운용의 필요성이 더욱더 증대하다. 함정 간 통신이 제한되고 실시간 위협대응이 요구되는 전장환경에서는 인간의 인지·판단 속도만으로는 대응이 제약되는 부분이 많다. 이러한 특징으로 AI 기반 자율운용체계의 도입은 해군 작전의 필수 요건으로 자리 잡고 있다.

현재 미국 해군은 Project Overmatch<sup>1)</sup>와 Ghost Fleet Overlord<sup>2)</sup> 프로그램

램을 통해 AI 기반 유무인 협업체계를 발전시키고 있으며 중국 또한 “스마트 해군(Smart Navy)” 구상 하에 자율수상정·자율잠수정 개발에 국가적 역량을 집중하고 있다. 영국의 NavyX 프로젝트와 일본의 해상자위대 자율운용 연구도 유사한 방향성을 보인다. 이러한 세계적 흐름은 AI 기반 해양 전투체계의 네트워크화·자율화·통합화라는 세 가지 기술 축을 중심으로 가속화되고 있다.

대한민국 해군 또한 유무인 복합전투체계(별칭 : Navy Sea GHOST)의 개념적 모델 정립과 도입을 주요 과제로 설정하고 차세대 구축함(KDDX), 해상무인체계 통합운용체계(MUMS), AI 전투체계 연구 등을 통해 단계적 발전을 시도하고 있다. Navy Sea GHOST는 미래 해양전 양상 변화에 대응하기 위해 유무인 플랫폼, 지능형 센서, 전장 네트워크, AI 기반 지휘통제체계가 연동되는 한국형 통합 개념모델이다. Navy Sea GHOST는 인공지능 기반 상황인식(AI-SA), 실시간 센서융합(Fusion-COP), 다중 플랫폼 지휘통제(C2AI) 및 자율성 수준(AL: Autonomy Level)의 단계적 고도화를 통해 2025~2040년 한국형 해군의 미래전력 발전을 체계적으로 안내하는 개념적 지휘·전력 프레임 워크로 기능한다. 즉, 이는 단순 기술 시스템이 아니라 전투개념(Concept of Operations), 전력구조(Force Structure), 기술·조직·정책 로드맵을 포괄하는 총체적 전투체계 모델로서, 대한민국 해군이 지향해야 할 지능형 해양전투체계(Intelligent Maritime Combat System)의 청사진을 구성한다. 그러나 여전히 한국 해군은 자율운용 수준, 시스템 통합성, AI 신뢰성, 법·윤리적 제도 기반 등은 초기 단계에 머물러 있다.

이에 본 연구는 AI 기반 유무인 복합전투체계의 발전 추세를 분석하고 한국 해군의 유무인 복합전투체계 미래 발전 방향을 제시하는 데 목적을 둔다.

- 
- 1) Project Overmatch는 U.S. Navy가 다영역 지휘통제(Joint All-Domain Command and Control, JADC2) 개념을 해군에 적용하기 위해 추진한 프로그램으로, 해상·공중·지상·우주·사이버 영역을 통합한 네트워크 전력을 구현하기 위한 주요 노력이다.
  - 2) Ghost Fleet Overlord는 미 해군이 대형 무인수상정(USV)을 실험·운용하기 위해 전략역량실국(Strategic Capabilities Office)과 협력하여 수행한 연속 자율해상체계 사업이다.

본 연구의 학문적 의의는 다음과 같다.

첫째, 해군 유무인 복합체계의 발전을 단순 무인기술 관점이 아닌 AI 중심 전투체계 패러다임 전환으로서 해석하였다.

둘째, 해외 선진국의 구체적 사례를 통해 기술 발전과 전략적 운용의 상호작용을 분석함으로써 해군 AI 전력화의 실질적 방향성을 제시한다.

셋째, 국내 해군의 기술개발 및 정책 추진에 필요한 구체적 로드맵 수립을 위한 기초 연구 자료로 활용될 수 있다.

본 연구는 AI 기술이 주도하는 미래 해양 전장의 구조적 변화를 학문적으로 탐구하고 AI 기반 해군전력 발전의 전략적·정책적 방향성을 제시하는 종합적 분석 연구를 목표로 한다.



[그림 1-1] 해양 유무인 복합전투체계(MUM-T) 기본 개념도

3) 해양 유무인 복합전투체계(MUM-T, Manned-Unmanned Teaming)는 인공지능(AI)과 초연결 네트워크를 기반으로 수상함, 잠수함 등 유인 전력과 무인수상정(USV), 무인잠수정(UUV), 무인항공기(UAV)와 같은 무인 전력을 통합 운용하는 체계이며 대한민국 해군은 이를 '네이버 씨 고스트(Navy Sea GHOST)'로 명명하여 추진하고 있다.

## 제 2 절 연구의 범위 및 방법

본 논문의 핵심 연구범위는 대한민국 해군 전력체계 중 유무인 복합전투체계(MUM-T)를 중심으로 첫 번째는 기술적 차원에서 AI 알고리즘, 자율운항, 센서 융합, 데이터 링크, 지휘·통제(C2)체계 등 전투체계의 기술 구성요소에 대해서 분석하고 AI 기술의 발전이 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T)에 미치는 영향을 제시하였다. 특히, 자율항법, 상황인식, 협업의사결정, 인간-기계 협력(Human-Machine Teaming) 등 핵심기술이 어떻게 해양작전 체계와 융합되는지를 분석한다. 두 번째는 전략·작전적 차원에서 MUM-T의 전술적 가치, 인간-기계 협력(HMT) 구조, 다영역 통합작전(Multi-Domain Operations)에 대해서 주요 해군 강국(미국, 중국, 영국 등)의 MUM-T 발전 사례를 비교·분석하여 기술적 진화와 운용개념의 차이를 도출하였다. 이를 통해 각국이 AI 기반 전투체계를 통해 달성하고자 하는 전략적 목표를 식별하고 우리에게 주는 함의를 평가하였다. 세 번째는 정책적 차원에서 제도·윤리적 문제, 국방산업 연계, 기술협력체계 구축에 대해서 대한민국 해군의 현황과 문제점을 진단하고 향후 발전 방향과 정책적 시사점을 제시하였다. 특히, 유무인 복합전투체계 발전 로드맵, 인력 및 조직구조, 제도·윤리적 체계 확립 등 현실적 방안을 제안하였다. 연구 대상은 해군을 중심으로 하되, 육·공군에서 운용 중인 유무인 복합전투체계 사례를 참고하였다. 시간적 범위는 2010년 이후 본격화된 AI 기반 해군 무인체계 연구를 중심으로 2040년까지의 중장기 발전 전망을 포함하였다.

본 연구는 정성적 연구방법(Qualitative)을 기반으로 문헌분석<sup>4)</sup>, 사례연구, 비교분석(Comparative Analysis)의 3중 방법론을 적용하였다. 첫 번째 문헌분석은 국내·외 학술논문, 군사연구보고서, 정부·방산기관 백서,

---

4) 문헌분석 대상은 국내·외 학술논문, 군사연구기관 보고서, 정부 및 방산기관 백서, 정책자료 등이며 미 해군의 “Unmanned Campaign Framework” 자료가 있다.

정책자료를 검토하였으며 두 번째 사례연구는 미국, 중국, 영국 등 주요국의 MUM-T 발전 프로그램을 분석하였다. 세 번째 비교분석은 각국의 기술 수준, 운용개념, 정책 방향을 기술·전략적 측면에서 비교하였다.

## 제 2 장 이론적 배경 및 개념적 틀

본 연구에서는 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 개념과 발전 과정에 대해서 알아보고, 해양전에서의 인공지능 적용 개념·활용 범주와 관련 기술요소 및 핵심개념을 분석하여 해군 유무인 복합전투체계의 발전을 분석하기 위해 기술·전략·정책 3차원 분석 틀을 설정하였다.

### 제 1 절 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 개념과 발전 과정

#### (1) 해양 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 개념

유무인 복합전투체계(Manned-Unmanned Teaming)는 유인전력과 무인전력이 해양에서 AI, 초연결, 초지능을 기반으로 효과적으로 통합 운영되어 네트워크를 통해 상호 보완적으로 작전·임무를 수행하는 체계를 의미한다. 즉, 인간의 전략/고차원적 판단력·상황판단능력과 무인체계의 신속성·지속성·위험지역 작전 가능성을 결합하여 작전 효율성을 극대화하는 작전개념이다.

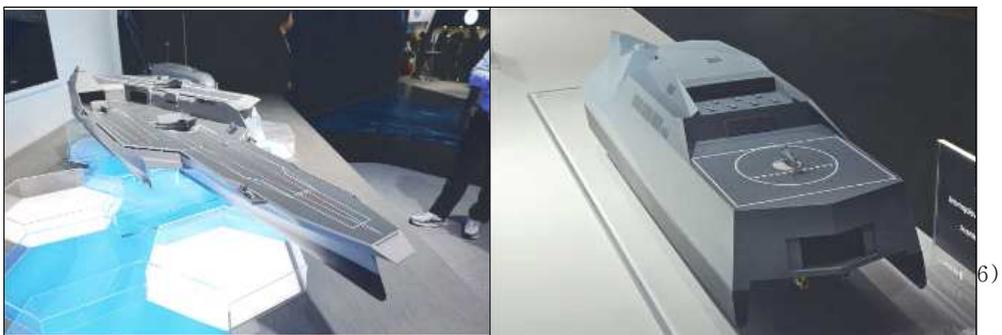
무인전투체계의 운용목적은 정찰·감시 능력을 강화하고 표적획득 및 타격능력을 확대하며 전투원 생존성 강화를 위해 수색·정찰 및 폭발물 처리 등 위험한 임무를 대신하는 것이다. 무인체계는 무인수상정, 무인잠수정 등 특정 전장환경에서 기존 유인 전투체계와 무인 전투체계를 네트워크로 통합하여 전투 효율성을 극대화하고 인명피해 최소화 및 인력 절감 등 기존 인간 위주의 전투체계 운용의 제한사항을 보완하는 것이다.

무인 전투체계 통제소는 유인 함정, 항공기, 해안, 도서에 고정식 또는 이동식으로 위치하며 무인 전투체계 탑재, 발진 및 통제를 기능으로 하는 무인 전투체계 통제함을 포함한다.



[그림 2-1] 해양 유무인 복합전투체계 개념도

해양 유무인 복합전투체계에서 유인 전력은 인간이 탑승하여 조종하는 수상함, 잠수함 또는 항공기로, 무인 전력은 하지 못하는 판단과 결심, 우발상황(사고처치)에 대한 대응을 하며 안전과 생존을 보장하기 위해 주로 적 세력과 멀리 떨어져 지휘통제와 화력지원을 맡는다. 무인 전력은 인간의 탑승이 불필요한 무인수상정(unmanned surface vehicle, USV), 무인 잠수정(un-manned underwater vehicle, UUV), 무인항공기(un-manned aerial vehicle, UAV)로 유인전력의 통제 아래 자율화 수준에 따라 제한된 판단과 행동을 한다. 주로 적 세력 가까이 전개하여 감시·정찰과 근접 전투 임무를 수행한다.



[그림 2-2] 무인전력지휘통제함 모형

5) 지휘 플랫폼(유인)과 임무 수행 플랫폼(무인)이 AI·네트워크로 연결된 다계층 구조로 구성

6) 출처 : MADEX 2025, 한화오션(원), HD현대중공업(오)

유무인 복합전투체계(MUM-T)의 핵심은 ‘유인-무인 간 협력(Collaborative Operation)’이며 이는 단순한 원격조종(Remote Control) 수준을 넘어 자율적 판단 기반의 분산협업체계(Distributed Cooperative System)로 발전하고 있다.

해양 유무인 복합전투체계는 AI를 활용해 각 플랫폼이 자율적으로 임무를 분담하고 센서 데이터를 실시간으로 공유하며 인간 운용자 또는 지휘관은 이를 종합하여 전략적 결정을 내린다. 따라서 MUM-T는 ‘인간이 AI를 지휘’하는 체계가 아니라 ‘인간과 AI가 협력적 결정을 내리는 체계’로 발전하고 있다.

## (2) 해양 유무인 복합전투체계(MUM-T) 발전 단계

2025년 정부는 국방중점 ① 국방개혁추진(AI 기반 첨단 방위역량 확보) ② 남북간 군사적 긴장 완화조치 ③ 한미 국방협력 강화 ④ K방산 수축 및 협력 확대 ⑤ 군인복무 여건 및 처우개선을 주요 과업으로 선정하였다. 이에 따라 정부는 국방운영 전략의 중심을 인공지능 기술과 첨단 무기체계의 융합에 두고 있으며, 이는 전투원의 생존성을 제고하고 작전 수행 능력을 극대화하는 방향으로 나아가고 있다. 특히, 국방운영 중점 핵심은 “AI 기반 유무인 복합전투체계 고도화”이며 정부는 이를 구체화하기 위해 '25년 9월부터 '26년 6월까지 국방개혁 기본계획을 수립중에 있다.

「AI 기반의 유·무인 복합 전투체계」를 과학기술 발전 속도에 맞게 전투현장에 드론, 로봇 등을 활용하여 전투원 인명 손실을 최소화하도록 단계적으로 원격제어(~'25년), 반자율('25~'27년), 자율형('28년~)으로 발전시키겠다고 했다.

현재 운용·개발 중인 무기체계는 주로 직접통제, 원격통제형이나 과학기술 발전에 따라 원격통제형-반자율형(보조협력-협업운용)-자율형의 단계로 발전할 것이다. MUM-T의 발전은 다음 네 단계로 구분된다.

[표 2-1] 유무인 복합전투체계 발전단계별 주요 특징

구분	단 계	주요 특징
1단계	원격 운용(Remote Operation)	인간이 무인체계를 조종, 제한적 통신 의존
2단계	보조 협력(Aided Teaming)	무인체계가 일부 자율 기능 수행, 인간의 지휘 보조
3단계	협업 운용(Collaborative Teaming)	인간과 무인체계가 실시간 정보 공유 및 임무 분담
4단계	자율적 분산 운용(Autonomous Swarming)	AI가 자율판단으로 협력 임무 수행, 인간은 전략적 의사결정에 집중



[그림 2-3] 국방 AI 단계별 발전모델 개념

유무인 복합전투체계는 과학기술 발전 수준, 전력화 가능 시기, 예산 가용성 등에 따라 원격통제형 중심, 반자율형 시범, 반자율형 확대 및 자율형 전환으로 발전할 것이다. 원격통제형 체계는 사람이 무인 전투체계를 조종(1:1)하는 방식으로 작전 효율을 높이기 위해 무인 전투체계를 보조 수단으로 운용한다. 해양에서 무인 전투체계는 주로 유인 전력에 탑재하여 유인 전력의 통제 아래 전투·정보수집 임무를 수행한다.

현재 해양정보함과 정보함 UAV(회전익)를 복합체계로 운용하고 있으며

7) 출처: “AI 기반 첨단 군사력 건설”, 육군대학 정책관리과정 교육자료('25.11.), 양병희 명예교수

앞으로 다양한 해·육상 통제소에서 다양한 무인 전투체계를 통제할 것이다. 반자율형 유무인 복합전투체계<sup>8)</sup>는 AI 기술이 적용되어 무인 전력이 사람의 판단 기능을 제한적으로 대체한다. 해양에서 무인 전투체계는 유인 전력 통제 아래 반자율 기동으로 작전임무를 수행한다.

먼저 소해함이 수중 자율기뢰탐색체(autonomous underwater vehicle, AUV), 소모성 기뢰제거처리기, 기뢰전 USV와 복합체계를 이를 계획이다. 기뢰대항작전 수행 시 기뢰전 무인 전투체계(UUV·USV)를 운용함으로써 현재 소해함과 무인기뢰처리기(mine disposal vehicle, MDV), 폭발물처리팀(explosive ordnance disposal, EOD)이 수행하는 기뢰탐색 및 기뢰소해 위험과 임무 소요시간을 최소화한다. 평시 효율적 기뢰탐색으로 항만 수로와 해상교통로 개항을 유지하고 전시 상륙목표해안을 신속·안전하게 소해하여 상륙작전 임무를 지원한다.

최종 단계인 자율형 유무인 복합전투체계는 AI 기술이 적용되어 사람의 개입이 최소화된 무인전력이 작전임무를 수행한다. 해양에서 무인전력은 주로 자율·군집 기동을 통하여 유무인 전투체계 통합임무를 수행한다. 다수·다종의 유무인 함정·항공기가 복합체계를 이를 것이다. 무인 전투체계 통제함은 유무인 전력에 대한 지휘·통제 임무를 수행하고 탑재된 다수·다종의 무인 전투체계를 운용하며 상황별 최적의 유무인 전력을 구성하여 감시·정찰, 기만·교란, 타격 등 부여된 임무를 수행한다. MUM-T는 임무 효율성과 생존성 향상을 동시에 추구한다는 점에서 주목받는다. 유인 플랫폼은 전략적 판단과 고위험 임무 통제를 담당하고 무인 플랫폼은 위험지역 탐색, 정보수집, 선제 교전 등 고위험도 역할을 수행함으로써 인명 손실을 최소화한다. 이러한 팀 운용개념은 작전의 분산화, 임무 탄력성 확보, 정보처리 속도 향상 등의 장점을 제공한다.

한편, 자율성과 인간 통제의 균형, 통신망 신뢰성, 임무 협동 알고리즘의

---

8) 반자율형 유·무인 복합전투체계는 AI 기술이 일부 적용되어 무인전력이 인간의 판단 기능을 보조 또는 대체하는 형태로 발전하는 것으로 설명된다.

복잡성 등은 여전히 해결해야 할 핵심 과업으로 남아 있다. 현재, 해군의 유무인 복합전투체계 발전단계는 2~3단계 수준에 있으며 AI 기반 의사결정 및 분산협업 알고리즘의 발전이 4단계로 진입을 가속화하고 있다.

### (3) MUM-T의 구성요소

해양 유무인 복합전투체계(MUM-T)는 유인함정과 무인체계(수상·수중)의 상호 보완적 운용을 통해 전장 상황인식, 전투 지속성, 임무 유연성을 향상하는 통합 전력운용 개념이다. 유무인 복합전투체계를 효과적으로 운용하기 위해 플랫폼 간 데이터 연동을 담당하는 통신·네트워크 인프라, 센서 융합, 자율성 계층(Autonomy Layer), 임무 장비(Payload)의 통합, 운용 절차 및 인적요인(Human Factors) 등 복합적인 기술요소가 안정적으로 구현되어야 한다. 특히, 유무인 플랫폼 간 실시간 데이터 링크(Seamless Data Link)와 이를 기반으로 하는 네트워크 중심 전장관리체계는 MUM-T의 핵심 enabling factor로 매우 주요한 요소이다.

MUM-T 체계는 다음의 세 가지 핵심 구성요소로 구분할 수 있다.

#### (가) 유인 전력(Manned Platform)

유인 전력은 구축함, 전투함, 잠수함 등 기존 해군전력의 중심을 이루는 플랫폼으로 MUM-T 체계에서 전략적 판단과 전술적 지휘를 수행하는 핵심 노드 역할을 한다. 유인 플랫폼은 다음과 같은 특징을 지닌다.

**❶ 전략·전술적 의사결정 수행:**

인간의 판단력, 직관, 상황 인식 능력을 바탕으로 임무 목표 설정, 교전규칙(ROE) 해석, 위협도 평가 등을 담당한다.

**❷ 무인 전력의 지휘 및 통제:**

유·무인 플랫폼 간 협력 임무(MUM-T mission)의 설계, 임무 재할당 및 위협 지역 진입 여부 결정 등 고차원적 통제 기능을 수행한다.

**❸ 전장 정보 통합 허브:**

무인체계로부터 수집된 광범위한 센서 데이터를 통합하여 C2 체계와 연동하고, 정합된 정보 기반의 교전 결심을 내리는 전장관리 중심 노드로 기능한다.

### (나) 무인 전력(Unmanned Platform)

무인 전력은 무인수상정(USV), 무인잠수정(UUV), 무인항공기(UAV) 등 다양한 형태의 자율·원격 플랫폼으로 구성되며 전장 전역에서 다기능 임무 수행을 통해 유인 플랫폼의 임무 부담을 경감한다. 주요 임무는 다음과 같다.

- ❶ 정찰·감시(ISR) 및 전장 감시망 확장:  
광역 탐색, 표적 식별·추적, 해양 상황정보 수집 등 정보우세 확보에 기여
- ❷ 대기뢰전(MCM) 및 위협 지역 투입:  
인간의 생존을 위협하는 고위험 구역에 투입되어 기뢰 탐색·제거, 수중 지형 탐색 등을 수행
- ❸ 통신중계 및 전자전(EW):  
유무인 플랫폼 간 중계 노드로서 네트워크 연결성을 강화하며, 필요시 전자교란·전자지원 활동에 참여
- ❹ 유연한 페이로드 운용:  
임무 목적에 따라 센서, 소나, 무장, 전자전 장비 등을 신속히 탑재·교체 가능

무인 플랫폼의 다중·동시 운용은 전장의 분산화와 전력 구성의 다층화(Layered Force Structure)를 가능하게 하며 MUM-T의 전술적 가치와 운용 폭을 결정하는 핵심 구성요소라 할 수 있다.

### (다) 통합 지휘통제체계(C2 & AI System)

통합 지휘통제체계(Command and Control System, C2)와 AI 기반 임무운용체계는 MUM-T의 “두뇌(Brain)”에 해당하며 유무인 플랫폼 사이의 네트워크 중심 협력 운용을 실질적으로 구현하는 요소이다. 주요 구성 요소는 다음과 같다.

- ❶ 데이터 융합(Fusion) 및 정합성 확보:  
각 플랫폼의 센서에서 수집된 데이터(레이더, EO/IR, 소나 등)를 통합·정제하여 단일 전장 상황도(Common Operational Picture, COP)를 구축
- ❷ AI 기반 의사결정 지원:  
표적 분류·위협도 평가, 경로 최적화, 다중 무인자산의 임무 배분(Task Allocation) 등 인간의 판단을 보조하거나 특정 임무 영역에서는 자율 결정을 수행
- ❸ 실시간 정보공유 및 임무 재배치:  
유무인 플랫폼 간 네트워크를 통해 상황 변동에 따른 신속한 임무 재편(Relaying)을 수행하며, 교전 시나리오 변화에 유연하게 대응
- ❹ 지휘통제의 계층 구조 확립:  
인간 중심의 최종 결심(Meaningful Human Control)을 보장하면서, AI가 전술적 세부 동작을 지원 또는 대행하는 계층형 통제 구조를 구현

C2·AI 통합체계는 MUM-T의 작전적 능력을 좌우하는 핵심 기반으로 단순한 통신 체계를 넘어 자율·협업·적응형 전투체계로 발전하고 있다.

유인 전력, 무인 전력, 통합지휘·통제 체계는 상호 독립적인 요소가 아니라 네트워크 중심(Network-Centric) 구조 내에서 통합됨으로써 “인간-기계-데이터”의 삼각 협업체계를 형성한다. 즉, 인간(Human)은 전략적 판단과 지휘를 수행하고 기계(Machine)는 분산된 플랫폼을 통해 임무를 자동화·실행하며 데이터(Data)는 AI를 통해 정렬되고 전장에서 공통 인식을 생성한다. 이 통합 구조는 단순한 플랫폼 연계 수준을 넘어 실시간 상호작용 기반의 지능형 전력체계(Intelligent Combat System)를 구축함으로써 MUM-T의 ‘인간-기계-데이터’의 삼각 협력체계를 형성한다.

## 제 2 절 해양전에서 인공지능 적용 개념

### (1) AI의 군사적 활용 범주

해양전에서 인공지능의 활용은 단순한 자동화의 영역을 넘어 전장인식·판단·행동의 전 과정에 연속적으로 영향을 미치는 핵심요소로 작용한다. 해양환경은 구조적으로 불확실성이 높고 통신 환경이 제약되기 때문에 AI는 기존의 인간 중심 의사결정 체계를 보완하고 복합임무 환경에서 플랫폼 간 상호운용성을 확대하는 역할을 수행한다. 이러한 특성을 바탕으로 해양전에서 AI 활용은 정보·정찰(ISR), 작전 및 지휘통제(C2), 무기운용·교전(Weapon Engagement)의 세 가지 범주로 분류할 수 있다.<sup>9)</sup> 이 세 분야는 AI 기반 전투관리체계(Battle Management System)와 네트워크 중심전(Network Centric Warfare)을 매개로 상호 결합되어 운용된다.<sup>10)</sup>

9) Thomas G. Mahnken, Artificial Intelligence and the Future of Warfare, Center for Strategic and Budgetary Assessments(CSBA), 2021, pp. 32-38.

10) David S. Alberts et al., Understanding Information Age Warfare, CCRP, 2001, pp. 56-79.

(가) 정보·정찰 분야(Intelligence, Surveillance, Reconnaissance, ISR)

AI는 방대한 해양 센서 데이터(레이다, EO/IR, 소나 등)를 분석하여 표적 탐지·식별, 패턴 인식, 항적 분석, 해상교통 흐름 파악 등을 수행한다. 특히 딥러닝 기반 영상·신호 처리 기술은 인간 운용자의 부담을 경감시키고 탐지 정확도를 향상시키는 효과를 제공한다.<sup>11)</sup>



[그림 2-4] AI 기반 수상 감시정찰 및 전투 임무

(나) 작전 및 지휘통제 분야(Command & Control, C2)

C2 영역에서 AI는 전장 정보의 실시간 융합, 장차작전 상황 예측, 의사결정 옵션 제시, 임무분배 및 무인 전력의 자동 배치 등 지휘·통제 효율성을 향상하는 역할을 수행한다. 특히, 다수의 유무인 플랫폼이 분산되거나 광역 작전환경에서 활동하는 현대 해양전 특성상 AI 기반 전투관리체계(Battle Management System)의 중요성이 증가하고 있다.

