IDAP INSTITUTE OF DEFENSE ACQUISITION PROGRAM

JAMS JOURNAL OF ADVANCES IN MILITARY STUDIES

2026, Vol. 9, No. 2, 1-13.

https://doi.org/10.37944/advmil.9.2.202610.001

A Comparative Study on the Effectiveness Assessment of Manned and Unmanned Weapon Systems*

Park Hongsuk**

ABSTRACT

With the acceleration of Defense Innovation 4.0 and advancements in artificial intelligence and autonomous control technologies, the acquisition and fielding of Manned-Unmanned Teaming (MUM-T) have emerged as a critical agenda in defense capability development. However, existing effectiveness evaluation methodologies for defense acquisition and requirements validation remain heavily oriented toward conventional manned systems, focusing primarily on kinetic and physical combat metrics. Consequently, they fail to adequately quantify the inherent operational merits of unmanned systems, such as zero-casualty benefits, multidimensional autonomy levels, battlefield visualization enhancement, and network-centric synergies. This study aims to conduct a comparative analysis of effectiveness evaluation methodologies between manned and unmanned weapon systems and to propose an integrated, mission engineering-based multidimensional evaluation framework. To demonstrate the applicability of the proposed model, an illustrative case study of a coastal defense and complex anti-submarine/mine countermeasures scenario was analyzed using quantitative scenario data. The simulation results demonstrate that the MUM-T architecture drastically reduces human casualty risk by over 85% compared to manned-alone forces, while improving battlefield visualization by approximately 1.95 times through multi-domain sensor integration. Furthermore, the MUM-T configuration extended operational mission continuity fourfold and lowered total ownership costs by approximately 22%, confirming balanced operational utility under the simulated scenario conditions. The findings provide practical guidelines and analytical consulting criteria for defense requirement authorities, acquisition managers, and defense analysts in evaluating requirements and optimizing resource allocation.

Keywords : Unmanned weapon systems, Manned-unmanned teaming (MUM-T), Effectiveness evaluation, Mission engineering, Requirements validation

* This research was supported by Kumoh National Institute of Technology(2024~2026).

** (First Author) School of Advanced Interdisciplinary Industrial Studies, Kumoh National Institute of Technology, Associate Professor, avipak@kumoh.ac.kr, https://orcid.org/0009-0003-2227-4571

www.kci.go.kr

Ⅰ. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 해양 무기체계 운용 개념은 단일 함정 중심의 물리적 타격전에서 분산 배치된 다영역 자산을 연동하는 유・무인 복합작전(Manned-Unmanned Teaming, MUM-T) 체계로 전환되는 추세이다. 이홍정・김병현・임경한(2023)이 분석하였듯이 미국, 중국, 일본 등 주요국은 수상, 수중, 공중 무인체계(USV, UUV, UAV)를 유인 함정과 통합 편조하는 전력 구성을 실전 배치하고 있으며, 한국 해군 역시 'Navy Sea GHOST' 개념을 수립하여 관련 전력 확보를 추진하고 있다.

그러나 첨단 무인 전력의 소요 제기와 기술 개발 수준에 비해, 획득 사업의 타당성을 입증하는 효과도 분석 방법은 여전히 유인 전력 분석 기준을 답습하고 있다. 엄흥섭(2019)은 현행 소요검증 및 선행연구가 무인체계의 운용 특성을 배제한 채 플랫폼 속도, 화력 투사량, 장갑 방호력, 단순 피격률 등 정태적 지표 위주로 효과를 산출하고 있음을 지적하였다. 김기태와 임요준(2021) 역시 기존 유인 함정 중심의 분석 척도로는 네트워크 기반 복합 전력의 기여도를 정량화하기 어렵다고 기술하였다.

유인 전력 평가 방식을 무인 전력에 그대로 적용하면, 위험 구역 투입에 따른 인명 손실 억제 효과, 무인 자산의 장기 연속 초계 능력, 복합 센서 융합을 통한 상황인식 개선 효과 등이 평가 산식에서 누락된다(김수민・하용훈, 2023). 미 국방성(Department of Defense, 2020)[1]의 보고서에 따르면 이러한 지표 누락은 무인 전력의 획득 타당성을 저평가하거나 복합 전력 운용에 따른 위험 요인을 잘못 판단하는 원인이 된다. 따라서 소요검증 실무에서 유・무인 전력의 작동 메커니즘 차이를 반영하고 자율화 수준과 네트워크 연동 효과를 측정할 수 있는 표준 평가체계가 필요하다.

