

Simulation-based analysis of operational effectiveness using army weapon effectiveness analysis model of attack helicopter through manned-unmanned teaming (MUM-T) in plain, urban, and mountainous terrains environments

Lee, Bohyung* · Jeong, Seokjae**

ABSTRACT

This study quantitatively analyzed the operational effectiveness of helicopter Manned-Unmanned Teaming (MUM-T) across plains, urban, and mountainous environments. To this end, the Army Weapon Effectiveness Analysis Model (AWAM) was enhanced to conduct integrated simulations of attack helicopters operating in concert with reconnaissance-and-loitering (suicide) unmanned aerial vehicles (UAVs). The survivability of helicopters and the tank destruction rate were compared between manned-only operations and combined manned-unmanned operations. The analysis showed that MUM-T operations outperformed manned-only operations in every terrain type. In plains, the tank destruction rate increased by 1.13 and helicopter survivability by 1.04. In urban terrain, the tank destruction rate rose by a factor of 5.07 and helicopter survivability by 1.91, while in mountainous terrain they increased by factors of 3.96 and 1.62, respectively. These results are attributed to the advance deployment of UAVs, which suppressed enemy air-defense weapons and provided real-time target data to support precision strikes. Given that more than 90 percent of the Korean Peninsula consists of mountainous and urban areas, building MUM-T capabilities into future attack-helicopter forces is essential. In particular, systematic comparison and validation are required for various operational models—such as helicopter-vertical-takeoff-and-landing (VTOL) drone teaming, helicopter-Air-Launched Effects (ALE) teaming, and hybrid helicopter-VTOL-ALE configurations—while simultaneously securing key technological infrastructures, including real-time sensor-to-shooter networks, AI-based situational awareness and decision-support systems, and high-reliability data links. By incorporating terrain variables—plains, urban, and mountainous—into simulation experiments, this research provides empirical evidence of MUM-T's operational benefits and offers foundational data to guide the Republic of Korea military's force development and doctrinal advancement of manned-unmanned teaming systems.

Keywords : Helicopter Manned-Unmanned Teaming (MUM-T), helicopter survivability, tank destruction rate, simulation, MUM-T Development Strategy

* (First Author) Kwangwoon University, Department of Defense Acquisition Program, Ph.D. Candidate, Korea Aerospace Research Institute (KARI), Research Fellow, lbh25505@gmail.com

** (Corresponding Author) Kwangwoon University, Department of Business Administration, Professor, sjeong@kw.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0001-8094-4674>.

I. 서론

최근 군사용 헬기 플랫폼의 생존성과 작전 지속능력을 높이기 위해 유·무인 복합 운용체계(Manned-Unmanned Teaming, MUM-T)를 도입하고 있다. 해당 체계는 유인과 무인 항공기의 통합 운용을 통해 정찰, 표적획득, 정밀타격 등 다양한 작전 임무의 효율성과 치명성을 극대화하는 개념이다(Driessen & Schulte, 2025; Jang, 2025; Jeong, Lee, & Koo, 2024). 특히, 우크라이나-러시아 전쟁에서 대공 공격의 맨패즈에 의해 다수의 러시아 유인헬기(Ka-52, Mi-24, Mi-28N 등)가 피격되거나 격추되면서 유인 플랫폼 단독의 운용 생존성 한계로 인해 MUM-T 체계의 필요성이 강조되고 있다(Szári, 2024). 실제 러시아는 2023~2024년 동안 100대 이상의 공격헬기 상실로 고가 자산과 조종사의 인적 자원 손실이 발생하였다.¹⁾ 이런 전장 환경의 변화로 미 육군은 2024년 2월 8일 미래공격정찰헬기(Future Attack Reconnaissance Aircraft, FARA) 사업을 공식적으로 취소하고, 제한된 항공 예산을 블랙호크·치누크·FLRAA(Future Long-Range Assault Aircraft)와 같은 핵심 플랫폼과 무인 항공체계 획득에 집중하고 있다. 즉, 러우 전쟁을 통해 입증된 UAV의 비용 대비 효과성과 생존성을 반영하여 전통적 유인 정찰헬기 개념이 무인·장거리 기동 중심의 항공전력 구조로 전환하는 전략적 결정이다.²⁾