11) 김철수 외, 「인공지능 기반 해양감시체계 발전방향 연구」, 한국국방연구원, 2023.

12) AI 기반 수상 감시정찰 및 전투 임무는 인공지능(AI) 기술을 탑재한 전투용 무인수상정(USV)이 주도한다. 주요 임무영역은 지능형 감시정찰, 전투·타격, 군집운용, 위험지역 선제 투입등이 있다.

(다) 무기 운용 분야(Weapon and Engagement)

교전 단계에서 AI는 표적 우선순위 결정, 교전 순서 산정, 다중 위협 상황에서 최적의 대응 조합산출 등에 활용될 수 있다. 자율무기체계는 빠른 반응속도와 높은 정확성의 장점이 있으나 교전의 자동화는 국제법 및 윤리적 기준, 책임성 문제 등과 연계되어 있으므로 실제 군사 운용에서는 제한적으로 적용되고 있다.



13)

[그림 2-5] 군집 무인수상정 운용기술(해상시연)

해군은 현재 AI를 주로 정보·정찰 및 작전 지원 분야에 우선 적용하고 있으며 교전 단계의 자율성 확대는 기술·윤리·법적 요건 검토와 병행하여 점진적으로 발전되고 있다.

13) 10일 경남 창원시 소재 해군사관학교 앞바다. 해상에서 감시정찰 작전을 수행하던 무인수상정 10척이 기습 침투를 감행하는 적군 유인 보트 5척을 발견했다. 무인수상정은 40분간 스스로 임무 계획을 수립해 자율운항을 하면서 적 함정과 교전해 승리를 거뒀다. 국방과학연구소(ADD)가 실시한 ‘군집 무인수상정 운용기술’ 입증을 위한 해상 시연이 성공하는 순간이었다.

## (2) 해양환경의 복잡성과 AI의 역할

해양전은 기상 변화, 수중 음향 환경, 전파 감쇠, 플랫폼의 고속 기동 등 다양한 변수로 인해 확률적 불확실성(stochastic uncertainty)이 구조적으로 높은 전장 환경이다. 이러한 불확실성은 정보의 신뢰성을 저하시킬 뿐 아니라 지휘통제(C2)와 무인체계의 자율운동에도 제약을 초래한다.

따라서 해양전에서 AI의 도입은 단순한 기술적 첨가물이 아니라 해양 전장환경의 복잡성을 관리하고 전투효율을 향상하기 위한 핵심적 기능 요소로 작용한다. 해양환경의 복잡성은 크게 물리적, 운용적, 정보적, 전략·정책적 차원으로 구분할 수 있다.

### (가) 물리적 복잡성(Physical Complexity)

해양이라는 전장 공간은 광범위한 작전 범위와 가변적 환경 요인으로 인해 물리적 복잡성을 내재하고 있다. 수중·수상 환경의 이질적 특성 때문에 센서 성능은 기상, 해상파고, 수온층 분포 등 외부 요인의 영향을 크게 받는다.

#### ❶ 광역 작전 공간에 따른 센서 한계

광범위한 해역에서는 레이더·소나·전자광학(EO/IR) 등의 탐지 범위가 제한되며, 플랫폼 간 간격 확대는 정보 획득의 공백을 초래한다.

#### ❷ 수중 음향전파의 굴절·산란

수중 음향은 수온·염분 농도·수심 변화에 따라 굴절하며 다중 경로(multipath) 반사 현상이 발생하여 탐지 정확도가 저하된다.

#### ❸ 기상·해상 상태에 따른 탐지 성능 저하

높은 파고, 해무, 폭풍 등은 표적 탐지·식별 능력을 저하시킬 뿐 아니라 수상·수중 플랫폼의 안정적 운용에도 영향을 미친다.

#### ❹ 전파 감쇠로 인한 통신 제약

수중은 전파 감쇠가 극심하여 일반 RF 통신이 제한되며, 저속 음향통신에 의존할 수밖에 없어 UUV 운용의 실시간성 확보가 어렵다.

이와 같은 물리적 제약을 보완하기 위해 AI는 신호 잡음 제거(denoising), 시계열 분석(time-series analysis), 딥러닝 기반 음향·영상 분류 등을 활용하여 센서 데이터 품질을 향상시키는 역할을 수행한다. 즉, AI는 물리적 환경에 의해 초래되는 불확실성을 감소시키고 플랫폼의 감시·정찰 능력을 유지하기 위한 핵심 보정 장치 역할을 한다.

#### (나) 운용적 복잡성(Operational Complexity)

해군 작전은 다양한 플랫폼이 서로 다른 속도, 고도, 심도에서 활동하는 다중 매체(multi-medium) 작전환경이며 이로 인해 운용 간 복잡성이 높은 구조적 특성을 가진다. 특히 유무인 플랫폼이 동시에 운용되는 MUM-T 환경에서는 플랫폼 간 간섭·충돌 가능성이 크게 증가한다.

- ❶ 다중 플랫폼의 경로 충돌 방지 문제  
함정·UAV·USV·UUV가 독립적으로 기동할 경우 의도치 않은 동선 충돌 가능성이 존재
- ❷ 임무 충돌(deconfliction) 문제  
다수의 무인 플랫폼이 동일 목표·해역을 동시에 처리하려 할 때 임무 중복이나 충돌 가능성 존재
- ❸ 플랫폼 간 정보 지연(latency) 문제  
수중·수상·공중 간 통신 링크의 성능 차이로 인해 실시간 정보 공유에 지연이 발생하며, 지휘통제 체계에서의 동기화 문제로 연계 가능성 존재

AI는 이러한 운용적 복잡성을 해결하기 위해 ① 강화학습 기반 자율경로 생성, ② 협업 자율성(Cooperative Autonomy) 알고리즘, ③ 예측 기반 임무·경로 조정(predictive deconfliction)과 같은 기술을 적용하여 플랫폼 간 충돌 방지 및 임무분배 효율화를 달성한다. 특히, 다수 무인자산을 동시에 운용하는 분산작전은 AI 기반 협업 알고리즘이 필수적이다.

#### (다) 정보적 복잡성(Informational Complexity)

해양전에서 획득되는 데이터는 비동기적(asynchronous), 비정형(unstructured), 불완전(incomplete)한 형태가 일반적이며 센서 간 신뢰도 역시 상이하다. 이러한 정보적 복잡성은 전장 상황인식(SA)의 정확도와 지휘결심의 신뢰성에 직접적인 영향을 미친다. 다음 기능을 활용해 정보의 불확실성을 완화할 수 있다.

- ❶ 멀티센서 융합(Multi-sensor Fusion)  
레이다·소나·EO/IR·AIS 등 데이터를 AI로 정합하여 단일 전장 상황도(COP: Common Operational Picture)를 구성
- ❷ 오류·노이즈 필터링(Data Imputation & Denoising)  
결측 데이터 보정, 탐지오류 보정, 신호 잡음 제거를 통해 정보 신뢰도를 향상
- ❸ 상황 예측 모델링(Predictive Modeling)  
적 함정 이동 패턴, 기뢰 재배치 가능성, 수중 이동체의 항적 등을 예측 및 지휘결심을 지원

해양전에서 요구되는 신속·정확한 상황인식을 가능하게 하며 인간 지휘관의 인지 부담을 감소할 수 있다.

(다) 전략·정책적 복잡성(Strategic & Policy Complexity)

AI의 군사적 도입은 기술·전술적 요소뿐 아니라 정책, 법, 전략의 복합적 고려를 필연적으로 요구한다. 특히 해양전과 같이 광범위한 작전환경과 예측하기 어려운 상황이 빈번하게 발생하는 작전환경에서는 AI의 자율성과 통제 문제, 국제규범 및 군비경쟁과의 연계성이 중요한 이슈로 부상한다. 교전 자동화 확대는 인간의 통제권 범위를 모호하게 만들 수 있으며 이는 국제법적 논쟁으로 연계되고 자율체계·AI 알고리즘의 판단 오류로 인한 사고 발생 시 책임 주체 규명이 제한되는 문제가 제기된다.

또한, 적·아군의 AI 시스템 간 상호작용이 새로운 형태의 전장 역학을 형성할 가능성이 있으며 전자전·사이버전과 결합한 신개념 충돌 양상이 우려된다. 특히 해양 강국 간 AI·자율무기 경쟁이 가속되면서 “지능화 해군전(智能化海战)”이 군비경쟁의 새로운 중심축으로 부상하고 있다.

해양전의 복잡성은 물리적·운용적·정보적·정책적 차원의 다양한 요인으로 구성되며 AI는 각 차원에서 발생하는 불확실성을 관리·완화하는 핵심 수단으로 기능한다. 따라서 AI는 해양전에서 단순한 보조 기술이 아니라 전장 관리와 유무인 복합전투체계 운용을 가능하게 하는 필수적 기반 요소로 평가할 수 있다.

### 제 3 절 핵심 AI 기술요소 및 개념

현대 해양전에서 인공지능(AI)의 도입은 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 현실적 구현을 가능하게 하는 기술을 기반으로 작용한다. 특히 자율운항, 센서 융합, 네트워크 중심전, 협업 알고리즘 및 군집기능은 AI 기반 해양전투체계의 핵심을 구성하는 필수 요소이다. 본 절에서는 이러한 주요 기술요소의 개념과 군사적 적용방안을 체계적으로 고찰한다.

#### (1) 자율운항 기술(Autonomous Navigation)

자율운항 기술은 유무인체계가 인간의 직접 개입 없이 환경을 인지하고, 목표 지점까지 안전·효율적으로 이동할 수 있도록 하는 핵심 기능으로, 환경 인식(Sensing)-경로 계획(Path Planning)-충돌 회피(Collision Avoidance)-자율 제어(Control)의 네 요소로 구성된다.

##### ❶ 환경 인식(Sensing)

위성항법시스템(GPS), 레이더, 라이다(LiDAR), EO/IR, 소나 등 다양한 센서로부터 입력되는 데이터를 실시간으로 수집한다.

해상 환경의 불확실성(파고, 조류, 기상 변화)을 고려하기 위해 AI 기반 물리환경 예측 모델이 병행된다.

##### ❷ 경로 계획(Path Planning)

AI 알고리즘이 축적된 센서 정보를 바탕으로 장애물·위험을 피하면서 최소 비용 경로(minimal-cost path)를 산출한다. 강화학습(Reinforcement Learning), 딥러닝 기반 경로탐색(A\*, RRT\*, DRL) 기법이 대표적으로 적용된다.

**③ 충돌 회피(Collision Avoidance)**

국제해상충돌예방규칙(COLREGs)을 준수하는 AI 규칙 기반 또는 학습 기반 충돌 회피 알고리즘을 적용하여, 다중 플랫폼·해상 교통 밀집 상황에서도 안전 운항을 보장한다.

**④ 자율 제어(Control)**

경로 계획에 따라 조타, 속도 조절, 자세 제어를 수행하는 단계로, 모델예측 제어(MPC)나 신경망 기반 제어기(Neural Controller)가 활용된다.

현재 자율운항 수준은 국제해사기구(IMO) 기준에 따라 AL 0~4 단계(AL0: 완전 수동조작, AL1~2: 자동화 보조, AL3: 조건부 자율항행, AL4: 완전 자율운항)로 구분된다. 해군의 무인수상정(USV), 무인잠수정(UUV)은 대부분 AL2~AL3 수준에 해당하며 AI 연산능력 향상, 해상 데이터 링크 기술력 고도화, 에지 컴퓨팅(edge computing) 기술발전에 따라 AL4 수준의 완전 자율운항 체계로 발전할 가능성이 높다.

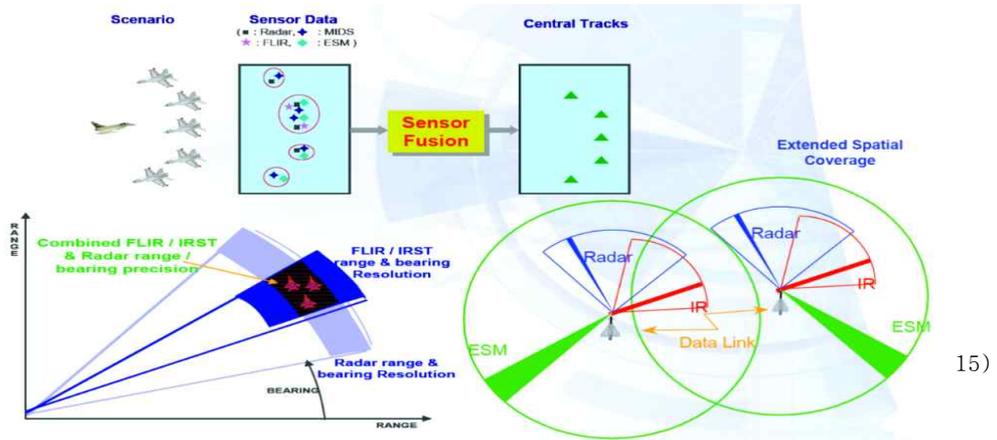
(2) 센서 융합 및 네트워크 중심전

AI 기반 복합전투체계의 효과는 센서 융합(Sensor Fusion)과 네트워크 중심전(Network-Centric Warfare, NCW)에 의해 극대화된다. 센서 융합은 레이더, 소나, EO/IR, AIS, 위성 정보 등 다양한 플랫폼 및 센서에서 수집된 데이터를 통합하여 단일 상황인식 그림(Common Operational Picture, COP)을 구성한다.<sup>14)</sup> 이 과정에서 AI는 데이터의 중복 제거 및 트랙 정합, 센서별 신뢰도 평가, 이상치 및 잡음 제거, 위협행동 예측 분석 기능을 수행한다.

이러한 융합 기술은 단일 센서로는 확보할 수 없는 복합 위협 탐지 및 추적 능력을 제공하며, 광범위한 해양 전장에 대한 상황관리(Maritime Domain Awareness)의 기반이 된다. 네트워크 중심전은 이러한 융합정보

14) Patrick R. Taylor & Michael J. Carr, "Sensor Fusion for Maritime Domain Awareness: A Multi-Sensor Approach," Journal of Oceanic Engineering, vol. 46, no. 1, pp. 45-58, 2021.

를 모든 전투자산이 공유하여 ‘정보 우위(Information Superiority)’를 확보하는 개념이다.



[그림 2-6] 센서융합 개념도

네트워크 중심전은 “센서-결심-타격(Sensor-Decision-Shooter)”의 고리에서 정보 우위(Information Superiority)를 확보하는 개념으로, 전투자산을 네트워크로 연결하여 전장정보를 실시간 공유한다. AI는 전투자산 간 최적 정보흐름 경로를 계산하고 무인 전력의 임무 재분배 및 분산전력 간 전술 협업을 수행한다. 또한, 통신단절 상황에서도 작전 지속을 위한 에지 AI 기반 임무를 수행한다. 이는 단일 플랫폼 중심의 전투개념에서 벗어나, 네트워크 기반 다중 플랫폼 협력전(Network-Teams Warfare, NTW)으로 전장을 재편한다.

### (3) 협업 알고리즘 및 군집기능(Swarm Intelligence)

AI 기반 MUM-T에서 핵심은 협업 알고리즘(Collaborative Algorithm)이다. 협업 알고리즘은 다수의 무인체계가 스스로 역할을 분담하고 장애·

15) AI 기반 수상 감시정찰 및 전투 임무에서 센서융합(Sensor Fusion)은 다양한 센서로부터 수집된 데이터를 통합하여 단일 센서의 한계를 극복하고, 전장 상황에 대한 정확도와 신뢰성을 높이는 핵심 기술이다.

위협 상황에 대응한다. 목표 달성을 위해 분산 의사결정, 실시간 임무 최적화, 상황 반응형 협력을 통해 집단적으로 행동하도록 하는 기술이다.

예를 들어, 다수의 UUV가 기뢰 탐색 작전에 투입될 경우 AI는 각 플랫폼의 센서 범위·속도·남은 에너지 상태 등을 고려하여 탐색 구역을 자동 분배한다.

군집지능(Swarm Intelligence)은 생물의 집단행동 원리를 모방하여, 개체 간 통신을 최소화하면서도 전체 효율을 극대화하는 방식으로 구현된다. 주요 특징은 자기조직, 분산처리, 고장·손시레 대한 회복탄력성, 다중 표적 동시 대응이 있다.

예를 들어, 10대의 무인수상정이 적 함대 주변을 포위 정찰할 때, AI가 각 개체의 거리·속도·시야각을 조정하여 중복 탐지나 충돌을 방지한다. 이러한 기술은 분산형 자율전(Distributed Autonomous Warfare)의 기반이 된다.

자율운항·센서 융합·네트워크 중심전·협업 알고리즘·군집기능은 AI 기반 해군전력의 핵심 기술요소로서 상호 연계적으로 작동한다. 자율운항이 개체의 생존성과 독립운용 능력을 제공한다면 센서 융합과 NCW는 전력 전체의 정보 우위를 확보할 수 있고 협업 알고리즘과 군집기능은 다수 자산의 전술적 시너지 효과를 극대화한다. 이들 요소는 결과적으로 AI 기반 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 완전 구현을 가능하게 하는 핵심 기반 기술로 평가된다.

#### 제 4 절 인간-기계 협업(Human - Machine Teaming, HMT)

인공지능(AI) 기반 전투체계의 핵심은 인간과 기계가 역할을 분담하여 상호 보완적으로 임무를 수행하는 인간-기계 협업(Human-Machine Teaming, HMT) 구조의 구현에 있다. 이는 단순히 인간의 업무를 자동화 기계가 대

체하는 것이 아니라 인간이 가진 고차원적 판단 능력과 AI의 고속 데이터 처리·예측 능력이 결합되어 새로운 형태의 전투 수행 패러다임을 형성하는 것을 의미한다.

전통적으로 자동화 체계는 반복적·규칙 기반 작업을 기계가 수행하고 인간이 이를 감독하는 구조를 갖추고 있었으나 현대의 HMT 개념은 ‘자동화 보조(automation support)’ 단계를 넘어선 협업적 지능(collaborative intelligence)의 구현을 목표로 한다. 이는 인간과 기계가 동일한 임무 목표를 공유하고 각자의 강점을 중심으로 임무 요소를 분담함으로써 전장 적응성, 의사결정 속도, 작전 생존성을 향상시키는 구조이다.

#### (1) 인간의 역할: 전략·윤리·책임 영역의 중심

AI 기반 전투체계가 발전하더라도, 인간은 여전히 전장의 최종 의사결정자로서 핵심적인 역할을 수행한다. 인간이 맡는 주요 기능은 다음과 같다.

- ❶ 전략적·정책적 판단(Strategic Judgment)  
전장의 목적, 작전 목표, 교전규칙(ROE) 해석 등 고차원적 판단은 인간 지휘관이 담당한다.
- ❷ 윤리적·법적 통제(Ethical and Legal Control)  
국제인도법(IHL) 준수, 비전투원 보호 원칙, 교전결정 시 책임성 유지 등은 인간의 도덕적·법적 책임 범위에 속한다.
- ❸ 충돌 회피(Collision Avoidance)  
국제해상충돌예방규칙(COLREGs)을 준수하는 AI 규칙 기반 또는 학습 기반 충돌 회피 알고리즘을 적용하여 다중 플랫폼·해상 교통 밀집 상황에서도 안전 운항을 보장한다.
- ❹ 최종 교전결정(Meaningful Human Control)  
lethal engagement(치명적 교전) 단계에서 인간은 AI의 제안을 검토하고 최종 승인 또는 중단을 결정하는 역할을 수행한다.

이와 같은 인간의 역할은 군사 AI 사용의 합법성·정당성·책임성을 보장하는 핵심 요소이다.

#### (2) AI의 역할: 분석·예측·실시간 대응 중심

AI는 방대한 데이터를 고속으로 처리하고, 패턴 분석·위험 예측·임무 자

동 분배 등 인간이 수행하기 어려운 작업을 담당한다. AI의 주요 기능은 다음과 같다.

**① 데이터 분석 및 상황 인식 증강**

센서 데이터 융합, 표적 식별, 위협 평가 등에서 인간의 인지 범위를 초과한 정보처리 능력을 제공한다.

**② 위협 예측 및 경로·전략 제안**

기동 경로 최적화, 적 움직임 예측, 교전 결과 시뮬레이션 등을 통해 지휘관의 결심을 보조한다.

**③ 임무 분배 및 자산 관리(Task Allocation)**

다수의 무인 플랫폼이 투입되는 MUM-T 환경에서 AI는 임무 할당, 충돌 방지, 자산 재배치 등을 자동화하여 작전 효율성을 높인다.

**④ 실시간 대응(Real-time Autonomy)**

통신이 단절되거나 지휘권 전송이 어려운 상황에서도 제한된 범위 내에서 자율적 기동 및 회피행동을 수행한다.

AI는 이러한 기능을 통해 인간의 인지 부담(cognitive load)을 줄이고 전장 상황 변화에 대한 실시간 대응력을 향상시키는 역할을 한다.

(3) HMT의 핵심요인: 신뢰(Trust)와 투명성(Transparency)

HMT의 효과는 기술적 성능만으로 결정되는 것이 아니라, 인간과 AI 간의 신뢰(Trust) 형성 여부에 크게 좌우된다. AI가 제시한 판단에 대해 인간이 과도하게 불신하거나 반대로 지나치게 의존할 경우, 작전 위험성이 확대 또는 잘못된 판단의 결심으로 이어질 가능성이 높아진다. 신뢰 형성을 위해 첫 번째로 XAI(eXplainable AI) 기반 인간이 AI의 결정 이유와 기저 논리를 이해하여 AI 판단 과정의 투명성이 확보되어야 한다. 두 번째로 성능 일관성과 예측 가능성을 확보하여 임무환경 변화에 따라 AI의 성능 변동 폭을 최소화 해야한다. 세 번째로 인간이 언제든지 AI의 판단을 중단하거나 수정할 수 있는 통제권을 확보하여 인간의 감독 및 개입 가능성을 유지해야한다. 신뢰와 투명성은 HMT의 안정적 운요을 위한 필수적 기반이 된다.

#### (4) HMT 발전 방향: Human-on-the-loop 개념

최근 국방기술 선진국들은 인공지능 기반 전투체계의 자율성 수준이 고도화됨에 따라 인간의 통제권과 책임성을 유지하면서도 AI의 운용 효율성을 확보하기 위한 절충적 지휘·통제 모델로서 “Human-on-the-loop” 개념을 채택하고 있다. 이 개념은 인간이 모든 단계에 직접 개입하는 Human-in-the-loop 방식과 인간 개입 없이 시스템이 전 과정을 자율적으로 수행하는 Human-out-of-the-loop 방식의 중간에 위치하는 것으로 인간의 감독(supervision) 기능을 핵심으로 한다.

Human-on-the-loop 개념의 주요 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, AI가 상황인식(SA), 데이터 분석, 임무 실행의 대부분을 자율적으로 수행한다는 점이다. 이는 고속 정보처리와 실시간 환경 적응이 요구되는 현대 해전의 특성에 부합하며 인간의 인지 부담을 감소시키고 의사결정 시간을 단축시키는 효과가 있다.

둘째, 인간은 실시간 감독자로서 필요 시 승인하거나 임무 수행을 중단할 수 있는 권한을 유지한다. 즉, 인간은 시스템의 자율적 판단을 수동적으로 승인하는 것이 아니라 AI의 의사결정 과정과 결과를 모니터링하며 비정상적 판단이나 윤리적 문제가 예상될 경우 즉각적으로 개입할 수 있는 통제권을 보유한다. 이러한 감독 기능은 AI 오판 시 잠재적 위험을 최소화하는 안전장치(safety valve)로 역할을 수행한다.

셋째, 임무의 성격에 따라 자율성 수준을 차등 적용하는 구조를 채택한다. 비치명적(non-lethal) 임무, 예를 들어 정찰·감시, 기뢰 탐색에서는 높은 수준의 자율성을 부여하여 AI의 효율성과 속도 우위를 최대한 활용하는 반면 치명적 교전(lethal engagement)의 경우에는 국제인도법, 군사윤리, 책임성 문제를 고려하여 인간의 통제 범위를 확대한다. 이러한 차등적 자율성 모델은 기술적 효율성과 법·윤리적 요구를 모두 충족시키기 위한 체

계적 접근방식으로 평가된다.

종합적으로, Human-on-the-loop 개념은 AI의 신속·정확성에 기반한 작전 효율성과 인간의 판단·책임성 유지라는 상충하는 요구를 균형적으로 조화시키는 지휘통제 패러다임으로 자리 잡고 있다. 미래 자율전투체계의 설계 방향뿐 아니라 해군의 유무인 복합전투체계(MUM-T) 운용개념 발전에도 중요한 기준을 제공한다.

## 제 5 절 분석의 틀(Analytical Framework)

본 연구는 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 발전방향을 다층적으로 분석하기 위해 기술적 차원, 전략·작전적 차원, 정책적 차원으로 구성된 3차원 분석의 틀을 구성하였다. MUM-T가 단순한 기술 도입 수준을 넘어 전력구조, 전략·작전개념, 제도적 기반을 포괄하는 복합적 패러다임의 변화라는 문제의식에 근거한다.