1.2 연구의 목적 및 구성

본 연구는 기존 유인체계 분석 기법의 한계점을 도출하고, 미 국방성(DoD, 2020)의 임무 엔지니어링(Mission Engineering) 지침을 바탕으로 무인 및 유・무인 복합체계에 부합하는 다차원 평가 모형을 정립하는 것을 목적으로 한다. 아울러 김수민과 하용훈(2023), 송영일(2010)의 분석 프레임워크를 바탕으로, 가상 연안 작전 시나리오를 설정하여 유인 단독, 무인 단독, 복합 편조 대안 간의 전투효과와 총수명주기비용을 계량적으로 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유・무인 체계의 운용 차이점과 자율수준(Autonomy Level) 분류체계를 정리한다. 3장에서는 기존 소요검증 평가 척도의 문제점을 검토하고, 4장에서는 임무 엔지니어링에 기반한 표준 효과척도(MOE)와 통합 평가식을 제시한다. 5장에서는 시뮬레이션

1) Department of Defense. (2020). Mission engineering guide (MEG). Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering.

www.kci.go.kr

데이터를 통한 대안별 정량 분석 결과를 제시하며, 6장에서는 분석 결과를 토대로 정책적・제도적 개선 방안을 논의한다.

Ⅱ. 이론적 배경 및 유・무인 무기체계 특성 고찰

2.1 유인 및 무인체계 운용 비교

김영길(2002)은 무기체계의 전술적 효과를 분석할 때 유인체계와 무인체계가 전투력을 발휘하는 메커니즘의 차이를 명확히 구분해야 한다고 제시하였다. Sheridan(1992)과 DoD(2020)에 따르면, 유인 무기체계는 운용자의 복합 상황 판단 능력을 활용할 수 있으나 승조원의 생리적 피로도로 인해 작전 지속시간이 제한되고, 피격 시 치명적인 인명 사상이 발생한다. 또한 조종 인력 양성과 유지에 필요한 인건비 및 교육훈련비가 지속해서 소요된다.

무인체계는 승조원이 탑승하지 않으므로 장시간 잠항이나 고위험 천해 구역 정찰 등 인명 피해 위험이 큰 환경에 투입할 수 있으며, 피격 시에도 물질적 손실로 제한된다(김수민・하용훈, 2023). 권래언(2016)이 제시한 바와 같이 통신 단절, 해상 환경에 따른 기동 불안정성, 자율 알고리즘 오류 등의 기술적 제약이 존재하지만, 이홍정・김병현・임경한(2023)과 김기태・임요준(2021)은 유인 함정의 지휘통제 하에 무인 전력을 전방에 배치하는 MUM-T 전술을 통해 이러한 문제를 보완할 수 있음을 제시하였다.

2.2 무인체계 자율수준 분류체계와 평가 척도의 연계

권래언(2016)은 무인 플랫폼의 작전 효과가 체계의 자율화 수준(Autonomy Level)과 직접 연계된다고 보았다. 권래언(2016)과 Sheridan(1992)의 분류를 종합하면 무인체계의 자율성은 4가지 속성으로 구분되며, 이는 본 연구 IV장에서 제안할 효과평가 척도(MOE)를 설계하는 핵심 이론적 기반이 된다.

임무 복잡성(Mission Complexity)에 대해서 권래언(2016)은 이를 단순 기동 및 감시(단위임무)에서 다중 표적 동시 타격(복합임무), 편대 대형 유지(편대임무), 이기종 체계 간 군집 협동작전으로 확장되는 수준으로 정의하였다. 이는 4장의 임무성공률(MSR)과 임무수행향상률(MIR)을 산정하는 기준이 된다. 운용환경 복잡성(Environmental Difficulty)은 해상상태(Sea State; SS 1～6)의 파고, 조류, 조석, 수중 장애물 등 외적 환경 요인을 극복하는 플랫폼의 내환경성을 의미하며, 4장의 임무지속비율(ME) 및 운용가용도(OA) 평가에 반영된다. 환경인식(Perception)에 대해 김기태와 임요준(2021), 권래언(2016)은 단순 센서 신호 탐지 단계부터 특징점 추출, 자동 표적 분류, 다중 센서 융합 기반 피아식별로 고도화되는 인지 능력을 평가 항목으로 제시하였다. 이는 4장의 전장가시화비율(BV) 및 탐지향상률(DIR) 산출의 핵심 변수로 연계된다. 의사결정(Decision Making)은 Sheridan(1992)과 권래언

www.kci.go.kr

(2016)의 기준에 따라 원격 조종에서 인간 승인 자율(Human-directed), 인간 보조 자율(Human-aided), 완전 자율(Fully Autonomous)로 구분되는 지휘결심 주체의 전환 수준을 나타내며, 표적 식별부터 타격까지의 대응시간 단축률(DTSR, DMIR)을 결정한다.