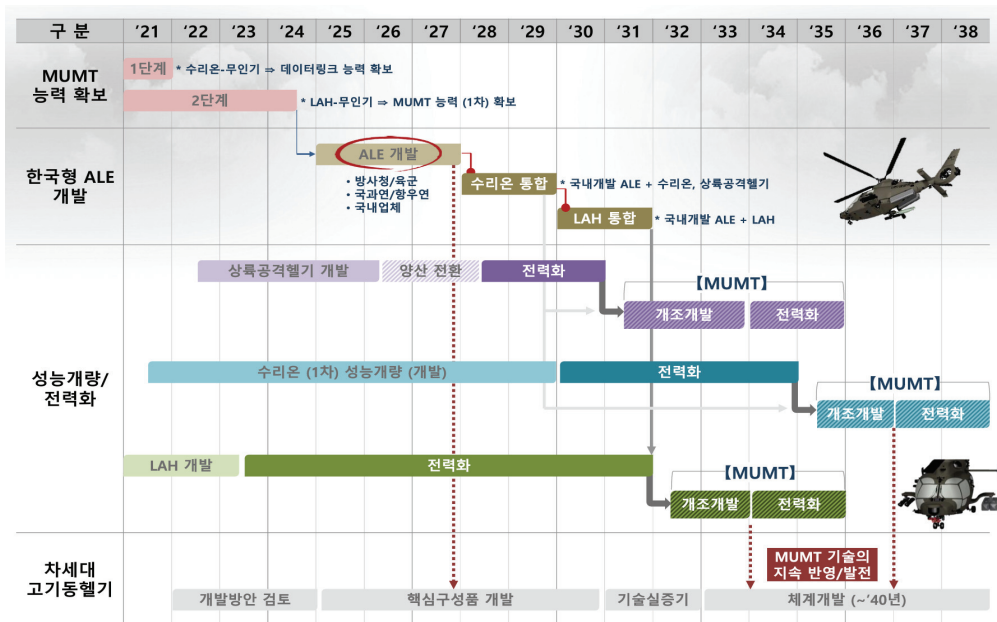
이에 국내의 경우, 방위사업청은 헬기 MUM-T 체계의 신속시범사업을 추진하고, 육군과 국방과학연구소는 사전개념연구를 통해 필요성, 운용개념, 작전운용성능 등을 제시하였다. 또한 합동참모대학과 육군 교육사 등의 교육기관은 유무인 복합체계 및 무인체계에 관한 운용개념과 교리를 연구하고 있으며, 관련 학술 연구도 활발히 진행되고 있다. 예를 들어, Lee, C. et al.(2024)은 MUM-T 운용 효과를 시뮬레이션 분석을 통해 유인헬기 단독 운용은 적 방공망에 취약해 생존성이 낮지만, 무인기를 선투입하여 위협 요소를 제거하면 작전 지속성과 효율성이 크게 향상될 수 있다는 점을 제시하였다. Shin et al(2023) 연구는 현대전에서 요구되는 임무 효율성, 신속한 대응, 인명 보호 등의 조건을 충족하기 위한 MUM-T 도입의 필요성을 제기하고, 기술 수준 평가를 기반으로 국방 항공분야의 MUM-T 발전 방안과 핵심 기술 확보와 로드맵 수립의 시급성을 제시하였다. 이처럼 MUM-T 체계는 고위험 임무에서 인명 피해를 줄이고 전투력을 극대화하는 수단으로 필수적인 전략이다.

현재 우리 군은 2024년부터 소형무장헬기(Light Armed Helicopter, LAH)를 본격적으로 전력화하고 있으며, 해병대 상륙공격헬기(Marine Attack Helicopter, MAH) 개발사업도 병행하여 추진하고 있다. 이러한 차세대 회전익 플랫폼들은 단순한 유인 항공전력의 확충에서 유·무인 복합운용체계 기반의 통합 항공전력으로 발전할 수 있다. 이에 한국항공우주산업(KAI)은 LAH 및 MAH를 중심으로 수직이착륙드론(VTOL UAV), 공중발사드론(Air-Launched Effect, ALE) 등과 연동 운용을 단계적으로

1) Perry, D. (2025). Russia lost over 100 attack helicopters in first two years of Ukraine war, study suggests. FlightGlobal, 2025.