[표 2-2] AI 기반 유무인 복합전투체계 분석체계

구 분	주요 내용	분석 지표
기술적 차원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AI 기반 자율운항 기술 수준</li> <li>• 센서융합 및 정보처리 능력</li> <li>• 협업 알고리즘·군집지능 구현 능력</li> <li>• 유무인체계 간 통합성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술성숙도(TRL)</li> <li>• 자율성 수준(AL)</li> <li>• 시스템 통합도 및 상호운용성</li> </ul>
전략·작전적 차원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 운용개념 및 작전 활용도</li> <li>• 인간-기계 협력(HMT) 가능 수준</li> <li>• 전장효과도 및 전술적 기여도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작전효과도(Battle Effectiveness)</li> <li>• 작전속도(OODA Loop 압축)</li> <li>• 임무 성공률 / 생존성</li> </ul>
정책적 차원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제도·규범 기반 구축 수준</li> <li>• 국방 AI 정책 연계성</li> <li>• 산업·민군협력 생태계 형성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정책 일관성/추진체계 성숙도</li> <li>• AI 윤리 및 법제 반영도</li> <li>• 국방 산업 연계성</li> </ul>

### (1) 기술적 차원(Technological Dimension)

기술적 차원은 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T: Manned-Unmanned Teaming)의 구현 가능성과 성숙도를 판단하는 가장 기초적이면서도 핵심

적인 분석 영역이다. 이는 MUM-T가 단일 기술의 발전만으로 실현되는 것이 아니라 자율운항 기술, 센서 융합(Sensor Fusion), 협업 알고리즘(Collaborative Autonomy), 군집지능(Swarm Intelligence) 등 복수의 기술요소가 통합적으로 작동해야 한다는 특성에 기반한다. 따라서 기술적 차원의 분석은 각각의 개별 기술성숙도 뿐만아니라 상호 연계되어 하나의 통합 전투체계로 기능할 수 있는지 여부를 평가하는 데 중점을 둔다.

우선 AI 기반 분석 능력과 자율운항 기술은 무인 플랫폼이 독립적으로 임무를 수행할 수 있는지를 결정하는 핵심요소이며 이는 국제해사기구(IMO)의 자율성 수준(AL: Autonomy Level) 기준을 통해 평가된다.

또한, 센서와 플랫폼 간의 정보통합 구조는 전장 상황인식(SA: Situational Awareness)을 좌우하는 핵심 구성요소로 레이더·소나·영상센서·AIS 등이기종 센서로부터 획득된 데이터를 AI가 얼마나 효과적으로 융합·정제·예측할 수 있는지가 중요하다. 더 나아가 무인체계 간 협업성은 분산형 전장 환경에서 다수 플랫폼이 상호 충돌 없이 임무를 수행하고 전술적 시너지를 창출할 수 있는지를 판단하는 기준이 된다.

기술적 차원의 세부 분석 지표는 다음과 같이 제시할 수 있다.

- 기술성숙도(TRL: Technology Readiness Level):  
개별 기술요소가 실험실 단계, 시제기 단계, 제한적 실전 운용 단계 중 어느 수준에 위치하는지를 평가한다.
- 자율성 수준(AL: Autonomy Level):  
무인 플랫폼이 인간의 개입 없이 임무를 수행할 수 있는 자율화 수준을 측정하는 지표로, MUM-T 전력화의 핵심 기준이다.
- 체계 간 상호운용성·통합성(Integration):  
센서-AI-C2-플랫폼 간 기술요소가 하나의 전투체계로 통합되어 안정적으로 작동할 수 있는지를 평가한다.

기술적 차원은 곧 MUM-T 전력화의 최소 필요조건(minimum requirement)으로 기능한다. 즉, 기술 수준이 일정 기준에 만족하지 못할 경우 MUM-T의 전략·작전적 효과는 현실적으로 발휘되기 어렵고 오히려 전장 환경 복잡성 증가와 운용 위험성만 높아질 수 있다. 따라서 기술적 차원의 성숙도는 MUM-T 전력화 과정에서 가장 우선적으로 검토되어야 할 요소이며 이후 전략·작전적 활용성과 정책·제도적 기반 구축은 이러한 기술적 기반 위에서 비로소 논의될 수 있다.

## (2) 전략·작전적 차원(Strategic and Operational Dimension)

전략·작전적 차원은 기술적 진보가 실제 군사력으로 전환되는 과정, 즉 기술과 전쟁양식(warfare)의 연결 지점을 분석하는 핵심 영역이다. 유무인 복합전투체계(MUM-T)는 단순한 플랫폼 결합이 아니라 작전 개념(CONOPS)의 혁신, 전술적 가치 증대, 지휘통제(C2) 구조의 변화, 인간-기계 협력(HMT)의 재정립을 요구함으로써 전장 운영 방식 전반에 대해 구조적 변화를 가져온다.

첫째, MUM-T는 기존의 플랫폼 중심 작전에서 벗어나 분산전(Distributed Operations)과 멀티도메인 작전(Multi-Domain Operations)을 가능하게 한다. 다수의 무인 플랫폼이 위험지역에 우선 투입되고 유인 전력이 고차원적 의사결정과 전장정보 통합을 담당하는 방식은 기존 해군 작전의 위험 분산, 상황인식 확대, 대응 속도 향상 등의 효과를 제공한다.

둘째, 지휘통제 방식의 변화가 요구된다. 유무인 자산이 동일 전장에서 동시 운용되기 위해서는 실시간 데이터 공유, 자산 간 임무 충돌 방지(deconfliction), 협업 경로 결정 등 전술적 조정이 필수적이며 이는 AI 기반 협업 알고리즘(collaborative autonomy)과 인간 감독 체계(Human-on-the-loop)의 결합을 통해 실현된다. 결과적으로 지휘통제 체계는 인간 중심의 집중형 구조에

서 AI가 실시간 분석·임무 분배를 담당하는 분산형·네트워크형 구조로 재편된다.

셋째, MUM-T의 전술적 가치는 임무 성공률, 전장 효과도, 작전속도(Operational Tempo, OPTEMPO)와 같은 작전지표를 중심으로 평가될 수 있으며 이는 무인체계의 협업 능력, 자율임무 수행 시간, 인간 지휘관의 인지부하 감소 정도 등에 의해 결정된다. 고가치 유인 플랫폼의 생존성이 향상되고 위험성이 높은 기뢰전·대잠전·정찰 임무에 무인체계가 우선 투입될 경우 전체적인 전투력의 지속성과 효율성은 비약적으로 증가한다.

이와 같은 전략·작전적 차원의 분석 지표는 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 전장효과도(Battlefield Effectiveness):

플랫폼 간 협업을 통한 전투결과 향상 정도, 전력 대비 효과성 평가

- 작전속도(Operational Tempo):

지휘결심 속도, 대응시간 단축, 임무전환 효율성 등 전장 민첩성 지표

- 임무 성공률(Mission Success Rate):

무인 플랫폼 투입이 임무수행 성과 달성에 미치는 정량적 효과  
전략·작전적 차원은 MUM-T의 실질적 군사적 가치를 평가하는 축으로, 기술의 잠재력이 실제 전력으로 전환되는 과정의 성패를 결정한다.

### (3) 정책적 차원(Policy and Institutional Dimension)

정책적 차원은 MUM-T 도입과 운용을 제도적·법적·산업적 측면에서 뒷받침하는 환경을 분석하는 영역으로 기술적·작전적 차원의 성과를 장기적·지속적으로 유지하기 위한 국가적 준비도를 평가한다. AI 기반 전투체계의 특성상, 정책적 차원은 단순한 국방정책 범위를 넘어 윤리·법적 규범, 산업 생태계, 기술 표준화, 군 인력·조직 혁신 등을 포괄한다.

첫째, 국방 AI 정책 및 제도적 기반이 중요하다. 자율무기체계(LAWS), AI 의사결정 지원체계, Human-on-the-loop 통제구조 등 새로운 군사기

술에 대한 법적·정책적 가이드라인이 명확히 구축되어야 한다. 이는 국제 인도법(IHL), 의미 있는 인간 통제(MHC) 원칙, 군사윤리 기준 등과의 정합성을 요구한다.

둘째, 국가 방산·기술 산업 생태계의 역량이 MUM-T의 전력화 가능성을 크게 좌우한다. 유무인 플랫폼 개발, 센서·AI 모듈, 통신·데이터 링크, 소프트웨어·알고리즘 등에서 지속 가능한 공급망(supply chain)과 방산 R&D 체계가 갖추어져야 한다. 민군 겸용 기술(dual-use)의 활용 역시 핵심 요소이다.

셋째, 군 조직·인력 구조의 변화가 필수적이다. AI 기반 전투체계 운용을 위해서는 데이터 분석, 시스템 통합, 사이버·AI 운용 능력을 갖춘 신규 인력이 요구되며 전통적 함정 중심의 인력구조 만으로는 MUM-T 운용을 감당하기 어렵다.

정책적 차원을 평가하기 위한 분석 지표는 다음과 같다.

- 정책 일관성(Policy Coherence):

국가 국방전략과 AI·무인체계 도입 정책 간 정합성, 중장기계획의 지속성

- 윤리·법적 규범 체계(Ethical and Legal Norms):

자율무기·AI 통제 원칙, 안전성 규정, 책임성 구조 등 제도적 장치의 수준

- 산업 생태계 및 기술 공급망(Defense Industrial Ecosystem):

방산기업·ICT기업·연구기관 간 협력 구조, 기술 표준화, R&D 투자 규모

정책적 차원은 기술·작전적 발전을 실질적인 전력화 단계로 연결하는 제도적 인프라(institutional infrastructure)로서 기능하며 국가별 MUM-T 발전 수준 차이는 기술력보다도 이 정책적 기반의 차이에서 비롯되는 경우가 많다. 이 세 축은 상호 연계되어 있으며 기술 발전은 전략·작전 개념의 혁신을 촉진하고 이를 뒷받침하는 정책·제도적 기반이 구축되어야 실질적 MUM-T 전력화가 가능하다.

본 장에서는 해군 유무인 복합전투체계의 개념적 구조를 정립하고 관련 핵심 기술요소, 이론적 기초를 체계적으로 검토하였다. 이를 통해 MUM-T가 단순한 기술 도입을 넘어 해군작전 패러다임의 구조적 전환(structural transformation)을 의미하며 그 중심에는 AI 기술의 발전이 자리하고 있음을 확인하였다.

다음 장에서는 분석 틀을 바탕으로 미국·중국·영국 주요 해군 강국의 MUM-T 발전 동향과 운용 사례를 구체적으로 분석함으로써 국가별 전략적 접근과 기술발전 경향을 비교·평가하고자 한다.

## 제 3 장 AI 기반 해군 유무인 복합전투계 발전 동향 분석

AI와 자율운용 기술의 고도화는 세계 주요 해양력 강국들의 전력 구조와 전장 운영 패러다임을 근본적으로 변화시키고 있다. 미국, 중국, 영국은 각국의 군사전략, 안보환경, 기술역량을 기반으로 AI 중심의 MUM-T 개발을 전략적으로 추진하고 있으며 이는 해상 전력의 작전개념(Operational Concept)과 지휘통제체계(Command and Control, C2)의 구조적 변화를 촉진하고 있다.

본 장에서는 세 국가의 핵심 MUM-T 발전 프로그램을 분석하고 국가별 전략적 목표와 운용 개념을 비교함으로써 향후 한국 해군의 발전 방향에 대한 시사점을 도출하고자 한다.

### 제 1 절 미국의 발전 동향

#### (1) 전략적 배경

미국은 2022년 발표한 국가안보전략(National Security Strategy)을 통해 중국을 “유일한 포괄적 경쟁국”, 러시아를 “즉각적이고 현존하는 위협”으로 규정하였다. 이러한 전략 인식에 따라 미국은 대중(對中) 경쟁 우위 확보와 대러(對러) 억제력 강화라는 두 축을 중심으로 군사력 현대화를 가속화하고 있다. 특히 국방부는 지향성 에너지(Directed Energy), 극초음속 무기체계(Hypersonic Weapon Systems), 인공지능(AI), 유무인 통합전력 등 첨단 기술 기반의 미래 전력구조 전환을 핵심 과제로 제시하였다.

미 해군은 국가안보전략과 국가방위전략(National Defense Strategy), 그리고 미래 함대구조 계획을 반영하여 새로운 해군력 발전목표를 수립하

였다. 그 핵심은 ‘분산해양작전(Distributed Maritime Operations, DMO)’ 개념의 구현이며 AI·네트워크 기반 기술을 활용한 유무인 복합전력(MUM-T)의 주력 전력화를 통해 다음과 같은 전략적 효과를 도모하는 것이다.

- 중국·러시아의 A2/AD(접근거부·지역거부) 전략에 대응하기 위한 전력 분산화
- 유·무인 전력 간 자율적 협업 및 임무분담 최적화
- 실시간 정보 공유와 네트워크 중심 작전(Network-Centric Warfare)의 지능형 확장

이를 위해 미 해군은 기존 함정 중심의 전력구조에 무인함정(USV/UUV)을 본격적으로 편입하고 이를 유인함정과 통합하여 운용하는 유령함대(Ghost Fleet) 구상을 추진하고 있다. 미국은 AI 기반 전투체계를 제3차 상쇄전략(Third Offset Strategy)의 핵심전력으로 규정하며 ‘무인체계 통합 로드맵(2017-2042)’을 통해 유·무인 복합전투체계를 장기 전력구조에 공식 편제하고 있다. 특히 합동전력 수준에서의 통합운용을 목표로 범군 차원의 상호운용성 확보를 강조하고 있다.

한편, 미 국방부는 2019년 이후 Project Overmatch를 중심으로 해군 전력의 AI·데이터 융합 기반 지휘통제체계를 구축하고 있다. 이는 해군 전력 전반을 하나의 통합 네트워크로 연결하여 상황인식(SSA)·데이터처리·전장 의사결정 속도를 획기적으로 향상시키는 것을 목표로 하는 프로그램으로 미 해군이 추진하는 DMO 및 유령함대 개념의 핵심 기술적 기반을 제공하고 있다.

## (2) 주요 프로그램

미국 해군은 AI 기반 유무인 복합전력을 본격적으로 전력구조에 통합하기 위해 다수의 핵심 프로그램을 단계적으로 추진하고 있다. 대표적인 프로그램으로는 유령함대(Ghost Fleet Overlord), 대형 무인수상정(LUSV),

중형 무인수상정(MUSV), 그리고 해군 전력 전체의 지휘·통제를 혁신하는 Project Overmatch가 있다.

(가) 유령함대(Ghost Fleet Overlord)

유령함대는 MUM-T 개념을 시험·검증하기 위한 기술 실증(Technology Demonstration) 프로그램으로, 미 해군이 목표하는 자율협업 기반 전투체계의 핵심개념을 선도적으로 구현한다. 유령함대 프로그램의 주요 목적은 대형 무인수상정을 활용하여 미래 해군이 요구하는 자율운용 기반 전투개념을 실증하는 데 있다. 첫째, 대형 무인수상정의 자율항해 및 임무수행 능력의 검증을 통해 장거리 작전환경에서의 자율성 수준과 알고리즘의 성숙도를 평가한다. 둘째, 유인함정과 무인함정 간의 전술적 협업체계와 데이터 링크 통합성을 시험함으로써 MUM-T 운용에서 필수적인 실시간 정보공유 및 지휘통제 연동 구조를 확인한다. 셋째, 다양한 해상 조건에서의 장거리 항해 및 작전지속 능력에 대한 신뢰성 시험을 통해 무인함정이 실전적 작전지속 요구도를 충족할 수 있는지를 검증한다. 마지막으로, 함대 전력 전체를 하나의 네트워크로 구성했을 때의 역할 분담 구조와 MUM-T 규모 확장의 가능성을 평가함으로써 유무인 복합전력의 전력구조적 효용성을 검증하는 데 목적이 있다.

구분	형상	상능 및 자원	무장
Zumwalt급 스텔스함 (지휘함)		- 전장: 186 m - 톤수: 15,995 t - 최대속력: 55 km/h - 승조원: 147명	- SM-2 (167 km) - RIM-162 (55 km) - 토마호크 (1,600 km) - 로켓형 대잠어뢰
무인 수상함		- 전장: 60 m - 90 m - 톤수: 2,000 t - 최대속력: 70 km/h	- SM-2 (167 km) - SM-3 (700 km) - 토마호크 (2,500 km) - 로켓형 대잠어뢰
무인 잠수정		- 전장: 15.5 m - 톤수: 50 t - 항속거리: 12,000 km	- 어뢰 - 대잠미사일 - 잠대지 토마호크 - 기뢰 제거

16)

[그림 3-1] 미 해군 유령함대 세부전력(안)

16) 주변국 해양문인체계(UMVs) 개발 동향과 한국 해군에 주는 함의 (한국국방기술학회, 2023.4.)

Overlord 무인함정(USV)은 수천 해리의 자율항해 기록을 보유하고 있으며 실전적 환경에서 다양한 센서·무장 통합 가능성을 시험해 MUM-T 확산의 기술적 근거를 제공하고 있다.

(나) 대형 무인수상정(Large Unmanned Surface Vessel, LUSV)

LUSV는 유령함대 실증 결과를 바탕으로 개발 중인 중·장거리 타격 플랫폼으로, 해군의 분산타격구조(Distributed Fires)를 구현하는 데 중요한 역할을 한다.<sup>17)</sup> LUSV 개발의 근본적 목적은 분산해양작전(Distributed Maritime Operations) 환경에서 해군의 장거리 정밀타격 능력을 확장하고, 고위험 지역에서의 작전수행 부담을 유인 전력으로부터 분산시키는 데 있다.

첫째, LUSV는 다수의 수직발사체계(VLS) 탑재를 통해 기존 유인함정 중심의 타격 구조를 보완하며, 이를 통해 적 A2/AD 전략 아래 분산형 타격망(distributed fires network)을 구축하는 것을 목표로 한다.

둘째, AI 기반의 자율항해·충돌회피 알고리즘 검증을 통해 장거리·저피탐 환경에서 무인 플랫폼의 생존성과 기동 신뢰성을 확보하고자 한다.

셋째, 원격 운용과 자율 임무수행을 병행하는 하이브리드 운용체계 확립을 통해 지휘통제 부담을 최소화하며 전술적 유연성을 증대시키는 데 목적이 있다. 이와 같은 개발 목적은 LUSV가 향후 함대 내에서 “전방 타격 노드”로 기능하도록 하기 위한 기반을 제공한다.

(다) 중형무인수상정(Middle Unmanned Surface Vessel, MUSV)

MUSV는 해상전장에서의 정보·감시·정찰(ISR) 능력을 강화하고, 센서 기반 전투체계의 확장을 실현하기 위해 개발되고 있다.

첫째, 고성능 레이더·전자광학 센서 등 다기능 ISR 장비의 통합운용을 통해 광역 감시와 표적획득(Target Acquisition)의 정확성을 확보하는 것

---

17) Congressional Research Service, Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress, CRS R45757, 25 March 2025, pp. 1-2.

이 핵심 목적이다.

둘째, 다양한 센서 노드 간 데이터를 실시간으로 통합하는 센서웹(Sensor Web)의 중심 플랫폼으로서 분산해양작전과 센서-슈터 네트워크 구축에 필요한 정보흐름을 제공한다.

셋째, 저피탐 설계와 장기 작전 지속성을 바탕으로 전방 감시 임무를 유인함정 대신 수행함으로써 전체 함대의 생존성 및 임무효율성을 제고한다. 즉, MUSV는 임무 중심의 정보전력을 구현하기 위한 핵심 ‘센서 플랫폼’으로 설계되며 LUSV·유인함정 등과 연동하여 전장 인식 및 타격 네트워크의 정밀성을 체계적으로 향상시키는 데 목적이 있다.

#### (라) Project Overmatch

Project Overmatch는 미 해군이 주도하는 차세대 전장 네트워크 및 통합 전투체계 구축 프로젝트로 유무인 플랫폼 간의 연결성과 실시간 정보 공유 능력을 확대하여 더욱더 신속하고 정확한 결심(Decision-making)을 가능하게 하는 전투 네트워크 중심의 미래 작전개념이다. 또한, Project Overmatch의 주된 목적은 지휘 통제체계를 AI·데이터 중심 구조로 전환하여 전투 의사결정의 속도 및 정확성을 혁신하는 데 있다.

첫째, 유·무인 플랫폼, 항공자산, 각종 해상 센서를 하나의 통합 전술데이터 네트워크로 연결함으로써 전장 전역의 정보를 실시간으로 공유하는 데이터 기반 전투체계를 구축하는 것이 목표이다.

둘째, AI 기반 데이터 분석 및 전투관리 알고리즘을 통해 센서-슈터 통합을 구현하며 표적 탐지에서 타격 자산 할당까지의 시간축을 단축하여 ‘결심 우위(decision advantage)’를 확보하고자 한다.

셋째, 인간-기계 협업(Human-Machine Teaming)을 통해 지휘관의 판단을 보조하고 전투관리 업무를 자동화함으로써 복잡한 전장 상황에서도 지휘통제 체계가 안정적으로 작동하도록 한다.

Project Overmatch는 해군전력을 단일 플랫폼 중심이 아닌 네트워크 기반 지능형 전투체계로 전환하는 데 그 목적이 있다.



18)

[그림 3-2] Project Overmatch 개념도

### (3) 작전 개념

미 해군의 MUM-T 기반 작전개념은 기존의 대형 유인함정 중심 작전 구조에서 탈피하여 분산된 플랫폼의 네트워크 중심 전력구조로 전환하고자 하는 방향성을 지닌다.

첫째, 분산해양작전(DMO) 개념은 함대를 다수의 유무인 플랫폼으로 다층화하여 전력을 분산 배치함으로써 A2/AD 위협 하에서 전력 생존성을 제고하는 데 목적이 있다. 이 과정에서 LUSV는 타격 중심 노드, MUSV는 정보·감시 중심 노드로서 기능하며, 전장은 상호 연동된 다중노드 체계로

---

18) Project Overmatch는 미 해군이 추진하는 핵심 전략으로 분산된 모든 전력(함정, 잠수함, 항공기, 무인 체계 등)을 하나의 거대한 네트워크로 연결하여 적보다 빠른 의사결정과 타격을 가능하게 하는 해군형 합동 전영역지휘통제(CJADC2) 체계이다.

구성된다.

둘째, 모자이크 전쟁(Mosaic Warfare) 개념은 플랫폼을 기능 단위로 분할하여 임무 요구에 따라 AI가 플랫폼을 조합·재구성하는 동적 전투구조를 구현한다. 이는 전장 상황의 변화에 따라 신속한 임무전환이 가능하도록 설계된 개념으로 MUM-T 규모와 구조의 탄력적 운용을 가능하게 한다.

셋째, Project Overmatch 기반의 AI 지휘통제체계는 센서와 타격 자산의 연속적 통합(S2S Integration)을 통해 전투 반응속도를 결정적으로 단축하고 전장정보의 흐름을 실시간으로 유지함으로써 데이터 중심 전력구조(data-centric force)의 정착을 목표로 한다. 이러한 작전개념과 전력구조의 재정립은 해군 전력을 플랫폼이 아닌 네트워크·데이터·AI 중심의 전투생태계로 재편하는 과정으로 평가될 수 있다.

#### (4) 평가 및 함의

미국의 MUM-T 발전 동향은 기술, 작전, 조직 구조 측면에서 군사혁신(Military Innovation)의 대표 사례로 평가할 수 있다.

##### (가) 평가

첫째, 미국은 기술실증-플랫폼개발-지휘통제통합의 3단계 구조적 접근을 통해 MUM-T 확산을 체계적으로 추진하고 있다. Ghost Fleet으로 개념을 검증하고 LUSV/MUSV로 전력을 확대하며, Project Overmatch로 C2 네트워크를 통합하는 구조는 MUM-T의 실효성을 보장하는 전략적 로드맵으로 기능한다.

둘째, 플랫폼 중심군에서 데이터·네트워크 중심군(data-centric force)으로의 전환을 가속화하고 있다. 이는 단순한 무인화가 아니라 AI 기반 전투관리·데이터 결합을 중심으로 한 전력구조 변환이라는 점에서 군사기술혁신의 심화된 단계로 평가된다.

셋째, 미국은 다영역·합동전력을 증시하는 전략 환경에 맞추어 MUM-T를 합동전력(Joint Force) 차원에서 통합하고 있다. 이는 JADC2와 연계된 구조로 해군만의 프로젝트가 아닌 범군 차원의 혁신이라는 점에서 타국 대비 우위를 확보하고 있다.

#### (나) 한국 해군에 대한 함의

첫째, 한국 해군도 단일 플랫폼 중심의 전력구조에서 벗어나 유무인 복합 기반의 분산전력구조로의 전환이 요구된다. 특히 서·남해의 다층적 위협 환경을 고려할 때 LUSV·MUSV 유형의 무인전력이 ISR 및 타격 능력을 보완하는 역할이 중요하다.

둘째, 미국 사례는 MUM-T가 플랫폼 개발보다 C2·데이터 통합체계 구축이 우선되어야 함을 시사한다. 한국 해군 역시 함정, 기관 간 전술데이터 네트워크 통합, AI 기반 전투관리체계 개발이 병행되어야 한다.

셋째, 한국의 지형적 특성과 작전환경에 적합한 모자이크형 모듈전력 개발이 필요하다. 임무별 모듈 구성과 신속한 재편이 가능하도록 MUSV·소형 USV 중심 체계가 적합하다.

넷째, 국내 산업 기반을 활용한 국가 차원의 AI·자율운용 기술 생태계 구축이 필수적이다. 미국 사례는 정부·군·산업·학계·연구기관의 통합체계가 MUM-T 성공의 핵심임을 보여준다.

## 제 2 절 중국의 발전 동향

### (1) 전략적 배경

중국은 ‘강군몽(强军梦)’ 실현을 국가 현대화의 핵심 전략과제로 규정하고 이를 달성하기 위한 신시대 국방정책을 본격적으로 추진하고 있다. 특히 2021년 이후 중국은 빅데이터·AI·자율운용 기술을 융합한 C4ISR 지능화

체계를 기반으로 하는 다영역 정밀전(Multi-Domain Precision Warfare, MDPW) 개념을 새로운 작전 패러다임으로 발전시키고 있다. 이 개념에서 무인체계는 지능화전 수행의 중심 요소이며 유·무인 결합형 플랫폼, 군집 공격체계, 최적화된 로지스틱 지원체계, 세분화된 ISR 능력 등 다양한 임무의 자동화를 가능하게 하는 핵심 기술로 평가된다.

중국 해군(PLAN)은 이러한 전략 방향성을 바탕으로 ‘스마트 해군(智能海军, Smart Navy)’ 개념을 제시하고, AI 기반 전투관리체계, 자율항법 기술, 빅데이터 분석을 포괄하는 지능형 해상전력을 구축하고 있다.