<Table 1> Comparison of Manned, Unmanned, and MUM-T Weapon Systems

Element	Manned System	Unmanned System	Manned-Unmanned Teaming (MUM-T)
Operating Entity	Direct crew boarding & manual control	Remote control or semi-autonomous algorithm control	Command ship remote C2 & autonomous teaming
Human Risk	Casualties occur (critical combat power loss)	Limited to equipment loss (human casualties eliminated)	Tactical expendable operation of forward unmanned assets
Mission Sustainability	Subordinate to crew fatigue & physiological limitations	Subordinate to propulsion energy & communication range	Sustained via rotational shifts of unmanned assets under manned control
Cost	Heavy proportion of personnel & long-term training costs	Centered on AI/SW development & datalink infrastructure	Compromise between manned personnel savings & initial R&D costs
Decision-Making	Independent human judgment (risk of cognitive overload)	Algorithm-based automatic detection (reliability limits)	Sensor fusion automated target identification & human-machine collaborative decision

표 1에 제시된 체계별 비교는 본 연구의 효과평가 모델 설계에 다음과 같은 분석적 시사점을 제공한다. 첫째, 전통적 평가와 달리 인적 손실과 장비 손실을 동일 선상에 두지 않고 독립된 지표(PD, ED)로 분리해야 한다는 점이다. 둘째, MUM-T 체계의 핵심 가치는 개별 플랫폼의 물리적 제원 합산이 아닌 상호 통신망을 통한 결심 속도 단축과 전장 가시화 향상에 있으므로 네트워크 연동 시너지 척도(S)가 반드시 도입되어야 한다는 점이다. 마지막으로 비용 분석 시 플랫폼 획득비뿐 아니라 승조원 감소에 따른 총수명주기비용(TOC)의 장기 궤적을 함께 비교해야 실질적인 경제성 평가가 가능하다는 점이다.

Ⅲ. 기존 무기체계 효과평가 방법론의 한계점 분석

3.1 소요검증 분석

이홍정・김병현・임경한(2023)이 검토한 해군 단위소요검증 사례(함탑재 UAV, 잠수함, 소해함, 차기호위함 등)를 보면, 전력 평가는 정태적 비교와 동태적 M&S 시뮬레이션으로 나뉜다. 김영길

www.kci.go.kr

(2002)과 김기태・임요준(2021)은 정태적 평가에서 기동성, 화력, 방호력 제원을 지수화한 무기효과지수(WEI/WUV)나 계층화분석과정(AHP) 기법이 주로 활용되었음을 확인하였다. 동태적 평가에서는 민승식・오경원・유제관(2020), 송영일(2010), 김수민・하용훈(2023)의 연구처럼 교전급 분석 모델(NORAM, EADSIM 등)을 이용하여 표적 살상확률, 무장 명중률, 자함 생존율, 방어 유출률(Leaker), 피아 손실교환비(LER) 등을 계량화하였다.

그러나 실제 소요검증 및 선행연구 사례를 살펴보면 정량적 왜곡이 발생할 수 있다. 과거 함탑재 무인정찰기 및 연안 무인수상정 선행연구에서 기존 무기효과지수(WEI/WUV)를 적용한 결과, 무인체계는 유인 함정에 비해 화력과 장갑 방호력이 미약하다는 이유로 전투력이 기존 유인함의 20~30% 수준으로 과소평가되었다. 또한 교전급 M&S 분석에서도 아군 호위함 1척의 피격과 정찰용 무인정 1척의 피격을 동일한 '아군 1개 플랫폼 손실'로 처리함으로써, 위험 해역에 무인정을 선제 투입하여 유인 승조원을 보호한 작전적 이점이 오히려 피격 손실률 증가로 산출되는 모순이 발생하였다.

3.2 무인・복합체계 적용 시 발생하는 분석적 오류

DoD(2020)의 분석을 적용해 보면, 이러한 전통적 평가 방식은 다음과 같은 구조적 오류를 유발한다.

김수민과 하용훈(2023)이 언급하였듯 기존 시뮬레이션은 유인 함정 피격과 무인정 1척 피격을 동일한 1개 플랫폼 손실로 처리한다. 승조원이 다수 탑승한 함정과 무인 자산의 손실 가치를 동일하게 처리하는 것은 무인화에 따른 인명 보호 효과를 반영하지 못한다. 엄흥섭(2019)과 송영일(2010)의 논의처럼, 유인 지휘함과 다수 무인 자산이 결합할 때 발생하는 센서 데이터 융합 효과와 전방 경보를 통한 OODA Loop(관찰-판단-결심-행동) 단축 기여분을 독립 변수로 평가하기 어렵다.