2) Neumann, N. (2024, February 8). US Army cancels FARA helicopter programmes, redirects funds to UAS and Black Hawk procurement. Shephard Media.

구현하는 중·장기 로드맵(Figure 1)을 수립하고 있다. 이런 전력의 전환은 향후 우리 군의 항공작전 개념이 유인 중심(Man-in-the-Loop)에서 유·무인 협동(Man-on-the-Loop) 중심으로 변화를 의미한다.



〈Figure 1〉 Development roadmap of Korean MUM-T systems in military operations

다만, 공격헬기가 운용되는 환경인 한반도는 국토의 약 70% 이상이 산악지형이고, 주요 전략거점이 대도시권에 밀집되어 있어 전장환경의 복잡성이 작전효과에 미치는 영향이 달라질 수 있다. 이런 점에서 유·무인 복합체계가 운용되는 실제 한반도의 지형적 특성(산악·도심 복합지형)과 다층 방공망 환경에서 작전의 효과를 검증하는 연구가 필요하다. 이런 연구 접근은 향후 MUM-T 체계 전력화 정책 수립과 예산편성의 타당성을 검증하는 정량적 시뮬레이션(Quantitative Simulation) 방법을 적용하기 위한 실증적 연구설계로 적합하다. 따라서 본 연구는 공격헬기의 유·무인 복합체계의 운용효과를 검증하기 위해 유인 헬기 단독 운용과 유·무인 복합 운용 간의 효과 차이를 정량적으로 분석한다. 특히, 현실적인 헬기 운용환경을 고려하여 한반도의 지형·작전환경을 변수로 설정하여 운용효과를 비교하고, 우리 군의 미래 MUM-T 전력화 및 운용개념 발전 방향을 수립하는 기초자료 근거를 제공하고자 한다.

II. 선행 연구 고찰

2.1 유·무인 복합체계(MUM-T)의 기본 개념

유·무인 복합체계(MUM-T)는 유인 플랫폼(항공기·지상·해상 등)과 무인 시스템(드론·무인 차량·로봇 등), 그리고 센서 및 병력을 하나의 통합된 협동체로 운용한다. 유·무인 요소는 실시간 정보 공유와 자율·반자율 운용, 센서 및 로봇 기술의 결합을 통해 작전 수행 시 상황 인식을 극대화하고, 타격력(lethality)과 생존성(survivability)을 동시에 향상시키는 것을 목표로 한다. 이는 단순한 병행 운용을 넘어, 유인 플랫폼이 무인 시스템의 센서나 비행경로를 직접 통제·감독할 수 있는 수준까지 포함하며, 다양한 상호운용성 수준(Levels of Interoperability, LOI³⁾)을 통해 운영 효율과 유연성을 확보하는 차세대 운용 개념이다(Kim & Choi, 2024).

Rossetti(2020)는 미 육군 항공센터(USAACE)의 정의를 인용하여 MUM-T를 ‘병력과 유·무인 공중·지상 플랫폼, 로봇, 센서를 동기화 운용하여 상황인식·치명성·생존성을 높이는 체계’로 규정하였다. 또한 AH-64E 헬기에서 발전된 상호운용성 등급(LOI)과 NATO 표준(STANAG 4586)을 통해 센서·슈터 네트워크가 가능해지며, 이를 통해 표적 식별부터 결심, 타격에 이르는 전 과정을 단축할 수 있다고 설명하였다. 다만 조종사가 다수의 무인기를 통제할 때 발생하는 인지 과부하, 상황인식 저하, 공간지각 손실 등 HMI(인간-기계 인터페이스) 과제를 동시에 해결해야 한다는 한계도 지적하였다(Rossetti, 2020). Hwang et al.(2024) 연구는 임무공학(Mission Engineering) 방법론을 활용하여 2040년 지상전 보병(전투차량)대대 수준의 MUM-T 운용개념 아키텍처를 제시하였다. 이들은 임무스레드와 과업 구조화를 통해 팀 편성, 절차, 정보 흐름을 설계하였으며, 단순 전력 합산을 넘어선 시너지 창출이 가능하기 위해 유인·무인 팀 간 역할 분담과 C2(지휘통제) 인터페이스의 구체화 등의 필요성을 제시하였다.