또한, 국가 산업정책인 ‘중국제조 2025(中国制造2025)’와 연계한 군민 융합(Military-Civil Fusion, MCF) 전략을 통해 민간 AI 기업과 군 연구기관이 협력하는 기술개발 생태계를 형성하였다. 대표적으로 중국 선박중공집단(CSSC), 하얼빈공대(HIT) 등 주요 국방·산업기관이 공동으로 무인함정, 수중자율체계, AI 기반 지휘통제체계를 개발하는 중이다. 이러한 국가 차원의 정책적·산업적 지원은 중국의 MUM-T 전력발전을 가속화하는 중요한 배경으로 작용하고 있다.

## (2) 주요 프로그램

중국은 다양한 무인수상·수중전력을 중심으로 MUM-T 기반 전투개념을 실증하고 있으며, 대표적인 프로그램으로 Zhi Hai(智能海) 프로그램, JARI-USV, Sea Wing(Haiyan) UUV 등이 있다.

### (가) Zhi Hai(智能海) 프로그램

Zhi Hai 프로그램은 AI 기반 자율항행·협업운용이 가능한 복수의 USV 및 UUV를 통합 네트워크 형태로 운용하는 체계를 구축하기 위한 국가 주도 실험사업이다. 이 프로그램은 다중 무인체계의 협업 작전 능력을 검증하는 것을 주요 목표로 하며 2020년 보하이만(渤海湾) 실험에서는 다수

의 무인 플랫폼이 단일 지휘체계 하에서 임무를 분담하고 협력 수행하는데 성공하였다. 이는 중국식 해양 MUM-T 운용의 기술적 기반을 마련한 사례로 평가된다.

#### (나) JARI-USV(CSSC, 2019~)

JARI-USV는 길이 약 15m, 최고속력 42노트의 고속 자율운항형 무인 수상정으로 개발되었으며 대잠전·대함전·감시정찰 등 다목적 전투임무 수행을 위한 소형 무인전투 플랫폼으로 설계되었다.<sup>19)</sup> AI 기반 표적식별·교전제어 시스템을 탑재하고 있어, 전장 상황에서 자율적 표적 탐지 및 전투 의사결정 보조 기능을 수행할 수 있는 것이 특징이다.

#### (다) Sea Wing(Haiyan) UUV

Sea Wing(Haiyan) UUV는 중국이 장기간 개발 중인 심해용 자율잠수정으로 장거리 항법과 해저 데이터 수집 능력을 갖추고 있다. 이 플랫폼은 남중국해 등 전략적 해역에서 운용되고 있으며 해저지형 탐사·수중 감시·센서망 구축 등 해저 전장인식(SA) 향상을 위한 핵심 자산으로 활용되고 있다.

### (3) 작전 개념

중국 해군의 AI 기반 MUM-T 운용개념은 전반적으로 ‘지능형 네트워크 전쟁(智能网络化作战)’으로 요약된다. 이 개념에서 중국은 해상·공중·우주·사이버 영역에서 획득되는 대규모 데이터를 AI가 통합 분석하고 인간의 개입을 최소화하여 실시간 최적 전투방안 도출을 목표로 한다.

이는 기존 ‘인간이 지휘하고 AI가 보조하는 전쟁’에서 AI가 전투 의사결정을 주도하고 인간은 감시·승인 기능을 담당하는 지능화전 지향 구조를 의미한다.

---

19) David B. Larter, “China is working on killer robot ships of its own,” DefenseNews, 18 February 2019.

중국이 추구하는 MUM-T 기반 전장체계는 인간-기계 협업(Human-Machine Teaming)을 넘어 AI 중심 자율결정체계로의 단계적 이행을 지향하고 있다. 무인함정·무인잠수정·군집 드론 등은 이러한 전장 네트워크의 주요 노드로 기능하며 중국은 이들을 활용하여 광역 감시·정찰-표적획득-타격-지휘통제의 연속적 전투망을 구축하고 있다.

#### (4) 평가 및 함의

중국의 MUM-T 발전 전략은 국가전략·산업·군사 분야를 통합하는 군민융합(Military-Civil Fusion, MCF) 체계를 기반으로 추진된다는 점에서 특징적이다. 이러한 중앙집권적 개발 방식은 플랫폼 양산 속도 및 정책 집행력, 산업 자원의 집중 측면에서 높은 효율성을 발휘하며 그 결과 무인전력의 확보와 시험·배치에서 비교적 빠른 성과를 거두고 있다.

그러나 기술 성숙도와 신뢰성 측면에서는 여전히 일부 제약이 존재하며 자율운용 알고리즘의 안정성, 센서·데이터 처리 품질, 국제규범 및 해양법 준수와 같은 영역에서 구조적 한계가 지적되고 있다. 즉, 중국의 MUM-T 발전은 양적 확대와 빠른 배치 속도라는 장점을 보유하는 반면 질적 안정성과 규범적 정합성 측면에서는 도전요인을 내포하고 있다. 한국 해군에 대한 함의는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 중국의 중앙집권형 개발모델은 속도 면에서 경쟁력을 보이거나 기술 신뢰성 확보에는 취약한 경향이 있어 한국은 민·군 협력 기반의 개방적 기술 생태계를 구축하여 안정성과 지속 가능성을 확보할 필요가 있다.

둘째, 중국의 MUM-T 전력 확산은 서해·남해 등 주변 해역의 안보환경에 직접적인 영향을 미치므로 한국은 이에 대응하여 감시체계와 데이터 기반 C4ISR 능력 강화에 주력해야 한다.

셋째, 중국이 다층·네트워크 기반 해양작전 구조를 구축하고 있는 만큼, 한국 역시 분산·기동형 전력구조 발전을 통해 효과적으로 대응해야 한다.

### 제 3 절 영국의 발전 동향

#### (1) 전략적 배경

영국 해군은 2019년 이후 'NavyX 프로젝트'를 중심으로 자율·무인체계 도입을 가속화하며 전력혁신 체계를 정립하고 있다. NavyX는 해군 내 신기술 실험 및 시범운용을 전담하는 혁신 조직으로, 민간 스타트업·학계·방산기업과의 협업을 통해 신속 능력 적용(Rapid Capability Insertion)을 핵심 목표로 한다.

이러한 접근은 신흥 기술을 단계적으로 실전 환경에서 검증하고 검증된 기술을 신속히 함정 운용체계에 반영하려는 영국 해군의 전략적 의지를 반영한다. 특히, 제한된 국방예산 속에서도 실험 중심의 기민한 전력혁신을 가능하게 하는 애자일(agile) 국방혁신 모델을 지향하고 있다는 점에서 영국의 접근은 독자적 특징을 가진다.

#### (2) 주요 프로그램

영국은 NavyX를 중심으로 다양한 무인 플랫폼 및 AI 기반 기술을 통합적으로 개발·검증하는 여러 실험 프로그램을 추진하고 있다.

##### (가) NavyX 프로그램(2019~현재)

NavyX는 영국 해군의 무인체계 실험·AI 기술 검증을 총괄하는 대표적 혁신 플랫폼으로 함정과 무인체계 간 통합운용 실험, 전장환경에서의 AI 전투지원 기능 검증 등을 주요 임무로 한다.

특히, MADFOX(Maritime Demonstrator for Operational eXperimentation) USV는 NavyX의 상징적 플랫폼으로, AI 기반 자율항법, 실시간 위협 인식, 협업 통신 등 MUM-T 핵심 요소 기술을 시험하는 데 활용되고 있다.

### (나) Mast-13 프로젝트

Mast-13은 자율항법 및 충돌회피 알고리즘의 실해상 운용을 검증하기 위해 설계된 실험 플랫폼으로 AI 기반 자율식별·상황인식 기술을 통합한 감시 임무 실증을 2022년에 완료하였다. 이 프로젝트는 영국이 지향하는 신뢰성 중심의 자율운용 기술 발전의 기반을 마련한 사업으로 평가된다.

### (다) 기뢰대응 및 수로조사 체계

(Mine Countermeasure and Hydrography Capability, MHC)

MHC 프로그램은 AI 기반 무인수상정·무인잠수정을 활용하여 기뢰 탐색·제거 및 수로조사 임무를 자동화·지능화하는 장기 사업이다. 영국은 프랑스·네덜란드와 공동 개발을 추진하며 NATO 연합작전 수준의 상호운용성을 확보하는 것을 주요 목표로 하고 있다. MHC는 영국 해군의 무인전력 가운데 가장 실전 배치에 가까운 통합형 MUM-T 프로그램으로 평가된다.

### (3) 운용 개념

영국 해군의 MUM-T 운용 개념은 “Adaptive Teaming”과 “Human-in-the-loop” 원칙에 기반한다.

첫째, Adaptive Teaming은 상황 변화에 따라 유무인 플랫폼 간 협력 구조를 동적으로 구성하는 운용 방식을 의미하며 무인체계의 기능적 역할을 임무 요구에 따라 유연하게 조정하는 개념이다.

둘째, Human-in-the-loop 원칙은 핵심 전투결정 과정에서 인간이 지속적으로 의사결정 루프에 참여하도록 하는 것으로 기술적 자율성보다 신뢰성과 윤리적 통제 가능성을 우선시하는 영국의 운용 철학을 반영한다.

또한, 영국 해군은 NavyX를 활용하여 실험 기반 전력발전(Experimentation-based Development) 모델을 구축하고 기술의 개발-실험-전력화 단계를

장기간의 획일적 절차가 아닌 반복적·순환적 실험 과정 속에서 구현하고 있다. 이러한 접근은 “Agile Defense Innovation”으로 규정되며 기술 리스크를 최소화하면서도 MUM-T 전력을 적시에 확보할 수 있다는 장점이 있다.

#### (4) 평가 및 함의

영국의 MUM-T 발전 사례는 제한된 국방예산과 인력 구조 속에서도 실험 중심의 기민한 전력혁신이 가능함을 보여준 대표적 모델로 평가된다. 특히 NavyX를 통해 기술검증과 시범운용을 선행하고 성공적 결과를 단계적 전력화 과정에 반영하는 운용방식은 AI·자율운용 기술 분야에서 높은 효율성을 보이고 있다. 또한, 인간-기계 협력의 안정적 균형을 유지하는 영국의 접근은 기술적 자율성에만 치우치지 않고 신뢰성·안정성·윤리적 통제를 중시하는 보수적이면서도 실용적인 해군전력 발전모델을 제시하고 있다.

한국 해군에 대한 함의는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 영국의 NavyX 사례는 대규모 예산 투입 없이도 시범운용 중심의 단계적 전력화가 가능함을 보여주며 한국 역시 실험 기반의 신속 시범체계 구축을 통해 위험 분산형 기술개발 전략을 적용할 수 있다.

둘째, 영국의 Human-in-the-loop 개념은 AI 기반 전투체계 도입 과정에서 발생할 수 있는 신뢰성·윤리적 문제를 완화하는 데 유효하며 한국 해군도 AI 기술의 군사적 활용 범위를 설정하는 기준으로 참고할 수 있다.

셋째, 영국이 NATO와의 협력 속에서 상호운용성을 강화하듯 한국 해군 역시 연합전력 및 동맹 기반의 표준화된 MUM-T 기술체계 구축을 장기적으로 추진할 필요가 있다.

## 제 4 절 국가별 비교분석

미국, 중국, 영국의 AI 기반 유무인 복합전투체계(MUM-T) 발전 동향은 공통적으로 AI·자율운용·데이터 기반 네트워크 전력을 미래 해양전의 핵심 요소로 규정한다는 점에서 유사성을 보인다. 그러나 국가별 전략 환경, 산업 역량, 군사조직 문화의 차이는 각각의 MUM-T 발전 전략에 상이한 방향성과 특성을 부여한다. 본 절에서는 세 국가의 전략 개념, 주요 프로그램, AI 적용 수준, 운용 철학, 전력 발전 방식 등을 중심으로 비교하였다.

### (1) 전략 개념 비교

미국, 중국, 영국은 모두 AI 기반 유무인 복합전투체계를 미래 해양전력의 핵심 요소로 인식하고 있으나 각국이 채택한 전략 개념은 상이한 방향성과 우선순위를 반영한다. 우선, 미국은 분산해양작전(Distributed Maritime Operations, DMO)을 중심 전략개념으로 설정하고 합동올도메인 지휘통제(JADC2) 체계와 연동된 전장 네트워크 구축을 통해 유무인전력 간 분산·연계 기반의 통합작전을 강조한다. 이러한 접근은 전장 전역에서의 정보우위 및 결심우위 확보를 목표로 한다.

반면 중국은 ‘지능형 해양전(智能海军)’ 개념을 토대로 AI가 전장의 핵심 의사결정 기능을 수행하는 지능화전(智能化战争) 체계를 지향한다. 이는 인간의 개입을 최소화하고 AI 중심의 자율적 전투 의사결정 구조를 확대하려는 중국의 국가전략 및 기술발전 기초를 반영한다.

영국은 신속실험 기반의 Adaptive Teaming 개념을 채택하여 실험 중심의 기술검증과 인간 중심의 의사결정 체계를 결합함으로써 단계적·유연한 MUM-T 전력화 모델을 구축하고 있다. 이는 제한된 자원 환경에서도 실용성과 신뢰성을 중시하는 영국 해군의 철학을 반영한 접근으로 평가된다.

## (2) 프로그램 비교

세 국가의 핵심 MUM-T 프로그램은 모두 AI·자율운용 기술을 기반으로 하지만 추진 방식과 중점 영역에서 뚜렷한 차이를 보인다.

미국은 Project Overmatch와 Ghost Fleet Overlord를 중심으로 지휘통제 네트워크의 지능화와 대형 무인수상정(LUSV·MUSV)의 실전적 통합을 중점적으로 추진하고 있다. 이는 기술 실증-전력화-통합 C2 구축이라는 일관된 로드맵을 통해 전력의 체계적 확장성을 확보하려는 접근이다.

중국은 Zhi Hai 프로그램, JARI-USV, Sea Wing/Haiyan UUV 등 국가 주도 대규모 개발사업을 중심으로 플랫폼 양산과 광역 실험을 빠른 속도로 진행한다. 이러한 방식은 군민융합(MCF) 체계를 기반으로 자원·인력을 대규모로 집중하는 중국 특유의 추진력을 반영한다.

영국은 NavyX, MADFOX, MHC(Mine Countermeasure & Hydrography Capability) 등 신속실험 중심 프로그램을 통해 소형·중형 무인 플랫폼을 단계적으로 도입하고 있으며 NATO 연합과의 상호운용성 확보를 중요한 목표로 설정하고 있다. 이는 안정성과 효율성을 균형 있게 고려한 소규모·기민형 개발 전략이라고 할 수 있다.

## (3) AI 적용 수준 비교

세 국가는 AI 활용 범위와 자율성 수준에서 상이한 지향점을 보인다. 미국은 전장 상황을 통합적으로 이해·판단·전달하는 고도화된 데이터 융합(AI-enabled Data Fusion)과 유무인 플랫폼 간 자율협업 알고리즘 적용 수준이 가장 높은 것으로 평가된다. 센서-슈터 네트워크(S2S)의 실시간 통합은 그 대표적 사례이다.

중국은 다수의 플랫폼을 동시에 운용하는 대규모 자율체계 실험을 적극 수행하고 있으며, 양적 확장과 운영 범위 측면에서 가장 빠른 진전을 보이

고 있다. 그러나 기술의 신뢰성과 표준화 측면에서는 미국·영국에 비해 상대적으로 성숙도가 낮은 한계를 보여준다.

영국은 제한적 자율성(Restricted Autonomy)을 유지하면서 윤리적 통제와 인간 개입을 중시하는 접근을 채택한다. 이는 자율운용 능력보다 신뢰성·안정성·책임성 확보를 우선시하는 정책·작전 철학의 반영으로 볼 수 있다.

#### (4) 국가별 특징 비교

국가별 MUM-T 전력 발전 방식은 기술, 조직, 정책적 접근에서 명확하게 구분된다.

미국은 지휘통제·데이터 네트워크 구축을 중심으로 한 기술통합형 발전 모델을 구현하고 있으며 유·무인 플랫폼과 C2 체계를 하나의 통합된 전장 생태계로 연결하는 데 강점을 보인다.

중국은 강력한 국가주도 정책, 민군융합 전략, 대규모 자원 투입을 기반으로 대규모·고속 추진형 모델을 채택하고 있다. 빠른 배치와 실험이 가능하지만 기술 성숙도 측면에서 위험 요소도 존재한다.

영국은 실험과 민군협력에 기반한 유연한 애자일(Agile) 혁신 모델을 구축하여 제한된 예산 환경에서도 효율적·단계적 전력화를 실현하고 있다. 이는 기술 리스크를 최소화하면서 실전적 효과를 확보하는 데 유리하다.

아래 표는 미국·중국·영국의 AI 기반 MUM-T 발전전략을 전략 개념, 핵심 프로그램, AI 적용 수준, 운용 철학, 발전 특징 측면에서 종합적으로 비교한 것이다.

[표 3-1] 국가별 AI 기반 유무인 복합전투체계 발전동향 비교분석

구분	미국	중국	영국
전략 개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분산해양작전(DMO) 기반</li> <li>• JADC2 연계 지능형 네트워크 전장 구현</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지능형 해양전 개념</li> <li>• 지능화전 기반 군사혁신</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptive Teaming</li> <li>• 신속실험(Agile Trials) 기반 전력개발</li> </ul>
핵심 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Project Overmatch</li> <li>• Ghost Fleet Overlord</li> <li>• LUSV/MUSV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zhi Hai(智海) 프로젝트</li> <li>• JARI-USV</li> <li>• Sea Wing UUV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NavyX 실험체계</li> <li>• MADFOX USV</li> <li>• MCM(Hunting Capability)</li> </ul>
AI 적용 수준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 데이터 융합 기반</li> <li>• 자율협업 알고리즘 고도화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대규모 실험 중심</li> <li>• 기술 분야별 불균형 성숙도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제한적 자율성 유지</li> <li>• AI 신뢰성·안전성 중심</li> </ul>
운용 철학	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Human-on-the-loop</li> <li>• 감독형 AI 중심</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AI 주도 자율결정 지향</li> <li>• 인간 개입 최소화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Human-in-the-loop</li> <li>• 인간 통제 우선 원칙</li> </ul>
발전 특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C2 네트워크 중심 기술통합</li> <li>• 미-동맹 연동성 강조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가주도·산업집중형 추진</li> <li>• 고속·대규모 확산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 민군협력 확장</li> <li>• 애자일 기반 유연 개발</li> </ul>
한국에 대한 시사점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통합 C2 네트워크 구축 필수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정책·산업 연계 안정화 지속성 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험 기반 단계적 전력화 모델 도입 필요</li> </ul>

본 연구는 미국, 중국, 영국의 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T) 발전 동향을 전략·기술·조직·작전적 측면에서 비교·분석하였다. 세 국가는 공통적으로 AI, 자율운용, 지능형 네트워크를 미래 해양전력의 핵심요소로 인식하고 있으며 유무인 플랫폼의 통합을 통해 전장 인식(SSA), 타격-지휘통제 속도(OODA), 전력 생존성 향상을 추구하고 있다. 그러나 구체적 접근 방식은 국가별 전략 환경과 산업·군사 체계의 차이에 따라 분명한 상이점을 보였다.

미국은 기술통합 중심의 전략으로 DMO-JADC2 연동을 통해 전장 전체를 통합하는 고도화된 네트워크 전력을 구축하고 있다. 반면 중국은 국가주도·산업집중형 모델을 기반으로 빠른 개발·배치를 목표로 하는 대규모·

고속 추진형 전략을 보여주며 수량 중심의 전력 확대와 지능화전 수행능력 확보에 중점을 둔다. 한편 영국은 자원 제약을 고려하여 실험 기반·민군협력 기반의 유연한 애자일 전략을 선택하고 신뢰성 중심의 인간-기계 협력 구조를 고도화하는 데 주력한다.

이와 같은 비교분석은 대한민국 해군이 한국적 환경에 맞는 MUM-T 전력을 발전시키기 위해 고려해야 할 기준과 방향성을 제시한다. 즉, 네트워크 통합, 정책·산업 연계 안정성, 실험 기반 개발체계 확립 등은 한국 해군이 미래 해양전 환경에서 경쟁력을 확보하기 위한 핵심 요소임을 확인할 수 있었다. 다음 장에서는 이러한 시사점을 바탕으로, AI 기반 기술 발전 추세와 전술·작전적 함의를 심층적으로 분석한다.

## 제 4 장 AI 기술 발전 추세와 미래 해양전 양상

인공지능(AI)의 급속한 발전은 전쟁의 본질적 구조, 특히 해양전(Maritime Warfare)의 양상에 근본적인 변화를 초래하고 있다. AI는 전투체계의 효율성을 제고하는 기술적 수단을 넘어 지휘·통제(Command and Control, C2), 표적식별(Target Identification), 자율항법(Autonomous Navigation), 전술의사결정(Tactical Decision-making), 전력 배분(Force Allocation) 등 전장 전반의 의사결정 구조를 재편하고 있다.

본 장에서는 AI 기술의 발전 추세를 기술적 측면에서 분석하고 그 변화가 미래 해양전의 작전·전술 개념 및 전력구조에 미치는 영향을 전망한다. 특히 인간-기계 협력(Human-Machine Teaming, HMT), 자율적 의사결정(AI-based Decision-making), 데이터 중심 해양전(Data-centric Naval Warfare)의 확산을 중심으로 논의를 전개한다.

### 제 1 절 AI 기술 발전의 주요 추세

#### (1) 자율운항(Autonomous Navigation) 기술

AI 기반 자율운항 기술은 해양 플랫폼의 운용방식을 혁신적으로 변화시키는 핵심 분야이다. 다중센서 융합(Sensor Fusion)을 기반으로 한 실시간 항법과 AI 충돌회피, 항로 최적화, 기상대응 알고리즘의 발전은 인간의 개입 없이 장거리 자율 항해를 가능케 하고 있다. 대표적인 사례로, 미 해군의 Sea Hunter는 2021년 4,700해리에 달하는 완전 자율항해에 성공하며, AI 항법 기술의 실증적 전환점을 마련하였다. 국내에서도 국방과학연구소(ADD)가 수행 중인 “자율수상정-자율잠수정 통합항법 연구” 프로젝트를 통해 다중 플랫폼 간 항법 정합성과 통신 융합 연구가 진행되고 있다.

향후 발전방향은 GPS 의존도를 최소화한 AI 기반 관성항법시스템(INS) 보정 기술 및 강화학습(Reinforcement Learning)을 활용한 환경 적응형 자율항법체계 구축으로 나아가고 있다.

AI 자율항법 기술은 해군의 분산작전(Distributed Maritime Operations)과 무인편대(Autonomous Fleet) 운용의 실현을 위한 기술적 기반을 제공한다.



20)

[그림 4-1] 지능항해 시스템 개념도

## (2) 상황인식(Situational Awareness) 및 표적식별

AI 기반 상황인식 기술은 전장 인지능력의 질적 향상을 이끄는 핵심 요소이다. 레이더, 소나, 전자광학(EO), 적외선(IR) 등 다양한 센서 데이터를 AI가 융합 처리함으로써 표적의 식별과 분류의 정확도가 크게 향상되고 있다.<sup>21)</sup> 최근에는 CNN(Convolutional Neural Network)과 Vision Transformer(ViT) 기반의 딥러닝 모델이 적용되어, 해상 클러터(Sea

20) 지능항해 시스템(Intelligent Navigation System)은 인공지능(AI), 빅데이터, 사물인터넷(IoT) 기술을 결합하여 선박의 상황인지, 판단, 제어를 지능화한 시스템이다. 2025년 기준, 자율운항선박(MASS)의 핵심 기술로서 실해역 실증 단계에 진입해 있다.

21) K. Talpur et al., “Artificial Intelligence in Maritime Security: Applications, Challenges, Future Directions,” Information, 16(6), 2024, p. 90.

Clutter) 및 기상 요인의 영향을 효과적으로 제거하는 수준에 이르렀다.

영국 해군의 NavyX MADFOX 프로젝트에서는 AI 영상분석을 통해 기뢰를 자동 식별하는 실험이 2022년에 수행되었으며 중국의 JARI-USV 역시 다중 표적 자동추적(Auto-tracking) 기능을 탑재하여 자율 작전수행 능력을 입증하였다.<sup>22)</sup>

이러한 기술발전은 인간의 인지부하(Cognitive Load)를 감소시키고 지휘결심 속도(ODA Loop)를 단축시켜 전투지휘의 신속성과 정확성을 동시에 향상시키는 효과를 가져온다.



[그림 4-2] NavyX MADFOX 프로젝트

### (3) 전술의사결정 지원(AI-based Decision Support)

AI는 단순한 자동화 시스템을 넘어, 전술결정의 보조자(Strategic

22) “UK Navy receives Madfox autonomous vessel,” ArmyRecognition, 29 March 2021.

23) 영국 해군의 NavyX MADFOX 프로젝트는 해양 유무인 복합전투체계를 실전에서 검증하고 데이터 기반의 미래 해군을 건설하기 위한 핵심 혁신 프로젝트이다. 2025년 말 기준, 이 프로젝트는 단순한 기체 테스트를 넘어 연합군과의 데이터 통합 및 하이브리드 함대(Hybrid Fleet) 운용의 중추적 역할을 수행하고 있다.

Partner) 로 진화하고 있다. 최근의 AI 전술지원체계는 강화학습과 몬테 카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 결합하여, 수많은 전술옵션을 실시간으로 평가하고 지휘관에게 최적의 선택안을 제시한다.