권래언(2016)이 다룬 해상 파고, 조류, 전파 방해 등 해양 환경에 따른 무인체계 성능 저하 요인과 승조원 피로도가 없는 24시간 교대 감시 능력을 정태적 지표로 설명하는 데 한계가 있다. 또한, DoD(2020)의 총수명주기비용 분석 기준에 따를 때, 승조원 감축에 따른 경상운영비 절감액과 무인 소프트웨어・데이터링크 개발비 간의 비용 교환(Trade-Off) 관계를 평가 모형에 반영하기 어렵다.

Ⅳ. 무인 및 유・무인 복합체계 효과평가 모델 설계

4.1 임무 엔지니어링 기반 표준 MOE 도출

본 연구에서는 미 국방성의 임무 엔지니어링(Mission Engineering) 지침을 원용하여 무인 및 복합체계의 작전적 특수성을 반영할 수 있는 표준 효과척도를 체계화하였다. 작전 성공도를 정량화하기 위해 특정 기간 내 부여된 총 임무 중 완수된 비율인 임무성공률(MSR)을 기본 척도로 설정하였다. 손실

www.kci.go.kr

평가에 있어서는 기존의 단일 플랫폼 중심 손실 산정 방식을 지양하고 인적 사상과 장비 손실을 완전히 분리하였다. 유인 단독 전력 대비 복합체계 운용 시의 사상자 수 비율로 정의되는 인원손실비율(PD)과 장비손실비율(ED)을 도입하였으며, PD<1일수록 인명 피해 저감 효과가 우수함을 나타낸다.

$$PD = \frac{\text{유무인 복합체계(대안 } C\text{) 운용 시 인원 손실 수}}{\text{유인체계(대안 } A\text{) 단독 운용 시 인원 손실수}}$$

$$ED = \frac{\text{유무인 복합체계(대안 } C\text{) 운용 시 장비 손실 수}}{\text{유인체계(대안 } A\text{) 단독 운용 시 장비 손실수}}$$

비용 관점에서는 획득비와 정비유지비 및 인력 훈련비를 포괄하는 총수명주기비용 비율(TC)과 전투효과 대비 비용을 계량화하는 비용 대 효과 비율(CE)을 연계하였다. 열악한 해양 기상 하에서 작전 연속성을 담보하는 임무지속비율(ME)과 장비 고장 복구 및 정비 주기를 반영하는 운용가용도 비율(OA), 비상 출동 태세를 의미하는 임무연속성 비율(OR)을 시간 및 준비상태 척도로 설정하였다. 마지막으로 전장의 불확실성을 완화하는 상황인식 능력을 측정하고자 전체 표적 중 식별된 표적의 비를 나타내는 전장가시화비율(BV)을 도출하였다.

$$BV = \frac{\text{유무인복합체계(대안 } C\text{) 식별표적비율}}{\text{유인체계(대안 } A\text{)단독식별표적비율}}$$

$$ME = \frac{\text{대안 } i\text{의 1회 출동 연속 작전시간}}{\text{대안 } A\text{의 1회 출동 연속 작전시간}}$$

4.2 플랫폼별 단일 무인체계 전투효과 척도 모형

단일 무인체계의 종합 전투효과(E)는 플랫폼의 기본 성능을 대변하는 기준 척도(Baseline Metric)에 가변적 작전환경 대응성과 자율 기술 성숙도를 나타내는 동적속성 척도(Dynamic Attribute Metrics)를 가중 결합하여 산출한다.

$$E = \omega_0 \bullet (\text{기준척도}) + \sum_{k=1}^{n} \omega_k \bullet (\text{동적속성 척도}_k),\ (\sum \omega = 1)$$

이때 각 세부 지표는 최대 기준값으로 나눈 선형 정규화(Linear Normalization) 값($0 \le X^* \le 1$)을 적용하며, 가중치(ω)는 전문가 계층화분석과정(AHP)을 통해 일관성 비율(CR < 0.1)을 만족하도록 설정한다.

무인수상정(USV)의 경우 연안 경계 및 수상 타격 임무의 특성을 고려하여 임무성공률(MSR)을 기준 척도로 두고, 1회 충전 후 최대 작전지속시간(OT), 표준 위협대응시간 대비 단축률(RT), 수집 데

www.kci.go.kr

이터 정확도(DA)를 동적속성 척도로 결합한다.

$$E_{USV} = \omega_1 \cdot MSR + \omega_2 \cdot (\frac{OT}{OT_{\max}}) + \omega_3 \cdot (\frac{RT_{std} - RT_{avg}}{RT_{std}}) + \omega_4 \cdot DA^*$$

(가중치 설정 예시 : $\omega_1 = 0.40, \omega_2 = 0.20, \omega_3 = 0.20, \omega_4 = 0.20$)