미 해군의 Project Maven은 초기 영상분석을 넘어 전술의사결정 지원 시스템으로 확장되었으며 미 해병대는 AI가 제시한 전술옵션을 인간이 승인하는 Human-on-the-loop 구조를 도입하였다. 이러한 체계는 단순한 자동화를 넘어 “설명가능한 인공지능(Explainable AI, XAI)” 기술을 기반으로 인간 지휘관이 AI의 판단 근거를 해석·검증할 수 있도록 지원한다.

이는 궁극적으로 AI를 “지휘관의 전략적 결심을 보조하는 파트너”로 자리매김하는 기술적 토대를 형성한다.



24)

[그림 4-3] 미 'Project Maven', 실용화 단계 진입

24) 미 국방부의 상징적인 AI 사업인 '프로젝트 메이븐(Project Maven)'은 2025년 현재 단순한 연구 단계를 넘어 미 해군의 Project Overmatch 및 육·공군의 지휘통제 체계에 완전히 통합된 실전 배치 단계에 진입했다.

(4) 자율협업 및 군집운용(Swarm and Cooperative AI)

AI 기반 군집운용 기술은 다수의 무인체계가 협력적으로 임무를 수행하는 지능형 편대작전 개념을 실현한다. 이 기술은 중앙집중형(Centralized) 제어에서 분산형(Distributed), 그리고 궁극적으로 자율협업형(Self-organized)으로 발전하고 있다. 미국 DARPA의 OFFSET 프로그램에서는 250대 이상의 자율체계가 동시 임무를 수행하는 실험이 진행되었고 중국의 Zhi Hai 프로젝트(2020)는 AI 기반 무인편대 협업 실험을 통해 다중 전선 작전 가능성을 입증하였다. 향후에는 AI 분산의사결정 알고리즘(Consensus Decision-making) 및 Swarm Intelligence 기반 임무 재분배 기술을 통해 무인 플랫폼 간의 실시간 협업과 임무 전환이 가능해질 것이다.

이로써 “자율 편대함대(AI Fleet)” 개념이 현실화되며 미래 해전은 “다중 전선(Multi-front) 자율작전 체계”로 확장될 것이다.



[그림 4-4] 군집드론 중심의 유무인 복합전투체계 기술 운용 개념도

25) 2025년 기준, 군집드론(Drone Swarm) 중심의 해양 유무인 복합전투체계는 다수의 저가형 무인기를 네트워크로 묶어 하나의 유기체처럼 운용함으로써 적의 방어 체계를 무력화하는 '물량의 지능화'를 핵심으로 한다.

## (5) 지휘통제(C2) 및 데이터 융합

AI는 지휘통제체계(C2)의 중심축으로 부상하고 있다. 센서·플랫폼·무기 체계에서 수집된 데이터를 AI가 실시간으로 융합하여 공통작전상황도(Common Operational Picture, COP)를 형성함으로써 전장정보의 단일화와 의사결정의 자동화를 동시에 달성하고 있다. 미국 해군의 Project Overmatch는 AI C2 엔진을 통해 모든 플랫폼을 단일 네트워크로 통합하였으며 한국 해군의 KDDX 구축함 또한 AI 기반 데이터융합 및 표적관리 모듈을 탑재하여 실시간 전장 인식능력을 강화하고 있다.

AI-C2 통합의 발전은 단순한 정보 통합을 넘어 데이터 신뢰성 보장(AI Assurance)과 실시간 자동 의사결정(Automated Decision-making)을 가능케 함으로써 “무기의 성능이 아닌, 데이터의 질과 속도가 전투의 승패를 결정하는 시대”로의 전환을 예고한다.

## 제 2 절 AI 기술 발전이 초래할 미래 해양전 양상

전 세계적으로 차세대 무기체계가 될 해양무인체계의 개발 경쟁이 본격화되고 있다. 2022년 발발한 러시아-우크라이나 전쟁과 인도-태평양에서 치열하게 전개되고 있는 미국과 중국 간 전략 경쟁은 새로운 안보환경의 변화를 초래하고 있다. 미래의 전쟁 양상을 정확하게 예측하기는 쉽지 않지만 분명한 것은 가까운 미래에 인공지능 기반의 첨단 과학기술을 탑재한 무인체계는 국가 간 군사 무기체계 기술 경쟁의 핵심이자 게임 체인저(game changer)가 되리라는 점이다.

AI 기술의 국방분야 확산은 미래 해전의 전술·작전 개념을 근본적으로 바꿀 것으로 예상된다.

### (1) 인간-기계 협력 중심의 전투체계 전환

기존의 해전 수행 체계는 인간의 판단과 명령에 전적으로 의존하는 인간 중심(Human-centric) 구조를 기반으로 하였다. 그러나 인공지능(AI) 기술의 급속한 발전은 이러한 구조를 인간-기계 협력(Human-Machine Teaming, HMT)기반으로 전환 시키고 있다.

HMT 체계에서 인간은 전략적 결심, 윤리적 판단, 감독 및 승인과 같은 고차원적 의사결정 기능을 담당하며, AI는 대량의 데이터를 실시간으로 분석하고 전술적 제안을 수행하며, 반복적이고 시간 제약이 심한 임무를 자율적으로 수행한다. 이러한 역할 분담은 인간의 인지적 한계를 보완하고 복잡한 전장 환경에서 지휘관의 의사결정 속도와 정확성을 향상시키는 핵심 요인으로 작용한다.

특히, HMT 체계는 OODA(Observe-Orient-Decide-Act) 루프를 단축함으로써 작전 주기의 효율성을 극대화한다. 인간은 AI의 분석 결과를 기반으로 전략적 결심을 내리며, AI는 이를 지원하기 위한 최적의 전술옵션을 실시간으로 제시함으로써 ‘인간의 통찰(Human Insight)’과 ‘기계의 연산능력(Machine Intelligence)’이 상호보완적으로 결합된 전투체계를 구현한다. 이러한 변화는 이미 주요 해군 강국의 실험적 운용을 통해 입증되고 있다. 예를 들어, 미 해군의 Sea Hunter는 인간의 개입 없이 자율적으로 대잠작전을 수행함으로써 AI 주도 자율운용의 가능성을 실증하였으며, 영국 해군의 NavyX 프로그램은 AI가 표적을 탐지·식별한 후 인간이 최종적으로 교전 승인을 내리는 “Human-on-the-loop” 체계를 실전 실험 단계에서 운용하고 있다.

인간-기계 협력형 전투체계는 인간의 전략적 판단과 AI의 계산적 효율성이 결합된 새로운 전장 패러다임을 제시하며, 향후 해군 작전에서 ‘지능 중심 전투체계(Intelligence-centric Combat System)’로의 전환을 가속화될 것으로 전망된다.

## (2) 분산·네트워크 중심의 전장 구조

인공지능(AI)과 데이터링크 기술의 융합은 기존의 중앙집중형 해전 구조를 근본적으로 변화시키고 있으며, 이를 통해 분산해양작전(Distributed Maritime Operations, DMO) 개념이 현실화되고 있다. 과거의 해전은 대형 유인 플랫폼(예: 항공모함, 이지스 구축함 등)을 중심으로 전투력이 집중되는 형태를 취하였으나, AI 기반 전장 환경에서는 다수의 소형 자율 플랫폼이 네트워크로 결합된 분산형 전력 구조(Distributed Force Architecture)로 재편되고 있다.

이러한 구조에서는 AI가 각 전력 노드(Node)의 임무를 실시간으로 분석하고 전장 상황의 변화에 따라 임무 우선순위를 동적으로 조정함으로써 전체 전장의 작전 효율성을 극대화한다. 즉, AI는 각 노드 간의 통신·감시·타격 자원을 통합 관리하여 지능형 네트워크(Intelligent Network) 형태의 전장 지휘·통제 구조를 형성한다.

이와 같은 분산형 네트워크 전장은 생존성(Survivability)과 회복탄력성(Resilience)을 동시에 강화한다. 대형 플랫폼 중심의 전력구조는 단일 자산의 손실이 전력 전체의 작전능력에 직접적인 영향을 미치는 반면, 분산형 구조에서는 개별 노드의 손실이 전체 작전 수행에 미치는 영향이 제한적이다. 이는 전력의 회복능력을 향상시키고, 적의 탐지·공격에 대한 노출 가능성을 현저히 감소시키는 효과를 갖는다. 이러한 개념적 변화는 미 해군이 제시한 “집중의 분산(Distributed Lethality)” 전략과 궤를 같이한다. 즉, 전투력의 집중 개념을 ‘대형 함정의 집중’에서 ‘네트워크 기반의 분산된 화력 집중’으로 전환함으로써 전장의 유연성과 적응성을 극대화하는 것이다. AI는 이를 가능케 하는 핵심 매개체로서 각 플랫폼 간의 데이터 융합과 임무 재조정을 실시간으로 수행함으로써 네트워크 중심 해전(Network-Centric Warfare)의 새로운 진화단계를 구현하고 있다. 결국, 분산·네트워크 중심의 전장 구조는 AI 중심 지휘통제체계(AI-driven C2

System) 와 결합하여 미래 해전의 기본 작전 패러다임으로 정착할 것이며 향후 대한민국 해군 또한 이러한 구조적 변화를 반영한 분산형 전력구조 구축 전략을 마련할 필요가 있다.

### (3) 자율전투체계와 ‘AI 지휘관(Algorithmic Command)’의 등장

AI 기술의 고도화는 전술적 보조를 넘어 제한된 범위 내에서 자율적 전투결정(Autonomous Combat Decision)을 수행할 수 있는 새로운 지휘 주체의 등장을 예고하고 있다. 특히 통신 두절 또는 지휘 불능(Degraded Command Environment) 상황에서 AI는 인간의 직접적인 명령 없이 임무를 완수하기 위한 제한적 자율결정을 수행해야 하며 이러한 기능은 AI가 일정 수준의 전술결정권(Tactical Decision Authority)을 보유한 준(準)지휘 주체(Quasi Command Entity) 로 진화하는 방향을 의미한다.

이러한 ‘AI 지휘관(Algorithmic Commander)’ 개념은 단순히 인간의 결정을 보조하는 수준을 넘어, 자율적 판단-결정-집행의 일련 과정을 기계가 일정 부분 담당하는 전장 지휘의 새로운 형태를 제시한다. 예를 들어, 통신이 차단된 무인잠수정(UUV)이나 무인수상정(USV)은 중앙 통제 없이 AI 알고리즘에 의해 임무 우선순위를 재조정하고, 전술적 상황에 맞춰 표적 탐지·회피·교전 결정을 수행해야 한다. 이러한 기능은 실시간 데이터 분석, 위험 평가, 확률적 의사결정 알고리즘에 의해 뒷받침된다.

그러나 AI가 자율적으로 전투결정을 내리는 것은 필연적으로 윤리적·법적 논쟁(Ethical and Legal Controversy)을 수반한다. 특히 전투 결과에 대한 책임소재(Accountability), 자율행동의 승인 범위(Delegation of Lethal Authority), 국제인도법(LOAC) 및 교전규칙(ROE)과의 정합성 등의 문제가 주요 쟁점으로 부상하고 있다. 이에 따라 대부분의 국가에서는 ‘의미 있는 인간의 통제(Meaningful Human Control)’ 원칙을 유지하면서도, 통신 단절 등 예외적 상황에서는 AI의 제한적 자율성을 허용하는 조건부 자율결정 체계(Conditional Autonomy Framework)를 검토하고 있다.

그럼에도 불구하고, 속도전(Tempo Warfare)이 전장 우위를 결정하는 현대전의 특성상, 인간의 인지·결심 속도를 초월하는 AI 판단력 경쟁(Intelligence Tempo)은 불가피한 현실로 인식되고 있다. 즉, 미래 해전의 경쟁력은 단순한 무기 성능의 우열이 아니라, AI가 얼마나 신속하고 정밀하게 상황을 인식하고 결정을 내릴 수 있는가에 의해 좌우될 것이다.

‘AI 지휘관(Algorithmic Command)’의 부상은 전통적인 지휘통제 개념에 근본적 변화를 초래하며, 인간-AI 간 역할 분담, 자율권의 한계, 책임 체계의 재정립 등 복합적인 제도적·윤리적 논의가 병행되어야 한다. 따라서 향후 해군의 AI 운용체계는 “인간의 통제 하 자율적으로 결심하는 AI(Autonomy under Human Oversight)” 구조로 발전해야 하며 이는 기술적 완성도와 함께 법적·정책적 안정성을 확보하는 방향으로 진화해야 할 것이다.

### 제 3 절 AI 기반 해양전의 핵심 변화 요소

#### (1) 지휘통제(C2) 체계의 변화

AI 기반 C2 체계는 전투현장에서 생성되는 방대한 데이터를 실시간 분석함으로써 지휘결심(OODA Loop)을 대폭 단축시키며 위계적·직렬 구조의 기존 체계 대비 분산형 자율 조정이 가능해진다. 이는 전장 환경 변화에 대한 대응 속도 및 결정의 질적 향상으로 연계된다.

#### (2) 전력 구조의 변화

기존의 대형 플랫폼 중심 전력에서 벗어나, 소형·무인 플랫폼의 네트워크화에 기반한 분산형 전력구조가 강화된다. 이를 통해 적 위협에 대한 생존성·지속성·회복탄력성(Resilience)이 향상된다.

#### (3) 무기체계 운용 방식의 변화

인간의 직접통제를 전제로 하던 기존 방식에서 AI 자율운용과 인간-기계

협력(MUM-T) 기반 운용방식으로 전환된다. 이를 통해 인간은 고위험 임무에서 분리되고 전술적 판단과 자동화된 작동이 결합된 전투효율 극대화가 가능해진다.

(4) 전술 개념의 변화

기존의 계획 중심·규범적 전술에서 벗어나 AI를 활용한 상황 적응형 전술(Dynamic Tactics)이 실현된다. 실시간 데이터 분석과 예측 기반 운용은 전장주도권 확보에 기여한다.

(5) 결심 구조의 변화

인간의 직관에 의존하던 체계는 AI의 예측분석(Analytics)과 결심 자동화(Decision Automation)를 통해 보다 합리적이고 신속한 결심이 가능해진다. 이는 결심 속도 우위(Decision Superiority) 확보를 의미한다.

(6) 전장 인식 능력의 변화

다출처 센서 데이터의 통합(AI Sensor Fusion) 기반으로 전장 투명성(Battlespace Transparency)이 확대되고 탐지-식별-대응의 전 과정이 가능해진다. 이를 통해 적 위협에 대한 선제적 대응이 가능해진다.

[표 4-1] 기존 해양전과 AI 기반 미래 해양전 비교

구분	기존 해전 체계	AI 기반 미래 해전 체계	변화의 핵심
지휘·통제(C2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>인간 중심 명령·보고 체계</li> <li>계층적·선형적 통제 구조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>실시간 데이터 기반 자율 조정형 C2</li> <li>네트워크 기반 분산 지휘</li> </ul>	OODA 루프 단축
전력 구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>대형 플랫폼 중심 집중형 전력</li> <li>제한적 확장성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>분산·모듈형 전력구조</li> <li>확장 가능한 네트워크 전력 강화</li> </ul>	분산화 및 생존성
무기체계 운용	<ul style="list-style-type: none"> <li>인간의 직접 조종·통제</li> <li>단일 플랫폼 중심 교전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자율운용·AI 협업 교전</li> <li>다중 플랫폼 동시 작전</li> </ul>	인간-기계 협력 (HMT) 강화
전술 개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>사전 계획 중심 작전</li> <li>변화 대응 속도 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>데이터 기반 동적 전술</li> <li>실시간 상황 적응</li> </ul>	적응형 전투
결심 구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>인간 직관 중심 판단</li> <li>정보 처리량 한계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AI 분석·예측 기반 의사 결정 지원</li> <li>고속 결심 구조</li> </ul>	의사결정 자동화
전장 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>제한적 정보 공유</li> <li>부분적 상황 인식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>통합 센서망·AI 융합 기반</li> <li>전장 투명성 확대</li> </ul>	전장 투명성 향상

## 제 4 절 미래 해양전 양상의 주요 변화

AI 기술의 급격한 발전과 유무인 복합전력(MUM-T)의 확산은 미래 해전의 본질적 구조를 변화시키고 있다. 기존의 “인간 중심의 집중적 지휘통제 체계”는 “AI 중심의 분산·지능형 전장 네트워크”로 전환되고 있으며 전투의 속도(tempo), 결정권(decision authority), 공간적 확장성이 지금까지의 전쟁 양식을 초월하는 수준으로 진화하고 있다.

본 절에서는 AI가 미래 해전의 양상에 가져올 주요 변화를 전략적, 작전적, 기술적, 인적 측면에서 분석한다.

### (1) 전략적 차원: 전력구조와 억제개념의 변화

전략적 차원에서의 가장 두드러진 변화는 전력구조(Intelligent Force Structure)의 재편이다. 과거의 해군 전력은 항공모함과 구축함 등 대형 유인 플랫폼을 중심으로 구성되었으나 미래의 해전에서는 소형 자율 플랫폼(Miniaturized Autonomous Platforms) 다수가 네트워크로 연결된 분산형 구조로 전환되고 있다. 이러한 변화에 따라 전력의 효율성을 결정하는 지표는 더 이상 ‘함정의 수’가 아니라, 네트워크 내 지능 노드(Intelligent Node)의 수와 데이터 처리능력(Data Processing Capacity)으로 대체되고 있다. 또한, AI 기반 탐지-분석-반응 체계는 예방적 억제(Preventive Deterrence) 기능을 강화함으로써 기존의 ‘억제 후 대응(deterrence-after-reaction)’ 구조를 ‘예측 및 선제 억제(preemptive deterrence)’로 진화시키고 있다. 이러한 전력운용의 지능화는 적의 행동을 사전에 예측하고 실시간으로 위협을 평가하여 자동화된 대응을 가능하게 함으로써 지능형 억제체계(Smart Deterrence System)의 구현을 가능케 한다. 아울러 각국이 자국 독자 AI 모델을 개발·운용함으로써 전략적 자율성(Strategic Autonomy) 또한 강화되고 있다. 동맹국 중심의 작전협조 체계 내에서도 개별 국가가

독립적으로 전장정보를 해석하고 자체 알고리즘에 기반한 의사결정을 수행할 수 있는 능력을 확보하게 된다. 이러한 변화는 장기적으로 ‘동맹 내 기술 독립성(Technological Sovereignty within Alliances)’이라는 새로운 전략적 과제를 제기하고 있다.

### (2) 작전적 차원: 분산형 전장과 지능형 지휘통제

AI와 데이터 융합 기술의 발전은 해전의 작전 구조를 근본적으로 변화시키고 있다. 과거의 중앙집중형 작전구조에서 벗어나, 다수의 유·무인체계가 동시 협력하는 분산형 전장전역(Distributed Battlespace)이 형성되고 있다. 이러한 환경에서 작전의 중심은 더 이상 특정 함대나 지휘부가 아니라 네트워크 전체를 구성하는 노드(Node) 들로 분산된다.

지휘통제체계(C2) 또한 “명령-수행(Command-Execution)” 중심의 선형 구조에서 “학습-예측(Learning-Prediction)” 기반의 지능형 C2(AI-driven C2)로 전환되고 있다. AI는 전장 내 모든 센서, 무기, 플랫폼에서 수집된 데이터를 통합하여 실시간으로 전술 결정을 보조하거나 자동화된 명령을 생성한다. 결과적으로 작전의 반응속도는 인간의 인지 한계를 넘어서는 수준으로 향상되며 전투의 의사결정 주기는 ‘0초 전투(Zero-time Warfare)’에 근접하게 된다.

이와 같은 초연결형 전장 환경에서는 각 노드가 자율 판단과 협업을 수행할 수 있는 분산 자율체계(Distributed Autonomy)가 필수적이다. 이는 작전의 회복탄력성(Resilience)을 제고하는 동시에, 적의 전자전(EW) 또는 사이버 공격에 대한 대응력을 강화시킨다.

### (3) 전술적 차원: AI 기반 의사결정과 교전 양상 변화

전술적 차원에서 AI는 과거 및 실시간 데이터를 기반으로 전술적 행동을 스스로 선택·수정하는 알고리즘 전술(Algorithmic Tactics)을 구현한

다. 이러한 체계는 단순히 상황을 인식하는 수준을 넘어 전술옵션의 탐색-평가-결정을 자율적으로 수행하며 결과적으로 전장의 주도권을 인간으로부터 기계로 일부 이전시킨다.

AI의 학습 능력과 예측 기능은 전투 개념을 기존의 “탐지 후 대응(Detect-to-React)”에서 “예측 후 선제(Detect-to-Prevent)”로 전환시킨다. 이를 통해 AI는 적의 기동 패턴과 공격 시점을 사전에 예측하여 선제적 대응을 수행할 수 있으며 작전의 시간적 우위를 확보하게 된다.

다수의 무인체계가 자율적으로 협력하여 임무를 수행하는 군집전술(Swarm Tactics)은 기존의 방공망·대잠망을 무력화할 수 있는 잠재력을 보유하고 있다. 군집전술은 포위, 기만, 분산 교전 등 복합 전술적 기동을 통해 상대의 정보·타격 체계를 교란시키며 ‘저비용-고효율(Asymmetric Efficiency)’의 전투 효과를 창출한다. 이러한 군집형 자율전력의 등장은 전장의 예측 불확실성을 확대시키는 동시에, 새로운 전술적 우위를 제공하는 중요한 변수가 되고 있다.

#### (4) 인적 차원: 인간의 역할과 전투윤리 변화

AI의 전술 판단 및 전투집행 능력이 고도화됨에 따라 인간의 역할은 점차 전략적 결심(Strategic Decision-making), 규범적 판단(Normative Judgment), 감독 및 승인(Supervision) 기능으로 재편되고 있다. 즉, 인간은 전투의 직접 수행자에서 AI 작전의 감독자(Supervisory Commander)로 역할이 전환되고 있는 것이다. 이러한 변화는 전통적인 “지휘관 중심 전쟁(Man-in-Command)”에서 “인간-기계 협업 전쟁(Human-Machine Teaming Warfare)”으로의 근본적 전환을 의미한다. 그러나 자율교전(Auto Engagement) 체계의 확산은 새로운 윤리적·법적 논제를 수반한다.

전투행위의 결과에 대한 책임소재(Accountability) 문제, 교전규칙(ROE)과 국제인도법(LOAC) 내에서의 자율행동 한계 정의, 그리고 AI의

판단 오류에 대한 보상·책임 체계의 정립이 요구된다. 따라서 설명가능 인공지능(Explainable AI, XAI)과 인간 감시 메커니즘(Human Oversight Mechanism)의 제도화는 필수적이며 이는 AI가 내리는 판단의 투명성(Transparency)과 신뢰성(Trustworthiness)을 확보하는 데 핵심적 역할을 수행한다. AI를 신뢰 가능한 전투 파트너로 활용하기 위해서는 지속적인 모델 학습 검증(Continuous Validation), 오판 위험 최소화(Risk Minimization), 결정 과정의 투명화(Process Transparency)가 병행되어야 한다. 이러한 기술적·윤리적 통제체계가 정착될 때, AI는 단순한 자동화 도구를 넘어 인간과 함께 전장을 설계·운영하는 지능형 전우(Intelligent Teammate)로 자리매김할 것이다.

AI 기술은 해군 전력의 본질적 패러다임을 변화시키고 있다.

자율운항·상황인식·의사결정·군집운용·C2 융합 기술은 각각 독립적 발전이 아니라 “AI 기반 통합전투생태계(AI-enabled Combat Ecosystem)”로 수렴하고 있다.

미래의 해양전은 다음과 같은 특징을 보일 것이다.

- AI가 지휘통제의 중심으로 부상하고 인간은 감독자·결정자 역할을 수행
- 분산·네트워크 중심의 자율전력구조가 형성
- 데이터 속도와 AI 판단력이 승패를 결정하는 “지능의 전쟁(Intelligence-centric Warfare)”으로 전환

이러한 변화 속에서 대한민국 해군은 AI 기반 전투체계의 기술적 자립과 전략적 운용개념 정립을 병행해야 한다.

다음 장에서는 이러한 분석을 바탕으로 한국 해군의 발전 전략 및 정책적 시사점을 제시한다.

## 제 5 장 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전방안

### 제 1 절 해군 무인체계 개발 현황 및 시사점

21세기 해양전은 인공지능(AI) 기술의 급속한 발전과 함께 작전환경이 복잡·지능화되고 있으며 이에 따라 해군전력의 중심은 단일 플랫폼 중심에서 네트워크 기반 유무인 복합전투체계(MUM-T: Manned-Unmanned Teaming) 중심으로 전환되고 있다.<sup>26)</sup> 대한민국 해군(이하 ROKN)은 이러한 변화에 대응하여 2020년대 중반 이후부터 무인체계 전력화를 적극적으로 추진하고 있다.<sup>27)</sup>

현재 추진중인 「해양 무인체계 개발사업(Maritime Unmanned System Program)은 수상(USV), 수중(UUV), 항공(UAV) 영역을 통합적으로 개발·운용하기 위한 기반사업으로 평가된다.

특히, 한화시스템과 현대중공업이 공동 개발한 무인수상정(USV) Sea Sword-II는 자율항법, 충돌회피, 원격통제 등 핵심기술을 실증함으로써 자율도(Level of Autonomy) 3단계 수준의 기술적 성숙도를 달성하였다. 2024년에는 다국적 해양연합훈련인 RIMPAC에 Sea Sword-II가 참가하여 미 해군, 호주 해군 등과 연합 운용실험을 수행하였다. 해당 훈련에서는 무인체계 간 데이터링크, 분산작전, 상황공유(Shared Awareness) 기능이 검증되었으며 이는 대한민국 해군이 국제 MUM-T 네트워크에 본격적으로 진입한 첫 사례로 평가된다.

또한, 함상형 무인항공기(UAV) Sea Raven은 중형 함정 탑재용으로 개발되어 해상정찰, 표적획득, 통신중계 등의 임무 수행을 목표로 하고 있

26) 김 영주 외, 「해군 유·무인 복합전투체계(MUM-T) 도입 필요성 연구」, 해군사관학교 군사논문집, 제34권 2호, 2023, pp. 45-46.

27) 방위사업청, 「2024 국방기술전략」, 2024, p. 172.

다. 이는 해상전투에서 실시간 감시·정보수집 기능을 강화하여 유무인 연계 작전의 효율성을 제고할 수 있는 기반이 된다. 해군 무인체계 현황 및 시사점을 요약하면 [표 5-1]로 표현되며 Sea Sword-II 사진은 [그림 5-1]과 같다.

[표 5-1] 대한민국 해군 무인체계 개발 현황 및 시사점

구분	현황	시사점
기술개발	USV/UUV/UAV 다영역 개발 병행	플랫폼 중심에서 체계 중심으로 전환 필요
운용실험	제한적 실증훈련 단계	통합 운용개념(CONOPS) 부재, 실험 기반 확충 필요
제도·인력	AI 검증·정비체계 미비	제도·조직·훈련의 병행 구축 필요



28)

[그림 5-1] Sea Sword-II

28) LIG넥스원이 개발한 해검-II(Sea Sword-II)는 대한민국 해양 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 핵심 전력으로, 인공지능(AI) 기반의 자율 운항 기술이 적용된 다목적 무인수상정(USV)이다. 2025년 기준, 해검-II는 단순한 시제품 단계를 넘어 실해역에서의 임무 수행 능력을 검증받으며 실용화 단계에 진입해 있다.

## 제 2 절 미래 해양전 유무인 복합전투체계 운용개념

### (1) 기본 개념

본 연구는 미래 해양전의 복합적 위협환경에 효과적으로 대응하기 위해 AI를 기반으로 한 인간-기계 협업의 최적 구조가 필수적이라는 문제 인식에 기반하여 운용개념을 다음과 같이 제안한다. 본 연구가 제시하는 AI 기반 MUM-T 운용개념은 “사람이 주도하고 AI가 보조하는 전투관리체계 (Human-on-the-loop)”를 근간으로 하며 인간은 고차원 전략적 판단과 무력 사용에 대한 최종결정권을 유지하고 AI는 반복적이고 고속 판단이 요구되는 임무 수행을 전담함으로써 인간의 인지부하를 경감하고 전장의 반응속도를 극대화하는 것을 목표로 한다.<sup>29)</sup> 이는 향후 해양전에서 요구되는 윤리적 통제와 계산 효율성 간의 균형을 확보할 수 있는 가장 현실적이며 발전지향적인 운용개념이라 할 수 있다.

또한, 본 연구는 AI 기반 유무인 복합전투체계의 운용을 전략층(Strategic Layer) - 전술층(Tactical Layer) - 전투층(Engagement Layer)으로 구분하는 3단계 계층 구조로 제시한다.<sup>30)</sup> 이 계층 구조는 전장 환경 변화에 신속하게 적응하며 분산된 전투요소의 통합적 효과를 극대화할 수 있다는 점에서 미래 해양전에 적합한 구조적 틀을 제공한다.

첫째, 전략층에서는 AI가 다중 센서·정보자산에서 수집한 데이터를 통합하여 전장 상황을 고도화된 형태로 분석하고 종합적인 공통상황도(Common Picture)를 제공한다. 이를 통해 지휘관은 다영역 복합 상황에서도 임무 계획(Operation Plan)을 보다 신속하고 정확하게 수립할 수 있다. 즉, AI는 전략적 의사결정을 가능하게 하는 지능형 상황인식(Intelligent Situation Awareness) 기능을 수행한다.

둘째, 전술층에서는 전략적 목표에 기반하여 유인 전력이 임무를 하달하

29) U.S. Navy, Distributed Maritime Operations Concept, 2020.

30) NATO STO, Human-Machine Teaming for Future Operations, 2022, p. 18.

고 무인 전투체계가 자율적 기동과 협업작전을 수행한다. 이 단계에서 AI는 통신 제약이나 해양환경 변화 속에서도 임무 지속을 가능케 하는 전술적 자율성(Tactical Autonomy)을 보장한다. 즉, 유인 지휘관의 통제 아래에서 제한적 자율성이 부여된 Human-on-the-loop 구조가 구현된다.

셋째, 전투층에서는 AI가 표적탐색·식별, 위협평가 및 교전 선택을 실시간으로 지원하여 신속하고 정확한 전투결심(Combat Decision)을 보조한다. 다만 무기 사용 승인(Weapon Release Authority)은 인간 지휘관이 연속적으로 보유함으로써 윤리적 책임성과 법적 정당성을 확보한다. 이러한 구조는 인간의 판단력과 AI의 계산 능력이 상호 보완적으로 결합된 신뢰 가능한 인간-기계팀 구성(Human-Machine Teaming, HMT)의 구체적 구현이다.

본 연구가 제안하는 운용개념은 AI 기반 분산전 해양작전(DMO) 환경에서 인간의 통제권을 유지하면서도 작전 반응속도와 전장 생존성을 강화하는 최적의 대안으로 기능할 수 있을 것으로 판단된다.<sup>31)</sup>

## (2) 미래 해양전에 부합한 MUM-T 운용 모델

대한민국 해군의 해양작전 환경(연안·도서·복합수역 특성)과 국내 기술·조직 여건을 고려하여 단계적 전환을 전제로 한 한국형 MUM-T(Manned-Unmanned Teaming) 운용 모델을 제안한다. 제안 모델은 인간의 통제권 보장과 자율성 확대의 균형을 유지하기 위하여 세 가지 운용단계(Stage 1-3)로 구성하며 각 단계별 역할 분담·AI 기능, 적용 임무 및 검증·완화조치를 명확히 규정한다. 본 절에서는 각 단계를 정의하고 운용상 요구사항과 예시를 제시한다.

---

31) 방위사업청, 『2024 국방기술전략』, 2024, p.172.

(가) 단계 1: 인간-중심 통제형 (Human-in-the-loop)

(정의 및 목적) 단계 1은 인간 지휘관이 무인체계의 행위 전반에 대해 직접통제하고 최종 결정을 내리는 형태로서 무인체계 운용의 안전성 확보와 제도적 수용성 확보를 주된 목적으로 한다. 이 단계는 기술·제도적 리스크가 상대적으로 높아 인간의 개입을 전제로 해야 하는 임무에 적용한다.<sup>32)</sup>

(AI의 역할) AI는 주로 센서융합(Sensor Fusion), 탐지·분류 보조, 항법 보조(Navigation Aid) 및 상황가시화(Shared Awareness) 기능을 제공한다. 즉, AI는 판단을 자동으로 집행하지 않고 인간의 의사결정을 지원하는 권고형(Advisory) 도구로 동작한다.

(운용상 특징) 유인함정 또는 지휘소가 무인체계를 원격으로 제어한다. 무인체계의 자율성 수준은 낮게 설정되며, 무기사용 등 결정적 행위는 인간의 직접승인 절차를 필요로 한다. 통신상실·오작동 시 안전귀환·대기모드로 즉시 전환하도록 규정한다.

(적용 임무(예시)). 기뢰제거(MCM), 정찰·감시(해안선 근접 정찰), 민간선박 밀집구역에서의 정보수집 등 인명·민간영향 가능성이 큰 임무에 우선 적용한다. (검증·안전조치) 시뮬레이션 및 통제된 실험역 시험을 통해 AI 권고의 정확도와 신뢰도를 검증하며, ROE(교전규칙) 준수 여부를 점검하는 절차를 수립한다.

(나) 단계 2: 협력형 복합운용 (Collaborative MUM-T)

(정의 및 목적) 단계 2는 유무인 플랫폼이 상호 보완적으로 임무를 분담하고 병행 수행하는 협력형 운용 단계로서 전술적 유연성과 임무효율성 제고를 목표로 한다.<sup>33)</sup> 이 단계에서는 AI의 역할이 권고를 넘어 전술적 제안(Recommendation) 및 임무조정(Adaptive Re-tasking) 수준까지 확장된다.

32) ICRC, Autonomous Weapon Systems and Human Control, 2021, p.11.

33) U.S. DoD, Unmanned Systems Integrated Roadmap, 2023 edition.

(AI의 역할) AI는 다중센서 융합을 통한 상황인식, 전술적 옵션 생성(대응 시나리오 추천), 편대 수준의 임무분배(Task Allocation) 및 임무 우선순위 조정 기능을 수행한다. 또한, 통신저하 시 분산된 의사결정 기준을 제공하여 임무 지속성을 유지한다.<sup>34)</sup>

(운용상 특징) 유인함정은 전체 편대의 임무목표와 제약을 규정하고 무인체계는 자율적으로 전술행동을 수행하되 주요 의사결정 지점에서 인간에게 보고·승인을 요청한다.<sup>35)</sup> (사전정의 임계값 기반)

편대 제어와 상호운용성(데이터·C2 프로토콜)이 핵심 역량으로 부각된다.

임무 실패·오류 발생 시 인간 주도의 재할당 및 교정 절차가 활성화된다.

(적용 임무(예시)) 다중 대잠작전(ASW), 광역 수색 및 구조 작전(SAR), 해상경계·초계작전 등에서 협력형 편대가 효율적으로 작동한다.

(검증·안전조치) 편대 수준의 통합시나리오 실패역 시험과 연합훈련을 통해 전술 제안의 실효성 및 안전장치를 검증한다. AI의 신뢰도 지표(Coherence Score)와 인간 개입 임계값을 명문화한다.

#### (다) 단계 3: 자율협업형 통합전력 (Autonomous Teaming)

(정의 및 목적) 단계 3은 무인체계 간의 자율적 임무분배와 실시간 재조정을 AI가 주도하며, 인간은 전략적·정책적 의사결정에 집중하는 완전 통합형 전력 모델이다. 이 단계는 전력의 기동성·반응속도·생존성을 획기적으로 향상시키는 것을 목적으로 하나, 높은 수준의 기술성숙도와 엄격한 인증·법적·윤리적 장치가 전제되어야 한다.

(AI의 역할) AI는 전체 작전환경을 실시간으로 모니터링하고, 다수의 무인체계 간에 임무를 자동 분배(Task Assignment), 재조정(Re-tasking), 자율협업(Collaborative Autonomy)을 수행한다.<sup>36)</sup> 또한, 전술적 의사결정

34) DARPA, Collaborative Autonomy Study, 2021.

35) 국방부, 『국방 AI 윤리기준』, 2023, pp. 13-14.

36) DARPA, OFFensive Swarm-Enabled Tactics (OFFSET) Program Overview, 2022.

(제한적 Engagement Decision Support)을 지원하되, 무기사용의 경우에는 인간의 최종 승인이 필요한 구조로 설계한다.<sup>37)</sup>

(운용상 특징) 무인함정 및 무인편대는 높은 수준의 분산자율성 (Distributed Autonomy)을 보유하며 중앙의 인간 지휘체계는 전략적 지표·목표를 제시한다. AI 기반의 정책(Policy-based Controls)과 안전제약 (Safety Constraints)이 시스템 전반에 내재되어 있어 자율행위는 사전에 정의된 윤리·법적 틀 내에서만 실행된다. 통신 단절·전자전 상황에서도 분산 합의(Consensus) 기반의 로컬 의사결정으로 임무 지속이 가능하다.

(적용 임무(예시)) 자율 대함·대잠 함대 운용, 대규모 무인함정 편대(Swarm) 작전, 광역 감시 및 신속대응 임무 등 고도 자율성이 요구되는 영역에 적용한다.<sup>38)</sup>

(검증·안전조치) 단계 3으로의 전환은 엄격한 V&V(Verification & Validation), XAI(Explainable AI) 기반의 감사체계, 다층적 인증(안전·보안·감항성) 및 법·윤리 심사를 요구한다. 특히 무기사용과 관련한 정책적·법적 승인 절차를 선행 확보해야 한다.

### (3) 운용개념 시나리오 예시

AI 기반 유무인 복합전투체계의 운용 가능성을 구체적으로 검증하기 위하여 대표적인 작전 시나리오 세 가지(대잠전, 기뢰전, 해상정찰·위협대응)를 제시하였다. 각 시나리오는 임무 목표, 참여 플랫폼, AI의 핵심 기능, 인간의 통제·승인 포인트 및 우발상황 관리 절차를 명시하여 실전성·검증성을 확보하도록 설계하였다.

#### (가) AI 기반 대잠작전(ASW)

AI 기반 대잠작전은 연안 작전구역 내 수중 접촉물을 탐지·식별하고 지속적으로 추적함으로써 대잠 위협을 제거하고 아군의 기동 자유도를 보장

37) ICRC, Autonomous Weapon Systems and Human Control, 2021, pp. 9-11.

38) Royal Navy, NavyX: Autonomy Demonstration Strategy, 2021.

하는 것을 주요 임무목표로 한다. 이를 위해 지휘함(유인 구축함)을 중심으로 음향탐지 부유체를 운영하는 USV 편대, 수중 탐지 및 표적 추적을 수행하는 다수의 UUV/AUV 그리고 EO/IR 기반 전장 정보를 수집하는 함상 UAV 등이 통합적으로 참여한다.

이러한 체계에서 AI는 다중센서 융합을 기반으로 수중 음향신호를 실시간 처리하여 이상패턴을 탐지하고 기계학습 기반 분류 알고리즘을 활용하여 표적의 존재 여부 및 유형을 추정한다. 더 나아가 분산추적 알고리즘을 통해 목표의 예측 항적을 산출하고 가용 자산에 대한 최적의 임무 배분을 수행함으로써 작전 효율성을 극대화한다.<sup>39)</sup>

운용 절차 측면에서 전략적 지휘층은 탐색구역 설정, 경계수준 부여, 교전규칙(ROE) 명시 등 상위 지휘결심을 담당하며 전술층에서는 AI가 생성한 탐색패턴에 따라 USV·UUV의 전술적 기동이 자율적으로 이루어진다.<sup>40)</sup> 전투 단계에서 AI는 표적 우선순위를 산정하고 고위험 위협으로 판단될 경우 해당 정보를 자동으로 지휘관에게 보고한다. 이때 무기사용은 인간 지휘관의 명확한 최종 승인 이후에만 수행된다.

또한, 안전 및 예외 상황 대처를 위해, 통신 두절 시에는 사전에 정의된 절차에 따라 귀환, 대기 또는 제한적 자율탐색 중 하나를 자동으로 선택하는 안전대응 모드가 적용된다. 표적 분류 신뢰도가 임계치 이하로 저하될 경우 AI는 반드시 인간의 개입을 요구하도록 설계함으로써 오경보 및 오판단에 따른 작전 위험을 최소화한다. AI 기반 대잠작전은 기존 인력 의존적 체계에 비해 연안의 은밀한 수중 위협에 대한 탐지·대응 능력을 크게 향상과 동시에 지휘관과 승조원의 전술·인지적 부하를 경감하여 작전 지속성과 효율성을 증대시키는 효과를 제공한다.<sup>41)</sup>

---

39) DARPA, Distributed Maritime Autonomy for ASW Swarm, 2021.

40) Royal Navy, Navy ASW Multi-Asset Coordination Doctrine, 2022.

41) 방위사업청, 『2024 국방기술전략』, 2024, p. 121.

## (나) 기뢰전(MCM: Mine Countermeasures) 시나리오

AI 기반 기뢰전은 작전구역 내 기뢰 탐지 및 식별을 통해 안전한 해상 기동로를 확보하고 기뢰에 의한 함정 피해 가능성을 제거하는 것을 주임무로 한다. 이를 위해 정밀 음향·자기·영상 센서를 탑재한 UUV가 기뢰 탐지를 담당하고 USV는 제거작업을 위한 운용 플랫폼으로 활용된다.<sup>42)</sup> 또한, 원격제어 무인 전력이 실제 기뢰 제거 임무를 수행하며 구조 및 의료 대응 전력은 인명피해 발생 가능성에 대비하여 대기한다.

이 과정에서 AI는 이기종 센서로부터 수집된 데이터를 통합 분석함으로써 고정밀 기뢰 식별을 수행하고 위협도 및 제거 우선순위를 산정하여 최적의 처리 순서를 결정한다. AI는 제거로봇의 실시간 경로생성 및 충돌회피 기능을 제공함으로써 정밀한 제거작업이 가능하도록 지원한다.

운용 절차 측면에서 계획수립 단계에서는 AI가 탐색·식별·제거에 필요한 자원 배치 최적안을 제시하고 지휘관의 검토 및 승인을 거쳐 전술계획이 확정된다. 탐색 단계에서는 UUV 탐지 결과를 기반으로 기뢰 존재 여부 및 처리 필요성을 판단하고 제거 단계에서는 AI가 제거작전의 수행 여부를 판단하여 인간 감독자의 승인을 득한 후 무인제거체계가 기만·제거 임무를 수행한다. 비정상 상황(예: 주변 선박 접근, 센서 오류) 발생 시에는 지휘관 또는 감독자가 실시간 모니터링 화면을 통해 즉각적으로 작업 중지 또는 임무 종료 명령을 내릴 수 있다.

안전 및 예외 절차로서 기뢰 제거는 고위험 작전임을 고려하여 모든 제거 행위는 원칙적으로 인간의 확인 및 승인 하에 수행되도록 규정한다. 또한, 통신이 저하되거나 차단될 경우 무인전력은 안전고정 모드 또는 즉시 귀환하도록 프로그래밍되어 잠재적 사고를 방지하도록 한다. AI 기반 MCM 체계는 인명 노출을 최소화하고 기뢰에 의한 접근 거부(Anti-Access) 환경에서도 아군의 기동보장(Operation Access)을 근본

---

42) U.S. Navy, Unmanned Maritime Systems Roadmap 2025-2030, Department of the Navy, 2020.

적으로 강화<sup>43)</sup>함으로써 미래 해전에서의 접근·기동우위 확보에 기여하는 핵심 전력개념으로 평가된다.

#### (다) 해상정찰·위협대응 시나리오

AI 기반 해상정찰·위협대응 작전은 광역 해역 감시를 통해 신속한 상황 인식(Situational Awareness)을 확보하고 탐지된 위협에 대해 실시간 평가 및 회피·기만·제지 등의 대응조치를 목적(Kill-Web 기반 위협관리)으로 한다.<sup>44)</sup> 임무 수행 전력은 EO/IR 및 전자신호(ESM) 정보를 수집하는 UAV, 기만·교란 임무를 수행하는 소형 USV 스웸, 그리고 최종 교전결정권을 보유한 지휘함으로 구성된다. AI는 영상 및 전자정보에 기반한 표적 자동식별 및 위협등급화를 통해 지휘관의 인지부하를 경감시키며 전장 전체의 위협상황을 실시간으로 업데이트한다. 동시에 스웸 제어 알고리즘을 적용하여 기만·유인 등의 비무력적 전술을 자동으로 실행하고 전장정보의 우선순위를 결정하여 지휘함으로의 데이터 전송을 최적화함으로써 지휘통제의 효율성을 높인다.

운용 절차 측면에서 AI는 탐지된 표적의 위협도를 체계적으로 분석하여 지휘관에게 보고하며 기만이나 우회와 같은 비살상 대응 단계에서는 인간 개입 없이 자동 실행이 허용된다. 그러나 위협이 공격 의도로 발전하여 교전 판단이 요구되는 경우 AI는 무기사용 권고와 함께 상황을 보고하고 교전 개시는 지휘관이 명시적으로 승인한 이후에만 이행된다. 이는 전투결심 권한을 인간에게 유지함으로써 책임성과 법적 정당성을 확보하기 위한 조치이다.

안전 및 예외 절차로서 민간 선박 또는 비전투원의 존재 가능성이 확인될 경우 AI의 대응 권한은 자동으로 제한되며 민간식별이 불확실한 상황

---

43) Bryan Clark, *Commanding the Seas: The U.S. Navy and the Future of Distributed Maritime Operations*, CSBA Report, 2019.

44) Bryan Clark et al., *Mosaic Warfare: Weaponizing the Network*, CSBA Report, 2020.

에서는 AI가 즉시 일시정지(hold) 상태를 발령하여 인간 지휘관의 추가 지시를 요구하도록 설계한다. 이는 국제해양법 및 무기사용 규범에 부합하도록 윤리적·법적 기준 준수를 내재화한 결과라 할 수 있다.

AI 기반 해상정찰·위협대응 체계는 상황인식 확보 및 결심속도 향상의 측면에서 기존 인간 중심 작전에 비해 우월한 작전효과를 제공하며 위협 억제 및 위기 확산 방지 능력을 강화함으로써 현대 해상전장 특성에 부합하는 지속적 감시-기만-제지 중심의 능동 대응체계 구축에 기여한다.<sup>45)</sup>

### 제 3 절 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 로드맵

AI 기반 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 발전은 기초통합 단계에서 통합전투체계 단계로의 단계적 성숙도 향상을 전제로 하며 기술적 검증과 실전적 운용성을 확보하기 위한 다층적 로드맵을 필요로 한다.<sup>46)</sup> 본 절에서는 2025~2040을 목표로 설정한 4단계 기술발전 로드맵과 이를 지원하기 위한 조직·제도적 로드맵을 제시한다.

#### (1) 단계별 기술발전 로드맵(2025~2040 목표)

각 단계별 발전목표는 다음과 같은 핵심 제약 조건을 충족하는 것을 전제로 한다. 첫째, 기술 성숙도(Technology Readiness Level, TRL) 기준을 체계적 검증 절차에 기반하여 달성해야 한다. 이는 단순한 기술 적용·시연을 넘어 실전적 전장 환경에서 운용 가능성을 검토함으로써 전력화 위험 요소를 최소화하는 과정이다. 둘째, 개발단계에서 도출된 성능 향상이 실제 전술적 효과로 귀결되는지를 평가하기 위해 전술 효과성 검증 및 실전 모의실험(Test & Evaluation, Modeling & Simulation) 체계를 정립

45) U.S. Navy War College, Future Maritime Threat and Response Concepts, 2022.

46) Joint Chiefs of Staff, Joint All-Domain Command and Control (JADC2) Capabilities Overview, JCS White Paper, 2022.

해야 한다. 특히 다양한 전장 환경과 상황별 위협 시나리오에 기초한 반복 검증을 통해 신뢰도를 확보해야 한다. 셋째, 유인 전력과의 상호운용성(Interoperability) 확보가 필수적이다. 이는 미군이 추진 중인 합동전장지휘통제체계(JADC2: Joint All-Domain Command and Control)와의 연동 가능성뿐 아니라 국내 이기종 전력 및 무인 전투체계 간의 지휘·통제 프로토콜 통합을 포함한다.<sup>47)</sup>

이러한 제약 조건의 충족은 단순한 AI 기술 보조 수준을 넘어 결심 권한의 단계적 이양을 가능하게 함으로써 궁극적으로 AI 중심의 자율적 전투운용체계 구현을 위한 핵심 선결 요건으로 기능한다.

[표 5-2] AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 발전 로드맵('25~40)

구 분	주요 목표	핵심 기술	체계적 특징
1단계 기초통합 단계 (2025~2028)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•유·무인 데이터 링크 통합</li> <li>•원격운용 체계 완성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•AI 자율항법</li> <li>•센서 융합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•USV·UUV 플랫폼별 개별 임무 실증</li> </ul>
2단계 협력운용 단계 (2028~2032)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•유·무인 협력작전 실증</li> <li>•전술 AI 탑재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•협업 AI</li> <li>•데이터 융합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•다중 무인체계 실시간 통제 기반 구축</li> </ul>
3단계 자율협업 단계 (2032~2036)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•AI 중심 자율 편대 작전 실현</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•군집자능(Swarm AI)</li> <li>•강화학습 기반 전술 AI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•대잠·대함작전의 자율 임무수행</li> </ul>
4단계 통합전투체계 단계 (2036~2040)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•전투체계와 AI MUMS 통합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•설명가능 AI(XAI)</li> <li>•AI C2 엔진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•완전 자율 전투운용 (Operator-on-the-loop)</li> </ul>

## (2) 조직·제도적 로드맵

기술 발전과 전력화가 성공적으로 연계되기 위해서는 조직체계 개편과 법·제도적 기반 구축이 병행되어야 한다.<sup>48)</sup> AI 기반 유무인 복합전투체계

47) Joint Chiefs of Staff, Joint All-Domain Command and Control (JADC2) Capabilities Overview, JCS White Paper, February 2022, pp. 2-4.

48) NATO, AI Strategy for Defense, 2021.

의 실질적 운용을 위해 다음과 같은 조직·제도적 로드맵을 제안한다.

첫째, AI 해군센터(Naval AI Command Center) 설립이 필요하다. AI·데이터 기반 작전분석, 전장 모델링·시뮬레이션, 무인전력 운용으로부터 생성되는 대규모 학습데이터(Learning Data)의 수집·관리 기능을 전담함으로써 해군 전투운용의 지능화 핵심 허브로 기능하게 된다. 또한, MUM-T 전력의 실전 적용성을 검증하는 실험·시험체계를 갖추으로써 기술개발과 작전운용 간 피드백 루프(Feedback Loop)를 형성하는 역할을 수행해야 한다.

둘째, AI 무인체계 표준화 위원회를 구성하여 무기체계 간 상호운용성과 전력 간 통합성 확보에 필요한 규격 표준화를 추진해야 한다.<sup>49)</sup> 위원회는 통신 규격, 데이터 인터페이스, 사이버보안 기준 등 기술적 표준 뿐만 아니라 AI 자율무기체계 운용에 따른 윤리·법제적 가이드라인을 정립함으로써 정당성과 책임성을 제도적으로 보장하게 된다. 이러한 표준화는 향후 연합·동맹 개념 하에서의 공동작전에도 필수적인 기반을 제공한다.

셋째, 민군 기술협력 체계를 제도화하여 AI 국방기술 생태계를 조성해야 한다. 방위산업체와 AI 스타트업, 학·연 기관 간 개방형 혁신(Open Innovation) 구조를 구축하고 기술개발-시험평가-전력화 단계가 연속적으로 연계되는 협업메커니즘을 마련할 필요가 있다. 또한, 핵심기술의 국산화율 제고를 위해 기술 인큐베이팅 및 전문인력 양성 프로그램을 병행 추진해야 한다.