무인잠수정(UUV)은 수중 기뢰 탐색 및 은밀 대잠 초계 효율을 평가하기 위해 임무성공률을 기반으로 탐지향상률(DIR), 탐지시간감소율(DTSR), 의사결정향상률(DMIR), 임무향상률(MIR), 임무시간감소율(MTSR)을 가중 결합하여 모델링하였다.

$$E_{UUV} = \omega_b \cdot MSR_{UUV} + \sum_{j=1}^{5} \beta_j \cdot M_j^*$$

(여기서 M_j^*는 $DIR, DTSR, DMIR, MIR, MTSR$의 정규화 지표이며
가중치를 예를 들면 $\omega_b = 0.35, \sum \beta_j = 0.65$)

본 연구의 시나리오에서 무인항공기(UAV)는 단독 타격 자산이 아니라, 상공에서 수상 표적을 조기 탐색하고 통신 중계를 담당하는 지원 플랫폼으로 운용된다. 따라서 단독 전투효과식을 분리하지 않고, 4.3절의 전장가시화 향상 척도(S) 및 복합 시너지 평가식에 통합하여 평가를 수행하였다.

4.3 유·무인 복합체계 전구급 시너지 평가모형

다수의 유인 함정과 이기종 무인체계(USV, UUV, UAV)가 단일 네트워크로 통합 운용되는 전구급 작전의 총 전투효과(E)는 개별 플랫폼 전투효과의 단순 합산이 아니며, 지휘결심 가속 및 감시망 융합에 따른 복합운용 시너지 척도(S)가 결합되는 모형으로 설계된다.

$$E_{total} = (\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot E_i) \times (1 + S)$$

여기서 Wi는 개별 체계의 전력 기여 가중치이며, 시너지 척도(S)는 다출처 센서 연동을 통한 전장가시화 향상 척도(SBV), 무인 전력의 연속 교대 투입에 따른 임무연속성 향상 척도(SMC), 피아 교전 시 아군 피해 대비 적 피해 비율 개선 폭을 정량화하는 통합전투승산비 향상 척도(SFM)의 가중합으로 구성된다.

$$S = \gamma_1 S_{BV} + \gamma_2 S_{MC} + \gamma_3 S_{FM}$$

www.kci.go.kr

V. 가상 시나리오 기반 사례 적용 및 실증적 비교 분석

5.1 가상 작전 시나리오 설정 및 모의 데이터 산출 근거

본 연구에서 설계한 평가 모델의 유효성과 계산 메커니즘을 검증하기 위해 가상의 연안 복합작전 환경을 구축하였다. 본 분석에 사용된 데이터는 선행연구(이홍정 외, 2023; 김수민・하용훈, 2023; DoD, 2020; 송영일, 2010)의 분석 문헌치와 해군 작전 교리 기준을 벤치마킹하여 모델 검증용으로 설계한 가상 모의 데이터이다.

시나리오는 반경 50NM의 분쟁 해역 내로 침투하는 적 고속정 6척, 잠수함 1척, 기뢰 20발을 72시간 동안 탐지 및 격멸하는 상황을 상정하였다. 비교 대안은 다음과 같이 설정하였다. 대안 A는 유인 단독 전력으로 유인 호위함 1척, 대잠헬기 1대, 소해함 1척(승조원 총 120명)으로 설정하였고 대안 B는 무인 대체 전력으로 정찰・전투용 USV 2척, 소해용 UUV 2기, 정찰용 UAV 2기(원격 통제소 운용 인원 15명)으로 설정하였다. 대안 C는 유・무인 복합체계로 지휘함 역할을 수행하는 유인 호위함 1척에 무인 전력(USV 2척, UUV 2기, UAV 2기)을 통합 편조(승조원 45명)으로 설정하였다.

주요 평가 항목별 모의 산정 가정과 절차는 다음과 같다. 임무성공률(MSR)은 송영일(2010)의 함정 복합전 교전 모델링을 준용하여, 72시간 내 침투 표적 무력화 비율을 확률적으로 모의 산정하였다. 인원 사상자 수는 대안 A는 직접 교전 구역 진입 시 대함미사일 피격 확률을 적용하여 20명으로 설정하였고 대안 B는 무인 원격 운용으로 사상자가 발생하지 않는 것으로 설정하였다. 대안 C는 무인 전력의 전방 배치로 모함 피격 위험을 분산하여 간접 파편상 등 3명으로 가정하였고 작전 지속시간(ME)은 대안 A는 해군 승조원 복무 규정(3직제 교대 및 피로 한계)에 따라 1회 출동 연속 작전 한계를 12시간으로 설정하였다. 대안 B는 배터리 충전 한계로 36시간으로 설정하였으며 대안 C는 유인 지휘함의 해상 지원 하에 USV/UAV를 2개 조로 순환 교대 투입(1조 작전 중 2조 연료 보급)하여 48시간 무중단 작전을 유지하는 것으로 설정하였다. 30년 총수명주기비용(TOC)은 대안 A는 호위함 건조비 및 120명 승조원에 대한 30년간 인건비・훈련비 누적액을 포함하여 1조 2,500억 원으로 설정하였고 대안 C는 무인체계 도입 및 통신 R&D로 획득비는 증가하나 승조원이 45명으로 대폭 감축되어 30년간 인건비 및 경상운영비가 2,750억 원 절감됨에 따라 9,750억 원으로 산출하였다.