조직·제도적 로드맵은 단순한 기술 수용을 넘어 AI 기반 전력구조로의 패러다임 전환을 가능케 하는 통치 메커니즘(Governance Mechanism) 구축을 목표로 하며<sup>50)</sup> 이는 장기적으로 한국 해군의 전략적 자율성과 전장 인지우위 확보에 기여할 것으로 판단된다.

---

49) NATO, STANAG 4586 Unmanned Control System Interoperability Standard, 2020.

50) J. Schneider, "AI Military Transformation and Strategic Governance," Journal of Strategic Studies, Vol. 45, No. 6, 2022.

## 제 4 절 해군 유무인 복합전투체계 구현 방안

AI 기반 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 실질적 구현은 기술적(Technological), 조직적(Organizational), 제도·정책적(Institutional & Policy) 요소의 통합적 발전을 필수적으로 전제한다.<sup>51)</sup> 이는 단순한 개별 무인 전투체계 확보나 AI 알고리즘의 성숙도 향상에 머무르는 것이 아니라 운용 개념·지휘통제체계·법제도적 기반이 상호 적합하게 정렬(alignment)되었을 때 전투력으로 전환되는 상호 복합적 구조이기 때문이다.

특히, MUM-T는 인간의 판단과 AI의 자율기능이 유기적으로 결합되는 인간-기계 협력(Human-Machine Teaming) 체계를 기반으로 하므로 기술 개발 및 실증 단계에서부터 통합적 운용환경을 고려한 전력화 전략 수립이 필수적이다. 즉, 기술은 작전개념이 정의하는 방향으로 개발되어야 하며 이를 적용·확산·관리할 수 있는 조직적 수용 능력(organizational absorption capacity)이 동시에 구축되어야 한다.

또한, AI 무기체계는 고도의 자율성과 의사결정 능력을 보유하는 특성 상 책임성과 법적 정당성을 보장할 수 있는 제도적 안전장치가 정립되지 않을 경우 전력 도입 자체가 제약될 수 있다. 따라서 기술적 성과를 실질적 전투역량으로 전환하기 위해서는 조직 운영원리의 혁신과 함께 법·윤리·보안 관점에서의 정책적 거버넌스 체계를 병행 구축하는 것은 필수적이다.

AI 기반 해군 유무인 복합전투체계 구현은 기술-조직-제도의 세 요소가 선순환 구조를 형성하는 통합적 접근(A System of Systems Approach)을 요구<sup>52)</sup>하며 이는 대한민국 해군이 미래 해양 전장 환경에서 지속 가능한 전력우위를 확보하기 위한 전략적 과제라 할 수 있다.<sup>53)</sup>

51) NATO, AI Strategy for Defense, North Atlantic Treaty Organization, 2021.

52) J. Schneider, "AI Military Transformation and Strategic Governance," Journal of Strategic Studies, Vol. 45, No. 6, 2022.

53) 한국 국방연구원(KIDA), 「미래 해양작전과 자율무기체계 발전전략」, 2023.

## (1) 기술적 구현

### (가) 자율항법(Autonomous Navigation)

자율항법 기술은 해군 유·무인 복합전투체계(MUM-T)의 핵심 구성요소로서, 무인체계가 외부의 지속적인 통제 없이 스스로 위치를 인식하고 안전하게 기동할 수 있도록 하는 기반 기술이다. 본 기술의 목적은 복잡한 해양 환경에서의 자율운항 안정성(Autonomous Navigational Stability) 과 기동 신뢰성(Maneuver Reliability)을 확보하는 데 있다.

자율항법 모듈은 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기반의 위치추정(Position Estimation), 충돌회피(Collision Avoidance) 알고리즘, 그리고 환경모델 기반 경로계획(Environmental Model-based Path Planning) 기능으로 구성된다. SLAM 기술은 레이더, 영상, 관성센서, 위성항법(GNSS) 등의 데이터를 통합하여 실시간으로 플랫폼의 위치와 주변 환경을 동시에 인식한다. 이를 통해 GPS 신호가 불안정하거나 음영 지역이 존재하는 특정 해역에서도 안정적인 항법이 가능하도록 지원한다. 실행과제는 다음 세 가지 축으로 제시된다.

첫째, 해양 특성 반영 알고리즘의 개발이다. 조류, 파고, 해면 반사파 등 해양 환경요소는 항법 오차의 주요 원인으로 작용하므로 이러한 비정형적 요인을 보정할 수 있는 환경모델 기반 알고리즘을 개발해야 한다.

둘째, 멀티센서 융합 모듈의 통합 검증이다. 레이더(Radar), 전자광학·적외선(EO/IR), 관성항법장치(IMU), 위성항법체계(GNSS) 등 이종 센서 간의 동기화 및 데이터 신뢰도 보정 기술을 통해 항법 정확도를 향상시켜야 한다.

셋째, 실시간 항법 안정화 로직의 확립이다. 파고 변화, 센서 오류, 통신 지연 등 불확실 요인에 대응하여 자율적으로 항로를 수정하고, 안전하게 임무를 수행할 수 있는 제어 알고리즘을 구현해야 한다.

기술적 성과를 측정하기 위한 핵심 성과지표(Key Performance Indicators, KPI) 는 다음과 같다.<sup>54)</sup>

- ❶ 실해역 위치오차(Positioning Error): 표준 해상환경 기준 10m 이하 달성.
- ❷ 충돌회피 성공률(Collision Avoidance Rate): 99% 이상 유지.
- ❸ 항법 지연시간(Latency): 평균 200ms 이하로 제한.

이와 같은 자율항법 기술의 고도화는 무인체계의 독립 운용능력을 실질적으로 강화함과 동시에, 인간 조종자의 인지부하를 감소시키고 작전 수행의 효율성과 안전성을 동시에 확보하는 데 기여할 것이다.<sup>55)</sup>

#### (나) 센서융합(Sensor Fusion & Perception)

센서융합(Sensor Fusion & Perception) 기술은 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 전장인식(Situational Awareness)과 지휘결심(Decision Support) 능력을 결정짓는 핵심 구성요소이다. 본 기술의 궁극적 목표는 다중 플랫폼 즉, 무인수상정(USV), 무인잠수정(UUV), 무인항공기(UAV), 유인함정으로부터 수집된 이기종(異起種) 센서 데이터를 실시간으로 통합·분석하여 통합 해양전 상황도(Integrated Sea Picture)를 생성하는 것이다. 기존 해군 전장정보체계는 각 플랫폼의 센서가 독립적으로 작동하며 정보융합 과정에서 지연 및 데이터 불일치가 발생하는 구조·기술적 한계를 지닌다. 이에 따라 본 연구에서 제시하는 센서융합 체계는 데이터 중심(Data-centric) 구조를 기반으로 다양한 센서의 물리적 차이를 극복하고 정확도(Accuracy), 응답속도(Latency), 신뢰도(Integrity)를 동시에 확보하는 것을 목표로 한다.

기능적 구성은 크게 (1) 다중센서 데이터 수집 및 정합(Data Alignment), (2) 정보 융합(Fusion Processing), (3) 상황인지(Situation Perception) 단계로 구분된다. 첫 단계에서는 각 플랫폼의 센서에서 취득된 레이더,

54) IMO, "Interim Guidelines for Maritime Autonomous Surface Ships Trials," MSC.1/Circ.1604, 2021.

55) U.S. Navy, Unmanned Campaign Framework, U.S. Department of the Navy, 2021.

EO/IR, 음향(SONAR), 전자신호(ESM) 등의 데이터를 표준화된 포맷으로 변환하고 시간동기화(Timestamp Synchronization)를 수행한다. 두 번째 단계에서는 필터링(Filtering), 상관분석(Correlation Analysis), 베이저안 융합(Bayesian Fusion) 등의 통계적·기계학습 기반 기법을 활용하여 중복 및 잡음을 제거한다. 마지막 단계에서는 융합된 데이터를 기반으로 표적의 위치, 속도, 행동패턴을 분석하고 이를 실시간 전장상황도로 시각화한다. 실행과제는 다음과 같이 제시된다.

첫째, 시맨틱 라벨링 표준화(Semantic Labeling Standardization) 체계를 구축해야 한다.<sup>56)</sup> 이는 다양한 센서 및 플랫폼에서 획득된 데이터를 공통의 분류체계로 통합하여 정보의 일관성과 상호운용성을 확보하기 위한 필수 전제조건이다.

둘째, 시간동기화 프로토콜(Time Synchronization Protocol)을 도입해야 한다. 각 센서 데이터의 시간오차는 표적 위치 및 속도 추정의 정확도에 직접적인 영향을 미치므로 고정밀 클럭 동기화와 메타데이터 정규화가 요구된다.

셋째, 저지연 데이터 파이프라인(Low-latency Data Pipeline)을 구축해야 한다. 실시간 전장상황도 갱신을 위해서는 수집·처리·전송의 모든 단계에서 200ms 이하의 전송지연을 유지하는 고성능 데이터 처리 체계가 필요하다. 기술적 성과를 정량적으로 평가하기 위한 핵심 성과지표(Key Performance Indicators, KPI)는 다음과 같다.

- ❶ 데이터 동기화 지연(Synchronization Latency): 200ms 이하 유지.
- ❷ 표적식별 정확도(Target Identification Accuracy): 정밀도(Precision) 및 재현율(Recall) 기준 평균 90% 이상 달성.
- ❸ 실시간 상황도 갱신주기(Update Interval): 1초 이내 유지.

---

56) NATO, Standardization of Maritime ISR Data, STANAG Draft (Edition 1), 2021.

센서융합 기술의 고도화는 AI 기반 MUM-T 체계의 전장인식 능력을 획기적으로 향상시키며 향후 인간-기계 협업(Human-Machine Teaming)의 기반이 되는 지능형 상황인지(Intelligent Situation Awareness) 체계로 발전할 것으로 기대된다. 이는 단순한 정보 통합을 넘어 AI가 스스로 전장 환경을 해석하고 예측할 수 있는 “인지형 전투환경(Cognitive Battlespace)” 구축의 필수 전제조건이라 할 수 있다.

#### (다) 협업 인공지능(Distributed / Collaborative AI)

협업 인공지능(Distributed / Collaborative AI)은 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 집단전투 능력(Collective Combat Capability)을 구현하는 핵심 기술로서 다수의 플랫폼이 상호 연계된 상태에서 임무를 효율적으로 분담하고, 환경 변화에 따라 자율적으로 협력·재조정할 수 있도록 하는 지능형 운용체계이다. 본 기술은 분산 자율성(Distributed Autonomy)과 집단 협업(Collaborative Intelligence)의 원리에 기반<sup>57)</sup>하여 기존의 중앙집중식 지휘통제(Centralized C2) 체계를 보완·확장하는 것을 목표로 한다.

협업 AI의 주요 기능은 (1) 유무인 편대(Task Group) 단위의 임무 분배(Task Allocation), (2) 상황 변화에 따른 실시간 임무 재조정(Re-tasking), (3) 대규모 스웸 전술(Swarm Tactics)의 실행이다. 이를 통해 편대 내 개별 플랫폼들은 통신 지연이나 정보 불확실성이 존재하는 상황에서도 공동의 작전 목표(Common Mission Objective)를 유지하며 임무를 수행할 수 있다.

기술적 구성요소는 크게 세 가지로 구분된다.

첫째, 분산 합의 알고리즘(Consensus Algorithm)은 각 플랫폼 간 의사결정 정보를 교환·조율함으로써 전체 시스템의 행위 일관성을 유지한다.<sup>58)</sup> 예를 들어 특정 표적의 탐지 혹은 위협 수준 판단에 있어 일부 노

57) U.S. DoD, Autonomy Stack Reference Architecture, DoD Publications, 2022.

58) F. Zhang et al., “Consensus-Based Distributed Decision-Making for Multi-Agent Maritime Systems,” Ocean Engineering, Vol. 260, 2022.

드가 손실되더라도 잔여 노드들이 합의 과정을 통해 동일한 판단을 도출할 수 있도록 한다.

둘째, 임무 할당 최적화(Task Allocation Optimization)는 AI 기반 최적화 기법(예: 강화학습, 마르코프 의사결정과정, 경로탐색 알고리즘 등)을 활용하여 플랫폼의 위치, 연료, 센서 가용성, 위협 수준 등을 고려한 효율적 임무분배를 수행한다.

셋째, 자율 재배치 규칙(Policy Constraints)은 환경 변화나 통신단절 상황에서도 임무 수행의 연속성을 보장하기 위해 사전에 정의된 정책 기반 규칙에 따라 개별 플랫폼이 자율적으로 행동을 재조정하도록 한다.

실행과제는 다음과 같이 제시된다.

- 분산 합의 및 협업 의사결정 구조 설계  
(Consensus-driven Coordination Framework)
- 강화학습 기반 편대 임무 최적화 엔진 개발  
(Deep Reinforcement Task Assignment Engine)
- 네트워크 불안정성 대응 자율재배치 정책 수립  
(Policy-driven Autonomous Reconfiguration Rules)
- 실패역 협업 알고리즘 검증을 위한 다중 플랫폼 시뮬레이터 구축<sup>59)</sup>

기술적 성과를 평가하기 위한 핵심 성과지표(Key Performance Indicators, KPI)는 다음과 같다.

- ① 편대 임무 성공률(Mission Success Rate): 85% 이상 (표준 전술 시나리오 기준).
- ② 임무 재할당 소요시간(Task Reallocation Time): 평균 5초 이하.
- ③ 통신 지연 환경(1초 이하)에서의 협업 유지율(Collaboration Persistence Rate): 90% 이상.

협업 AI의 구현은 단순히 무인체계 간의 정보 교환을 넘어 지능적 분업

---

59) NATO STO, Distributed Maritime Systems Test & Evaluation Guidebook, 2022.

(Intelligent Division of Labor)을 통한 전장 효율성 극대화를 가능하게 한다. 또한, 인간 지휘관은 편대의 기술적 세부 실행보다는 전략적 의사결정에 집중할 수 있게 되며 결과적으로 인간-기계 협력(Human-Machine Teaming)의 실질적 시너지를 창출한다. 향후 협업 AI 기술은 자율 분산 전투체계(Autonomous Distributed Combat System)로 확장되어 복수의 무인체계가 네트워크 기반으로 상호작용하며 자율적인 교전·탐색·정보공유를 수행하는 형태로 발전할 것으로 예상된다. 이러한 기술은 미래 해전의 지능형 편대작전(Intelligent Task Group Operations) 개념을 구현하는 데 핵심적 기반이 될 것이다.<sup>60)</sup>

#### (라) 데이터 기반 체계(Data Lake & Learning Operations)

데이터 기반 체계(Data Lake & Learning Operations)는 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 지능적 학습(Intelligent Learning)과 지속적 성능 향상(Continuous Performance Improvement)을 가능하게 하는 핵심 인프라이다.<sup>61)</sup> 본 체계의 목적은 실전 및 시험 데이터를 효율적으로 수집(Collect)-정제(Cleanse)-학습(Train)-검증(Validate)-배포(Deploy) 하는 전주기(全週期) 데이터 관리체계를 확립함으로써 인공지능 모델의 신뢰성(Reliability)과 적응성(Adaptability)을 확보하는 데 있다. 기존의 군사 정보체계는 분산된 플랫폼별로 데이터를 개별 관리하여 데이터 형식의 비표준성 및 품질 편차로 인해 학습 효율이 저하되는 한계를 지닌다. 따라서 MUM-T 환경에서는 다양한 센서와 임무 플랫폼에서 생성되는 데이터를 통합적으로 관리하는 중앙 데이터 허브(Central Data Lake) 구축이 필수적이다. 이 체계는 단순한 데이터 저장소가 아니라 데이터의 품질 관리·자동 라벨링·모델 학습과 검증을 일괄적으로 수행하는 학습운영체계

---

60) Bryan Clark et al., Future Swarm Warfare & Intelligent Task Group Operations, CSBA Report, 2021.

61) U.S. Navy, Unmanned Campaign Framework, U.S. Department of the Navy, 2021.

(Learning Operations, LOps)로 기능해야 한다.<sup>62)</sup>

기능적 구성은 다음 세 단계로 구분된다.

첫째, 데이터 수집 및 정제 단계(Data Ingestion & Cleansing)에서는 실전 작전, 훈련, 실험 데이터를 자동 수집하고, 중복·결측·노이즈 데이터를 정제하여 학습 가능한 형태로 표준화한다.

둘째, 데이터 학습·검증 단계(Data Training & Validation)에서는 정제된 데이터를 이용하여 AI 모델을 주기적으로 학습시키고, 검증 데이터셋을 통해 성능을 평가·교정한다.

셋째, 모델 배포·재학습 단계(Model Deployment & Continuous Learning)에서는 검증된 모델을 운용체계에 배포한 후, 실전 운용 결과를 다시 데이터로 수집하여 반복적 학습(Continuous Learning)을 수행한다. 실행과제는 다음과 같이 제시된다.

- 중앙 데이터 레이크 구축(Centralized Data Lake Construction):  
센서, 작전, 전술, 훈련 데이터를 통합 저장·관리하는 중앙집중형 데이터 관리체계 설계 및 운영.
- 데이터 품질지표(Data Quality Index, DQI) 확립:  
데이터의 완전성(Completeness), 일관성(Consistency), 정확성(Accuracy)을 정량적으로 평가하는 지표 체계 개발.
- 지속적 학습 인프라 구축(Continuous Learning Infrastructure):  
자동화된 데이터 파이프라인(Data Pipeline)을 구축하여, AI 모델의 주기적 재학습 및 성능 개선 프로세스 구현.
- 보안·접근제어 체계 마련(Secure Data Governance):  
데이터 무결성 및 보안을 보장하기 위한 접근권한 관리, 로그 추적 및 암호화 프로토콜 적용.

---

62) L. Chen et al., "Automated Labeling for Maritime Sensor Data Using Self-Supervised Learning," *Sensors*, Vol. 22, No. 18, 2022.

핵심 성과지표(Key Performance Indicators, KPI)는 다음과 같다.

- ❶ 데이터 라벨링 정확도(Labeling Accuracy): 95% 이상 달성.
- ❷ 학습-검증 반복주기(Learning-Validation Cycle): 30일 이내 유지.
- ❸ 데이터 결측률(Missing Data Ratio): 1% 이하.
- ❹ 데이터 처리 지연시간(Data Processing Latency): 평균 500ms 이하.

데이터 기반 체계의 고도화는 MUM-T의 전장 데이터 활용도를 극대화하고 AI 모델의 지속적 성능 개선을 가능하게 한다는 점에서 기술적·운용적 의의가 크다. 또한, 데이터의 신뢰성과 품질이 확보된 학습운영체계는 향후 AI 전력화 과정에서 지속가능한 지능형 해전 생태계(Sustainable AI Naval Ecosystem) 구축의 기반으로 작용할 것이다.

결국, 데이터 기반 체계는 단순한 기술 인프라가 아니라, “데이터-학습-운용”의 선순환 구조(Data-Learning-Operation Loop)를 형성하여 대한민국 해군의 AI 기반 유·무인 복합전투체계가 자율적으로 진화(Self-evolving System)할 수 있는 핵심 동력으로 기능하게 될 것이다.

#### (마) 사이버보안 및 견고성(Security & Robustness)

사이버보안 및 견고성(Security & Robustness)은 AI 기반 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 신뢰성과 작전 안전성을 보장하기 위한 필수적 기술 요소이다. 특히, AI 모델과 데이터 기반 체계는 사이버공격에 의한 조작, 유출, 혼선 등 다양한 위협에 노출될 수 있으므로 시스템 전반에 걸쳐 무결성(Integrity), 기밀성(Confidentiality), 가용성(Availability)을 확보하는 것이 핵심적 과제로 제기된다.<sup>63)</sup>

해양작전 환경은 통신 지연, 외부 위협, 센서 간섭 등 다양한 불확실성을 수반하며 특히 적대적 입력(Adversarial Input)이나 교란 신호는 AI 판단 오류를 유도함으로써 작전 전체를 위협에 빠뜨릴 수 있다. 이에 따라

63) U.S. DoD, Zero Trust Architecture for Defense Systems, 2023.

MUM-T 체계는 기존의 군용 보안체계에 더해, AI 특화 사이버보안 프레임워크(AI-specific Security Framework)와 모델 수준의 견고성 강화(Model-level Robustness Reinforcement)가 병행되어야 한다.

주요 기능은 다음 세 가지로 요약된다.

첫째, 데이터 및 모델의 무결성 보호이다. 이는 데이터 조작 및 모델 변조를 실시간으로 감지하고 차단할 수 있는 시스템적 장치를 포함한다.

둘째, 기밀성 유지이다. 플랫폼 간의 전송 데이터 및 내부 AI 모델의 학습정보가 제 3자에게 노출되지 않도록 암호화 및 인증 기반 보호체계를 구축해야 한다.

셋째, 가용성 확보이다. 사이버공격이나 시스템 오류 발생 시에도 AI 모델과 데이터 처리 체계가 지속적으로 작동할 수 있는 내구성과 자가 복원력을 갖추어야 한다. 실행과제는 다음과 같이 제시된다.

- PKI 기반 암호화 인증체계 도입(Public Key Infrastructure):  
플랫폼 간 통신 및 데이터 접근 시 사용자와 기기 인증을 수행하고 정보 유출을 방지하는 공공키 기반 보안 메커니즘을 구축한다.
- 블록체인 기반 무결성 기록체계(Log Provenance System):  
AI 모델의 학습, 추론, 판단 과정을 블록체인 기반 분산원장에 기록하여 데이터 조작 여부를 투명하게 추적할 수 있도록 한다.
- 적대적 입력 견고성 검증체계 구축(Adversarial Robustness Testing):  
AI 모델이 적대적 공격에 의해 잘못된 판단을 내리지 않도록 다양한 입력교란 시나리오에 대한 사전 시험·평가 및 보호 알고리즘을 탑재한다.
- AI 전용 탐지 및 방어시스템 개발(AI Intrusion Detection System):  
전장 환경에서 실시간으로 AI 판단오류, 비정상 입력, 외부 해킹 시도를 탐지·차단하는 인공지능 보안 감시 체계를 개발한다.

이러한 실행과제의 효과를 정량적으로 평가하기 위해 다음의 핵심 성과지표(Key Performance Indicators, KPI)를 설정하였다.

- ❶ 데이터 위변조 탐지율(Data Tampering Detection Rate): 100% 달성 (로그 감사 기준).
- ❷ 인증 실패율(Authentication Failure Rate): 0.1% 이하 유지.
- ❸ AI 모델 오작동 허용 오차율(Misclassification Rate under Attack): 5% 이하.
- ❹ 보안경고 응답 시간(Anomaly Response Time): 2초 이내.

AI 기반 무기체계의 보안성과 견고성 확보는 단순한 기술적 이슈를 넘어 윤리적·법적 신뢰 기반(Ethical-Legal Trust Base)을 형성하는 필수적 전제 조건이다.<sup>64)</sup> 사이버 회복탄력성(Cyber Resilience)을 확보한 AI MUM-T 체계는 전장 환경의 불확실성과 적의 전자·사이버 위협에 효과적으로 대응함으로써 미래 해군작전의 정보우위(Information Superiority) 확보에 결정적 기여를 할 것으로 기대된다.

## (2) 조직적 구현

### (가) AI 해양작전센터(AI Maritime Operations Center, AMOC) 설립

AI 해양작전센터(AI Maritime Operations Center, 이하 AMOC)는 인공지능(AI) 기반 해군 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 핵심 통합기관으로 기술개발·운용·검증의 전 과정을 연계하는 순환형 체계(Technology-Operation-Validation Cycle)를 구축하기 위해 설립이 필요하다. AMOC은 AI 기술의 실험과 검증뿐 아니라 전장 데이터의 수집·분석·학습을 통합 관리하고 실시간 작전 지원을 수행함으로써 AI 해전 생태계의 중심 허브로 기능하게 된다.

AMOC 설립의 주된 목적은 AI 기반 MUM-T 체계의 기술개발과 전술 운용을 통합 관리하여 실험(Experimentation)-데이터분석(Data Analysis)-AI 학습(Training)-실전운용(Operations)으로 이어지는 지속적 개선 구조(Continuous Improvement Framework)를 확립하는 것이다.

64) Defense Science Board, Defense AI Trustworthiness and Responsible Deployment, DoD, 2023.

이를 통해 기술개발과 실전운용 간의 단절을 해소하고 실험결과와 전장데이터를 활용한 학습-검증의 선순환 체계를 조성함으로써 AI 기반 무인전력의 실효성과 신뢰성을 지속적으로 향상시킬 수 있다.

AMOC은 다음 네 가지 핵심 기능을 수행한다.

**① AI 전장데이터 분석(Data Analytics for Maritime Operations):**

실전 및 훈련 데이터를 수집·정제·가공하여 AI 학습용 데이터셋(Labeled Dataset)으로 전환한다. 데이터 품질 관리(Data Quality Management), 메타데이터 표준화를 통해 체계 간 상호운용성을 보장

**② 실험 및 평가(Experimentation and Evaluation):**

MUM-T 운용개념에 기반한 전술 시나리오를 설계하고, 시뮬레이터 및 실험역을 활용한 실험·검증을 수행한다. 기술 성능평가(Technical Performance Evaluation)와 작전효과분석(Operational Effectiveness Analysis)을 병행하여 기술적 완성도와 전술적 타당성을 검증한다.

**③ 전술 AI 훈련(Tactical AI Training):**

전장 데이터를 활용한 AI 모델의 학습 및 재학습 주기를 관리하며 작전환경 변화에 따른 지속적 성능개선을 수행한다. AI 모델의 설명가능성(Explainability) 확보를 위한 XAI 기반 검증 및 신뢰도 평가체계를 운용한다.