5.2 모의 적용을 통한 대안별 특성 분석

표 2와 같이 산출된 모의 결과에 따르면, 평가 지표별로 대안 간 뚜렷한 상충 관계(Trade-off)와 작전적 특성이 도출되었다. 가장 중요한 지표인 인적 손실 측면에서는 무인 대체 전력인 대안 B가 사상자 0명(PD = 0.00)으로 가장 우수한 결과를 보였다. 반면 유・무인 복합체계(대안 C)는 3명의 사상자(PD = 0.15)가 발생하였다. 그러나 대안 B는 인명 피해가 전무함에도 불구하고, 현장 전술 지

www.kci.go.kr

휘통제 노드의 부재와 통신 제약으로 인해 복잡 교전 상황에서의 임무성공률이 78.0%에 머물렀다. 대안 C는 극소수의 인적 위험을 감수하는 대신 지휘함의 현장 결심 능력을 결합하여 91.5%의 가장 높은 임무성공률을 달성하였다. 이는 무인 플랫폼이 유인 함정의 생존성을 보장하는 전술적 완충 자산으로 유효하게 기능함을 보여준다.

전장 인식 및 지휘결심 속도에서도 격차가 확인되었다. 대안 A의 표적 식별률이 45%에 불과했던 반면, 대안 C는 USV와 UAV의 다영역 감시망 연동에 힘입어 88%의 표적 식별률을 달성하였다(BV = 1.95). 이에 따라 표적 탐지부터 타격 결심까지 소요되는 시간 역시 35분에서 14분으로 60% 단축되며 엄흥섭(2019)이 강조한 C4I에 의한 효율성 증대 효과를 확인하였다. 경제성 및 지속성 분석에서도 복합체계의 상대적 효용이 나타났다. 유인 전력은 승조원 3직제 피로도로 인해 12시간 주기의 교대가 불가피했으나, 복합체계는 무인체계 교대 투입을 통해 48시간 연속 작전을 유지하였다(ME = 4.0). 총수명주기비용(TOC) 측면에서도 무인체계 도입에 따른 초기 개발비 증가보다 유인 승조원 감축(120명 → 45명)에 따른 경상운영비 절감 효과가 더 크게 작용하여, 대안 A 대비 22%의 총비용 절감(TC = 0.78, 9,750억 원)을 나타냈다. 최종적으로 종합 전투효과(Etotal)를 산출한 결과 대안 A가 0.620, 대안 B가 0.745를 기록한 반면, 대안 C는 1.142를 기록하였다. 이는 본 연구에서 설정한 가상 시나리오와 모의 조건 하에서, 유·무인 복합 편조가 단독 전력 대안에 비해 다차원 지표 전반에서 균형 잡힌 작전 효과성을 제공할 수 있음을 보여준다.

〈Table 2〉 Simulated Operational Data and Measures of Effectiveness (MOE) Results by Alternative

Evaluation Index	Measurement Item & Unit	Alternative A	Alternative B	Alternative C
Mission Satisfaction	Mission Success Rate (MSR, %)	72.5%	78.0%	91.5%
Human Loss	Casualties during operation (Persons) → Personnel Damage ratio (PD)	20 persons (1.00)	0 persons (0.00)	3 persons (0.15)
Equipment Loss	Hit/Loss platforms (Vessel/Aircraft) → Equipment Damage ratio (ED)	1 vessel (1.00)	2 vessels (2.00)	1 aircraft (1.00)
Battlefield Visualization	Identification ratio vs. total targets (%) → Battlefield Visualization ratio (BV)	45% (1.00)	68% (1.51)	88% (1.95)
Time / Endurance	Continuous operation time per sortie (hr) → Mission Endurance ratio (ME)	12h (1.00)	36h (3.00)	48h (4.00)
Response Promptness	Target detect-to-strike time (T, min)	35 min	22 min	14 min
Economic Efficiency	30-year Total Life Cycle Cost (100 million KRW) → Total Cost ratio (TC)	12,500 (1.00)	8,200 (0.65)	9,750 (0.78)
Comprehensive Combat Effectiveness	Normalized Total Effectiveness (E_{total})	0.620	0.745	1.142

* 본 수치는 선행연구를 참조하여 설정한 가상 모의 예시값임

www.kci.go.kr

5.3 국방획득 및 소요검증 적용 방안

본 연구의 평가 프레임워크는 국방획득 및 소요검증 등 실무 단계에 맞춰 정태적 평가와 동태적 평가로 구분하여 적용할 수 있다. 소요기획 단계에서는 신속한 대안 선별을 위해 정태적 평가를 적용한다. 이때 고전역학 뉴턴 제2법칙을 활용한 네트워크 파워 모델(F=M × V・I/T)과 전문가 AHP 기법을 결합하여, 지휘통제 시간 단축 및 정보 정확도 개선에 따른 정태적 전투력 기여도를 신속하게 추정한다. 소요검증 및 사업타당성조사에서는 해군 분석 모델(NORAM) 등 교전급 시뮬레이션을 활용한 동태적 정량평가를 집중 수행한다.

이를 통해 분쟁 지역의 상태와 각종 신호 송수신 환경, 적 침투 시나리오를 입력하고, 유인 단독 대비 유・무인 복합체계(MUM-T)의 방어율(P), 적 차단율(PRA), 인원손실비율(PD), 전장가시화비율(BV)을 정밀 도출한다. 이를 전구급 시너지 평가모형에 대입하여 복합 편조 운용 시 발생하는 비선형적 전투력 증대 효과를 수치로 입증함으로써 사업 추진의 타당성을 객관적으로 확보할 수 있다. 부가적으로 개발시험평가(DT) 및 운용시험평가(OT) 단계에서는 무인체계의 특성상 초기 시험평가 실측 데이터가 제한적이므로, 시뮬레이션 기반 합성 데이터(Synthetic Data)를 상호 보완적으로 연동하는 융합 분석을 거쳐 평가 결과의 신뢰성을 최종 검증하는데 활용될 수 있다.

Ⅵ. 결론 및 시사점

6.1 연구결론 및 한계

본 연구는 재래식 유인무기체계 중심의 기존 효과평가 방법론이 지닌 한계를 극복하고, 무인 및 유・무인 복합체계(MUM-T)의 특수성을 체계적으로 반영할 수 있는 임무 엔지니어링 기반의 다차원 평가 프레임워크를 정립하였다. 가상 시나리오를 적용한 모의 분석을 통해 인명 사상 위험 저감, 전장 가시화 개선, 임무 지속시간 연장, 총수명주기비용 절감 등 복합체계 도입에 따른 상대적 특성을 계량적으로 비교・확인하였다.

본 연구에서 제시된 수치는 평가 모델의 계산 절차와 적용성을 예시하기 위해 설정된 가상 모의 데이터(Illustrative Data)에 기반하고 있다는 명확한 한계를 갖는다. 따라서 본 결과가 실제 전장에서의 절대적 성능 우위를 직접적으로 증명하는 것은 아니며, 향후 실제 교전급 M&S(NORAM 등) 시뮬레이션 데이터 및 해상 시험평가 실측 데이터와 연동한 공학적 신뢰성 검증(VV&A)이 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

www.kci.go.kr

6.2 실무 적용을 위한 단계별 정책 로드맵

연구 결과를 바탕으로 국방 실무 적용성을 제고하기 위한 단계별 추진 로드맵을 다음과 같이 제안한다.

단기적(1～2년)으로는 제도적 기준 정립하는 차원에서 국방부 '전력발전업무훈령' 및 방위사업청 '무기체계 소요검증 지침'을 개정하여, 인원손실비율(PD), 전장가시화비율(BV), 임무지속비율(ME) 등 무인체계 특화 효과척도를 소요검증 항목으로 명문화한다. 중기 과제(3～5년)로는 국방 M&S 모델 고도화 및 검증하는 단계로서 NORAM 등 교전 분석 도구에 해양 환경상태(Sea State) 연동 및 AI 군집 제어 모듈을 탑재하고, 고충실도 합성 데이터(Synthetic Data)를 결합하여 군 공인 신뢰성 검증(VV&A)을 완료한다. 장기적(6년 이후)으로는 MUM-T 표준 획득평가 시스템을 구축하는 단계로 한국형 모듈러 개방형 아키텍처(K-MOSA)와 연계하여 이기종 무인체계 편조 시 발생하는 네트워크 시너지를 자동 산출하는 표준 소프트웨어 도구를 개발하고 소요 분석 실무 부서에 보급하는 방향으로 진행해야 할 것이다.

www.kci.go.kr

Reference

Eom, H. S. (2019). A Study on the Army Command & Control System Diagnosis and Combat Effectiveness from the 4th Industrial Revolution Perspective, STRATEGIC STUDIES, 26(1), 7–33.