**④ 상호운용성 관리(Interoperability Management):**

타군 및 연합전력과의 데이터 교환·통신 프로토콜을 표준화하여 연합작전(Combined Operations) 환경에서의 협업을 지원한다. 다국적 협력체계(NATO, ROK-US-UK 등)와 연계된 해전 데이터 표준화 및 인터페이스 규약을 관리한다.

AMOC의 설립은 단순한 연구시설의 확충을 넘어, AI 해전 생태계(AI Naval Ecosystem) 구축의 전략적 기점으로서 의미를 가진다.

이 기관은 기술개발, 데이터분석, 전술적 검증을 통합 관리함으로써 AI 기반 무인전력의 신뢰성을 제고하고 실전 적용 가능성을 검증할 수 있다. 또한, 민·군 협력을 통해 연구·산업 생태계의 개방성과 기술확산을 촉진하며 장기적으로 대한민국 해군의 AI 중심 작전패러다임(AI-centric Naval Paradigm) 전환을 가속화할 것이다.

AMOC는 대한민국 해군이 미래 해전에서 기술적·정보적 우위를 확보하기 위한 핵심 인프라이자 AI 전장운용의 실험적 검증과 교리 발전을 선도하는 지능형 해양작전 지휘 허브(Intelligent Maritime Operations Hub)로 자리매김할 것이다.

### (3) 제도·정책적 구현

AI 기반 해군 유·무인 복합전투체계(MUM-T)의 성공적인 전력화를 위해서는 기술적·조직적 기반뿐만 아니라 이를 제도적으로 뒷받침할 법적·윤리적·정책적 체계의 정비가 필수적이다.<sup>65)</sup> 특히, AI 무기체계는 자율성과 판단능력을 지니는 특성상 기존의 무기운용 규범과는 다른 형태의 책임·통제·윤리문제가 발생할 수 있으므로 이에 대한 법제적 대응이 병행되어야 한다.

따라서 본 절에서는 AI 기반 해양전투체계의 지속가능한 운용을 위한 윤리 및 법제 기반 구축, 국가 차원의 R&D 로드맵 통합, 국제협력 및 표준화, 제도적 인증 및 안전관리체계의 구체적 구현방안을 제시한다.<sup>66)</sup>

#### (가) 윤리 및 법제 구축(Ethical and Legal Framework Establishment)

AI 무기체계의 운용은 국제인도법(International Humanitarian Law), 무기사용 규범, 그리고 국제인권법(International Human Rights Law)에 근

---

65) U.S. Department of Defense, Responsible AI Strategy and Implementation Pathway, DoD, 2023.

66) Ministry of National Defense ROK, Defense AI R&D Innovation Roadmap, 국방부, 2023.

거한 윤리적 통제(Ethical Governance)가 전제되어야 한다. AI의 판단 결과가 직접적으로 무력 사용에 영향을 미칠 가능성이 존재하므로 인간 중심의 통제 원칙을 명문화하고 법제화하는 것이 필수적이다.

첫째, AI 무기체계 윤리 가이드라인 제정이 필요하다. 이 가이드라인은 ‘의미 있는 인간의 통제(Meaningful Human Control, MHC)’ 원칙을 핵심으로 하여 AI의 자율행동 범위, 개입 시점, 인간의 최종결정 권한을 명시해야 한다. 또한, AI 판단 과정에서 발생할 수 있는 비의도적 피해(Unintended Harm)에 대한 예방원칙(Precautionary Principle)을 포함함으로써 국제적 윤리기준에 부합하는 무기사용체계를 보장해야 한다.

둘째, 책임체계(Accountability System)를 확립해야 한다. AI 오작동이나 오판으로 인한 피해 발생 시 그 책임 귀속 주체(지휘관, 운용자, 개발자 등)를 명확히 규정해야 한다. 이를 위해 교전규칙(Rules of Engagement, ROE) 내에 AI 판단 및 개입 절차를 포함하고 작전 중 인간 지휘관이 AI의 의사결정에 대해 최종 승인권을 행사하는 체계를 법적으로 보장해야 한다.

셋째, AI 무기체계의 법적 정합성 검증(Legal Compliance Validation) 절차를 제도화해야 한다. AI 시스템이 국제법 및 무기사용 규범에 위배되지 않음을 보증하기 위해 국방부 산하 윤리·법률 자문위원회를 운영하여 개발단계에서부터 법적 위험평가(Legal Risk Assessment)를 수행해야 한다.

#### (나) 국가 차원의 R&D 로드맵 통합(National R&D Roadmap Integration)

AI 기반 해양전투체계 개발은 다부처 협업이 필수적인 복합사업으로 국방부(MND), 방위사업청(DAPA), 과학기술정보통신부(MSIT) 등 관계기관 간의 정책적 연계가 필요하다. 이를 위해 국가 차원의 통합 연구개발 로드맵(National Integrated R&D Roadmap)을 수립해야 한다.

첫째, “AI 해양방산 로드맵 2040(AI Naval Defense Roadmap 2040)”

을 제정하여 연구개발 투자 우선순위, 기술성숙도 단계별 목표(TRL: Technology Readiness Level), 표준화 정책 및 예산 배분체계를 통합적으로 관리할 필요가 있다.

둘째, 공동 연구 네트워크 구축(Cooperative Research Network)이 필요하다. 한·미·영·호주 등 우방국과의 기술공유 협력을 강화하여 AI·데이터 표준, 통신 프로토콜, 자율운용 알고리즘 등의 공동연구를 추진해야 한다. 특히, 실험역 시험(Evaluation in Operational Environment) 및 시뮬레이션 기반 공동검증(Co-verification)을 통해 기술 호환성과 상호운용성을 확보해야 한다.

셋째, 민·군 연계형 R&D 생태계 조성이 요구된다. 국내 대학, 국방연구기관, 방산기업 간 협력체계를 구축하여 AI 기반 해양전투체계 관련 기술의 상용화 및 실전화를 촉진해야 한다. 이를 위해 기술이전 및 데이터 공유를 지원하는 제도적 인센티브가 병행되어야 한다.

#### (다) 국제협력 및 표준화(International Cooperation and Standardization)

AI 기반 해양전투체계의 상호운용성 확보를 위해서는 국제적 표준화와 기술협력이 필수적이다.<sup>67)</sup> 이에 따라 다음과 같은 구체적 방안을 제시한다.

첫째, 표준화 협의체 구성(Standardization Council Formation)이 필요하다. 대한민국 해군은 NATO, 아시아·태평양 연합표준화기구(APSCO) 등과 연계하여 AI·데이터·지휘통제(C2) 프로토콜의 표준화를 추진해야 한다.<sup>68)</sup> 이를 통해 연합작전 시 시스템 간 호환성(Interoperability)을 보장하고 다국적 해군 간의 공통 운용규격(Common Operational Standard)을 확립할 수 있다.

둘째, 공동 인증 및 평가체계(Joint Certification and Evaluation Framework)

67) NATO, AI Strategy for Defense, 2021.

68) NATO Standardization Office, STANAG Series for Maritime C2 Interoperability, latested, 2022.

를 구축해야 한다. 다국적 시험·검증 절차를 공유함으로써 상호 인증체계 (Mutual Recognition System)를 확보한다. 이를 통해 AI 전투체계의 성능·안전성·법적 적합성에 대한 국가 간 상호인정을 실현할 수 있으며 국제 공동개발 프로젝트 수행 시 인증 절차의 중복을 최소화할 수 있다.

셋째, 국제 규범 협력(International Normative Cooperation)을 강화해야 한다. AI 무기체계와 관련한 국제법적 쟁점—예컨대 자율교전권, 인간 책임의 한계, 데이터 주권 등에 대해 외교부·국방부 차원의 정책 협의를 통해 국제적 공감대를 형성해야 한다.

#### (라) 제도적 인증 및 안전관리체계

##### (Regulatory Certification and Safety Management System)

AI 기반 무기체계의 안정적 운용을 위해서는 기술적 성능 외에도 제도적 신뢰성을 확보할 수 있는 인증·안전관리 체계(Regulatory & Safety Assurance Framework)가 필요하다.<sup>69)</sup>

첫째, 다층 인증체계(Multi-layered Certification System)를 도입해야 한다. 이는 감항성(Safety), 사이버보안(Security), 윤리성(Ethics)을 포함하는 3중 인증 프로세스로서 각 기술이 실제 작전환경에서 안전하고 법적으로 적합한지 검증한다. 특히, AI 모델의 판단 과정과 데이터 처리 절차에 대한 투명성(Transparency) 확보를 위해 ‘AI 신뢰성 인증서(AI Reliability Certificate)’ 제도를 도입할 필요가 있다.<sup>70)</sup>

둘째, 독립 평가기구 설립(Independent Evaluation Body)이 요구된다. 민·군 공동의 인증위원회를 구성하여 개발 단계에서부터 실전 배치 후까지 전 주기적 평가를 수행한다. 이 기구는 기술적 신뢰성뿐만 아니라 법적 책임성(Legal Accountability)을 동시에 보장하며 외부 전문기관(대학·연

69) U.S. DoD, Responsible AI Strategy and Implementation Pathway, 2023.

70) Defense Science Board, Defense Autonomy Safety & Certification Framework, DoD, 2022.

구소·국제기구 등)과 연계된 투명한 심사체계를 운영해야 한다.

셋째, AI 안전관리 체계(AI Safety Management Protocol) 를 마련해야 한다. AI 오작동 및 오판으로 인한 사고 발생 시 즉각적인 차단·보고·조치가 가능하도록 자동화된 위험감시시스템(Risk Monitoring System)과 안전 리콜 프로세스(Safety Recall Process)를 구축해야 한다.<sup>71)</sup>

본 장에서는 대한민국 해군의 무인체계 개발 현황을 분석하고, AI 기반 유무인 복합전투체계의 운용개념, 발전 로드맵 그리고 구현 방안을 제시하였다. 핵심 제언은 다음과 같다.

- **기술적 측면:** AI 기반 자율운용·의사결정·데이터융합 기술의 국산화
- **운용적 측면:** 유·무인 협력형 작전개념의 단계적 정립
- **조직적 측면:** AI 해양작전센터와 전문 인력체계 구축
- **정책적 측면:** 법·윤리·표준화 기반 확립 및 국제협력 강화

결국, AI 기반 유무인 복합전투체계의 발전은 단순한 기술 문제가 아니라 해군 전력의 개념적 혁신(Conceptual Innovation)을 요구하는 전략적 과제이다. AI는 인간을 대체하기 위한 도구가 아니라 전장을 함께 설계하고 운영하는 ‘지능형 전우(Intelligent Teammate)’로서 대한민국 해군의 미래를 규정할 것이다.

---

71) IMO, Maritime Autonomous Surface Ships Safety Framework, MSC 105/INF.7, 2022.

## 제 6 장 결론

본 연구는 인공지능(AI) 기술이 비약적으로 발전하고 해군 전장의 복잡성이 심화되는 미래 해양작전 환경에서 대한민국 해군이 AI 기반 유무인 복합전투체계(MUM-T)를 전력화하기 위한 발전·운용 방안을 제시하는 것을 연구의 핵심 목표를 수행하였다. 유무인 복합전투체계의 개념 및 발전 과정을 검토하고 미국·중국·영국 주요 해군 강국의 기술 및 발전 동향을 분석하였다. AI 기술 발전이 초래할 미래 해양전의 변화 양상을 전망한 결과를 바탕으로 대한민국 해군의 무인체계 개발 현황을 평가하고 운용개념·로드맵·구현 방안을 종합적으로 제안하였다.

첫째, 유무인 복합전투체계는 함정·센서·무기의 개별 플랫폼의 단순한 증강을 넘어 전장 패러다임의 구조적 전환을 요구함을 확인하였다. 기존 ‘플랫폼 중심 전력구조’는 네트워크 기반의 데이터 중심 전력으로 전환하고 있으며 AI가 전장의 감시정찰·판단·교전 전 과정에 개입함으로써 OODA Loop의 압축, 전투 효율성 증대, 인명피해 최소화라는 작전 효과를 실현할 수 있음을 밝혔다.

둘째, 주요국 사례 분석을 통해 미 해군은 ‘분산해양작전(DMO)’ 개념, 전장 네트워크 구축과 AI-자율 무인체계 전력화를 선도하고 있으며 중국은 ‘지능화전(智能化战争)’ 개념을 통해 의사결정 자동화 수준을 전략적으로 고도화하고 있다. 영국은 실험적 접근과 유연한 전력개발 체계를 통해 빠르게 MUM-T 실전 적용을 추진하고 있다. 이는 대한민국 해군이 조직·개발체계 혁신 및 민군 기술협력 강화 없이는 기술의 발전부터 구조적으로 제한된다는 문제의식을 제시하였다.

셋째, 미래 해양전은 전장 분산화, 지능형 C2, 자율협업 작전, 전자·사이버 위협 확산 등 질적 변화를 동반한다. 대한민국 해군은 AL0-AL4 수준을 고려한 단계적 자율성 확보, 센서-통신-무기체계의 통합성 강화, 데이

터 전장 상황인식 체계 확립이 요구된다.

넷째, 대한민국 해군에 요구되는 발전방안의 핵심은 다음 세 가지이다.

- ① 운용개념 측면: 전략-작전-전술 계층에 최적화된 유무인 협업 수행 구조 확립
- ② 로드맵 측면: 2025~2040년을 목표로 단계적 전력화  
\* 실험 → 초도운용 → 확산 → 자율전투체계
- ③ 구현 방안 측면: 전장 데이터 표준화, AI C2 체계 구축, 조직체계 개편, 윤리·법제 정비

AI 신뢰성 확보 및 인간의 통제권 유지는 MUM-T 발전의 필수 요소이며 기술 효율성과 윤리적 책임 간 균형이 요구된다.

본 연구는 대한민국 해군의 유무인 복합전투체계 발전에 있어 다음과 같은 학술적·정책적 시사점을 제시한다.

첫째, AI 기반 지능형 전투체계 구축에 요구되는 핵심개념과 전력 발전 방향을 제시함으로써 향후 해군이 지향해야 할 자율·네트워크 중심 전력 구조의 정립에 기여하였다. 이는 플랫폼 중심의 전력구조에서 데이터 중심의 전투체계로의 패러다임 전환을 뒷받침하는 이론적 근거를 제공한다.

둘째, 주요 해군 강국(미국·중국·영국)의 전략 및 기술발전 사례를 비교·분석함으로써 대한민국 해군이 고려해야 할 정책적·기술적 교훈을 도출하였다. 특히, 조직체계 혁신, 실전 중심의 실험적 전력개발, 민·군 기술생태계 구축 전략의 필요성을 확인하였다는 점에서 정책적 함의를 지닌다.

셋째, MUM-T 운용개념과 중장기 발전 로드맵 및 구현 방안을 종합적으로 제안하여 AI 기반 유무인 복합전투체계의 단계적 전력화 방향성을 제안하였다. 이는 중장기 국방 R&D 방향 설정, 자원 배분의 합리화, 지휘 통제 및 법제도 기반 정립에 활용 가능한 정책적 지침발전에 기여하였다.

본 연구는 대한민국 해군의 미래 전력기획 및 무인체계 발전전략 수립 과정에서 기초자료로 활용될 수 있으며 국방 연구 및 정책결정의 실효성 제고에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 공개문헌을 기반으로 수행되었기 때문에 무인체계 및 AI 전투체계의 기술적 세부 수준과 알고리즘 구조, 보안 아키텍처의 실제 성능 평가에 접근 한계가 존재한다. 특히 국가별 무인체계 및 AI 기반 전투체계의 기술·전술적 세부 사항은 군사기밀의 범주에 속하는 경우가 많아 분석 결과가 정책적·기술적 현실을 100% 반영하지 못할 가능성이 존재한다. 또한, AI 의사결정 구조의 검증, 사이버·전자전과의 통합운용, 다수 무인체계의 실시간 협업 알고리즘 등과 같은 핵심 기술요소에 대한 정량적·실증적 분석이 충분히 수행되지 못한 점 역시 본 연구의 한계로 지적될 수 있다.

향후 연구에서는 다음과 같은 방향으로 본 연구의 한계를 보완하고 심화가 필요할 것으로 판단된다.

첫째, 다양한 위협 환경과 임무 조건을 고려한 시나리오 기반 작전효과 분석을 통해 제시된 운용개념과 전력화 방안의 실효성을 검증하는 연구가 요구된다.

둘째, AI 자율의사결정이 확대되는 미래 전장에서 필수적으로 고려되어야 할 기계학습 기반 교전결정의 윤리적 기준 및 법제 정립 방안에 대한 심층적인 탐색이 필요하다.

셋째, 군집 협업 AI 기술의 발전 수준을 평가하고 실제 전장 환경을 모의할 수 있는 M&S(Modeling & Simulation) 기반 실험 연구를 병행함으로써 기술적 타당성을 확보할 필요가 있다.

이러한 후속 연구수행은 본 연구에서 제시한 MUM-T 발전방안을 보다 실증적이고 실제적인 정책 대안으로 작전효과의 검증, 전력화 전략 객관성 제고에 기여할 것으로 기대된다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 1) 국방부. 『국방 AI 윤리기준』. 국방부, 2023, 13-14.
- 2) 방위사업청. 『2024 국방기술전략』. 방위사업청, 2024, 172.
- 3) 한국국방연구원(KIDA). 「미래 해양작전과 자율무기체계 발전전략」, 2023.
- 4) 홍영주 외. 「해군 유·무인 복합전투체계(MUM-T) 도입 필요성 연구」, 해군사관학교 군사논문집, 제34권 2호, 2023, 45-46.
- 5) 이홍정 외. (2023). 주변국 해양문인체계(UMVs) 개발 동향과 한국 해군에 주는 함의. 『한국해군과학기술학회』 제6권 3호. 314-319
- 6) 류재학, 허지용, 나윤후. (2023). 미래전 활용을 위한 해양무인체계 발전전략에 관한 연구. Journal of the KNST, 6(2), 127-132.
- 7) 김용훈. (2023, 08). 미래 한반도 해역 대잠전 시나리오 기반 해양 유·무인 복합체계 발전방향 : 교전규칙 및 작전요구성능을 중심으로. 국방과 기술,(534), 78-87.
- 8) 이창인. (2023). 유·무인 복합전투체계와 드론봇의 정의. 국방로봇학회 논문집, 2(3), 7-11.
- 9) 김세용, 박정훈, 김준상. (2025). 군사 영역에서 책임있는 AI에 대한 연구. 한국컴퓨터정보학회논문지, 30(5), 141-151.
- 10) 배기민, 양경모, 이승민, 이학진, 이장형. (2023-09-20). 국방 AI 감시 정찰 체계를 위한 국방 데이터 관리 및 분석 플랫폼 개발. 한국통신학회 인공지능 학술대회 논문집, 제주.
- 11) 고기성, 고진환, 김원기, 장영현, 김광수. (2022). 해상작전기반 유·무인 복합체계(MUM-T) 운용방안 및 감항인증 연구. Journal of the KNST, 5(2), 107-114.
- 12) 이진성, 나종철. (2023). 해양 유·무인 복합작전을 위한 요구능력. Journal of the KNST, 6(3), 308-313.
- 13) 김동은. (2020, 12). 기술변화로 본 ‘미래전’ 양상 (3) 유·무인 융합 해군력과 하이브리드 해양전. 국방과 기술,(502), 72-83.

- 14) 김경수, 이용운. (2019, 05). 무인무기체계 및 인간의 역할 구분과 유·무인 복합체계. 국방과 기술,(483), 130-139.
- 15) 조현정. (2023, 03). ‘유·무인 복합전투체계’의 통일된 정의를 위한 고찰. 국방과 기술,(529), 112-117.
- 16) 정발, 이경숙, 구분진. (2024). 미래 전장 대응을 위한 유무인 복합전투체계 발전방향: ICT를 중심으로. Journal of Information Technology Applications & Management, 31(4), 47-61.
- 17) 최무룡. (2025). 새로운 전장인 메가시티-지하공간에서 유무인 복합전투체계(MUM-T)의 전투방식 연구. 문화기술의 융합, 11(1), 19-26.
- 18) 안상겸, 박동선. (2023). 해양 유·무인 복합전투체계 자율화 수준 연구. Journal of the KNST, 6(3), 286-292.
- 19) 황원중. (2020). 전쟁의 본질로 바라본 인공지능의 군사적 활용 - 지휘결심 지원체계의 적용을 중심으로 -. 한국군사학논집, 76(3), 31-59.
- 20) 오동한. (2022). 국방 분야에서 인공지능 기술 활용실태와 XAI 기술 활용방향 제시. 디지털콘텐츠학회논문지, 23(5), 943-951.
- 21) 심승배. (2021-06-02). 국내외 국방 AI·유무인복합체계 동향. 한국경영과학회 학술대회논문집, 제주.
- 22) 박선준, 오경원. (2023). 유무인 복합체계에서 인간의 역할에 대한 연구. Journal of the KNST, 6(1), 34-38.
- 23) 정승훈. (2020). 해상 전자전 수행을 위한 인공지능(AI) 활용방안 연구. Journal of the KNST, 3(2), 118-124.

## 2. 국외문헌

- 1) Clark, Bryan. Commanding the Seas: The U.S. Navy and the Future of Distributed Maritime Operations. CSBA Report, 2019.
- 2) Clark, Bryan, et al. Mosaic Warfare: Weaponizing the Network. CSBA Report, 2020.
- 3) Clark, Bryan, et al. Artificial Intelligence-Enabled Swarm Warfare & Intelligent Task Group Operations. CSBA Report, 2021.
- 4) Mahnken, Thomas G. Artificial Intelligence and the Future of Warfare. Center for Strategic and Budgetary Assessments (CSBA), 2021, pp. 32-38.
- 5) Alberts, David S., et al. Understanding Information Age Warfare. CCRP, 2001, pp. 56-79.
- 6) Congressional Research Service. Navy Large Unmanned Surface and Undersea Vehicles: Background and Issues for Congress. CRS R45757, 25 March 2025, pp. 1-2.
- 7) DARPA. Collaborative Autonomy Study, 2021.
- 8) DARPA. OFFensive Swarm-Enabled Tactics (OFFSET) Program Overview, 2022.
- 9) DARPA. Distributed Maritime Autonomy for ASW Swarm, 2021.
- 10) Defense Science Board. Defense AI Trustworthiness and Responsible Deployment. U.S. Department of Defense (DoD), 2023.
- 11) Defense Science Board. Defense Autonomy Safety & Certification Framework. U.S. Department of Defense (DoD), 2022.
- 12) ICRC. Autonomous Weapon Systems and Human Control, 2021, pp. 9-11.
- 13) NATO. AI Strategy for Defense, 2021.
- 14) NATO Standardization Office. STANAG 4586: Unmanned Control System (UMCS) Interoperability Standard, 2020.
- 15) NATO Standardization Office, NATO STO. Human-Machine Teaming for Future Operations, 2022, p. 18.
- 16) NATO Standardization Office. Standardization of Maritime ISR Data,

STANAG Draft (Edition 1), 2021.

- 17) NATO STO. Distributed Maritime Systems Test & Evaluation Guidebook, 2022.
- 18) Schneider, Jacquelyn. "AI Military Transformation and Strategic Governance," *Journal of Strategic Studies*, Vol. 45, No. 6, 2022.
- 19) U.S. Department of Defense (DoD). Responsible AI Strategy and Implementation Pathway, 2023.
- 20) U.S. DoD. Zero Trust Architecture for Defense Systems, 2023.
- 21) U.S. DoD. Unmanned Systems Integrated Roadmap, 2023 edition.
- 22) U.S. DoD Publications. Autonomy Stack Reference Architecture, 2022.
- 23) International Maritime Organization (IMO). "Interim Guidelines for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) Trials," MSC.1/Circ.1604, 2021.
- 24) IMO. Maritime Autonomous Surface Ships Safety Framework, MSC 105/INF.7, 2022.
- 25) Royal Navy. NavyX: Autonomy Demonstration Strategy, 2021.
- 26) Royal Navy. ASW Multi-Asset Coordination Doctrine, 2022.
- 27) Naval War College. Future Maritime Threat and Response Concepts, 2022.

## ABSTRACT

### A study on the Development of an AI-based Naval Manned-Unmanned Teaming Combat System Aligned with Future Maritime Warfare

Park, Hyun Soo

Major in Defence AI Convergence

Dept. of Defence Force Power

Graduate School of National Defense  
Science

Hansung University

The rapid advancement of Artificial Intelligence (AI) technologies and the increasing complexity of maritime operations require a fundamental transformation in naval combat capabilities. In this context, the present study explores a strategic development approach for an AI-enabled Naval Manned-Unmanned Teaming (MUM-T) combat system tailored to the anticipated environment of future maritime warfare. The research first reexamines the conceptual evolution and operational values of MUM-T and then conducts a comparative analysis of policy directions and technological progress pursued by leading naval powers such as the United States, China,

and the United Kingdom. Subsequently, this study investigates how emerging AI capabilities are reshaping naval force employment concepts and altering the nature of decision-making and battlespace control at sea.

The findings of this study indicate that future naval warfare will evolve toward more dispersed and network-centric operations, supported by collaborative autonomous systems and intelligent command-and-control architectures. These shifts highlight the necessity for the Republic of Korea (ROK) Navy to gradually enhance autonomy levels in unmanned systems, secure reliable and standardized data integration mechanisms, and strengthen cooperative innovation with the defense industry and academia.

Based on the current state of unmanned capabilities in the ROK Navy, this research proposes a phased development roadmap from 2025 to 2040, including operational concepts and implementation strategies to enable the effective deployment of AI-driven MUM-T combat systems. The proposed direction is expected to serve as a practical reference for future naval force planning and national defense R&D prioritization, ultimately contributing to the establishment of a technologically advanced and resilient maritime combat posture.

[Keywords] Manned-Unmanned Teaming (MUM-T), Future Maritime Warfare, Artificial Intelligence(AI), Human-Machine Teaming, Distributed Maritime Operations, Naval Force Development, Intelligent Command and Control