Kim, G. T., & Lim, Y. J. (2021). A Study on the Measuring of Combat Effectiveness for Naval Frigates Using Analytic Hierarchy Process. Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 44(1), 9–16. https://doi.org/10.11627/jkise.2021.44.1.009

Kim, S. M., & Ha, Y. H. (2023). Analysis of Combat and Operational Effectiveness of Swarm Unmanned Surface Vehicles Using ABM Simulation. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 24(12), 224–233. https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.12.224

Kim, Y. G. (2002). Measuring force effectiveness of network centric future force: Theoretical background and measures of effectiveness. Defense Policy Studies, 55, 35–61.

Kwon, R. E. (2016). Classification and Evaluation Method for Autonomy Levels
of Unmanned Maritime Systems. Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 19(3), 404–414. DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2016.19.3.404

Lee, H. J., Kim, B. H., & Lim, K. H. (2023). Development of the Unmanned Maritime System(UMVs) in Neighboring Countries and Its Implications for the Republic of Korea Navy. Journal of the KNST, 6(3), 314–319. https://doi.org/10.31818/JKNST.2023.09.6.3.314

Min, S. S., Oh, K. W., & You, J. K. (2020). Analysis of the Combat Effectiveness of FFG with Guided-Rocket on the Threats of Multiple USV. Journal of Aerospace System Engineering, 14(5), 58–65. https://doi.org/10.20910/JASE.2020.14.5.58

Sheridan, T. B. (1992). Telerobotics, automation, and human supervisory control. MIT Press.

Song, Y. I. (2010). A Study on the Effectiveness Measures of Ship Combat Systems in the Composite Warfare [Master's thesis, Korea National Defense University].

원 고 접 수 일 2026년 09월 14일
원 고 수 정 일 2026년 09월 23일
게 재 확 정 일 2026년 10월 02일

www.kci.go.kr

IDAP 광운대학교 방위사업연구소 INSTITUTE OF DEFENSE ACQUISITION PROGRAM

JAMS JOURNAL OF ADVANCES IN MILITARY STUDIES

2026, Vol. 9, No. 2, 1-13.

https://doi.org/10.37944/advmil.9.2.202610.001

임무 엔지니어링 기반 유·무인 복합체계의 효과평가 모형 연구*

박홍석**

국문초록

국방혁신 4.0의 추진과 지능형 군집 자율제어 기술의 진화에 힘입어 유 · 무인 복합전투체계(MUM-T)의 구축은 미래 군 구조 개편의 최우선 전략 과업으로 확고히 자리 잡았다. 그러나 무기체계 획득 타당성을 실증하는 현행 효과평가 체계는 여전히 과거 유인 플랫폼 중심의 물리적 교전 지표에 고착되어 있어, 무인 전력 투입이 창출하는 인명 피해 배제 가치, 환경 극복 자율성, 전장 가시화 개선도 및 네트워크 시너지 효과를 온전히 설명하지 못하는 평가적 한계를 드러낸다. 본 연구는 유인체계와 무인체계 간 효과평가 메커니즘을 비교 · 분석하고, 임무 엔지니어링(Mission Engineering) 방법론을 기반으로 다차원 통합 효과평가 프레임워크를 정립하는 데 목적을 둔다. 이를 위해 연안 감시 및 대잠 · 대기뢰 복합작전 가상 시나리오를 설정하고 모의 데이터를 투입하여 실증적 비교 분석을 수행하였다. 분석 결과, 유 · 무인 복합체계는 유인 단독 전력 대비 인원 사상 위험을 85% 이상 감축시키는 동시에, 이기종 센서 융합을 바탕으로 전장 가시화 수준을 약 1.95배 제고하였다. 나아가 24시간 교대 운용을 통해 임무 지속성을 4배로 연장하고 총수명주기 비용을 22% 절감하는 등 설정된 가상 모의 조건 하에서 복합 전력의 상대적 효용성을 확인하였다. 본 연구의 결론은 군 소요제기 기관과 국방 사업 분석 기관이 유 · 무인 복합체계 획득의 당위성을 입증하고 최적의 국방자원 배분 대안을 도출하는 데 유용한 실무적 준거 틀을 제공할 것이다.

주제어 : 무인무기체계, 유 · 무인 복합체계(MUM-T), 효과평가, 임무 엔지니어링, 소요검증

* 이 연구는 국립금오공과대학교 대학 연구과제비로 지원되었음(2024~2026).

** (제1저자) 국립금오공과대학교 첨단산업융합학부 부교수, avipak@kumoh.ac.kr, https://orcid.org/0009-0003-2227-4571

www.kci.go.kr