따라서 MUM-T는 단순히 유·무인 플랫폼의 병렬적 사용이 아니라, 임무 수행 효과를 극대화하기 위한 통합 운용체계이며, 개념적 정의에서 기술적·조직적 구현 방안에 이르기까지 다차원적 고려가 필요한 전력 운용 방식으로 이해할 수 있다.

2.2 해외 유·무인 복합체계(MUM-T) 운용 추세

미 육군은 유타주 더그웨이 시험장(Dugway Proving Ground, DPG)에서 AH-64E 아파치·RQ-7Bv2 새도·MQ-1C 그레이이글 확장형(ER)을 연동해 실사격을 실시한 결과, 다중 플랫폼이 동시에 표적

3) LOI(Level of Interoperability)는 유인 조종사가 무인기를 어느 수준까지 통제할 수 있는지를 구분한 단계로, LOI-1은 위치·상태 확인, LOI-2는 센서영상 수신, LOI-3은 페이로드 제어, LOI-4는 비행경로 통제, LOI-5는 임무 전반의 완전 통제를 의미한다.

을 탐지·식별·타격하는 협동 교전(MUM-T live-fire) 능력을 입증하였다.⁴⁾ 이어서 L3Harris의 MUMT-X 항전 장비를 채택하여 AH-64E 아파치 헬기 조종석에서 RQ-7 새도 및 MQ-1C 그레이이글 UAV의 센서 영상과 비행경로를 직접 제어할 수 있는 LOI-4 수준 운용을 구현하였다. 이를 통해 조종사는 Sensor to Shooter 체계에서 직접적인 지휘·통제 권한을 확보함으로써 교전 속도와 표적화 정확도가 향상시켰다.⁵⁾ 또한 Project Convergence Capstone 5(PC-C5) 훈련에서 MQ-1C 그레이이글 ER을 다영역 네트워크에 연결하여, 장거리 ISR·표적획득·타격을 연동 시험하였다. 이를 통해 ALE(공중발사효과체)와 결합한 MUM-T 개념의 크로스 도메인 작전 능력을 실증하였다.⁶⁾

영국 육군은 AH-64E 전력화 과정에서 미국 시험장에서 MUM-T 소프트웨어 시험을 수행하여 조종석 기반 UAV 제어 가능성을 검증하였고, 향후 교리·훈련 체계에 MUM-T를 반영할 전망을 제시하였다.⁷⁾ 아울러 AH-64E를 분산 C2 허브로 운용하여 다수의 무인 ‘뮤울(Mule)’ 플랫폼(최대 6대)을 연동·통제하는 개념을 검토함으로써 치명성·작전 유연성의 동시 제고를 목표로 한다.⁸⁾ 미 육군 사례처럼 조종석에서 UAV의 페이로드·경로를 직접 제어하는 LOI-4가 표준화되며, Sensor-to-Shooter 지연을 단축하고 결심-타격 루프를 가속한다. 네트워크 중심·다영역 통합은 Project Convergence가 보여주듯, MUM-T는 개별 플랫폼의 결합을 넘어 장거리 ISR-표적화-타격을 네트워크로 묶는 크로스 도메인 체계로 진화하고 있으며, ALE 도입은 유인 플랫폼 생존성을 높이고 위험 임무를 소모성/저가 무인 효과체로 분산시키는 방향을 뒷받침한다. 영국군의 아파치-뮤울 운용 구상처럼, 유인 헬기가 분산 C2 허브로 다수 무인 지상/공중 효과체를 거느리는 스웜·컴포저블 팀 개념이 부상하고 있으며, 이는 임무 유연성·지속성을 높이고, 위험 분산과 플랫폼 생존성을 동시에 추구하는 흐름이다. 교리·훈련·표준화 측면에서 실사격과 실증 시험(demonstrations)이 NATO STANAG 4586⁹⁾과 같은 표준화 노력과 맞물리면서, 전력화 과정에서 상호운용성이 핵심 기준으로 작용하고 있음을 보여준다. 결과적으로 MUM-T는 단순 병렬 운용을 넘어, 임무공학적(아키텍처 기반) 통합 운용을 통해 전력 간 시너지 효과를 극대화하는 방향으로 발전하고 있음을 확인할 수 있다.

2.3 MUM-T 운용효과에 관한 모의 분석 연구

MUM-T 운용 효과에 대한 시뮬레이션 기반의 국내외 연구를 살펴보면, 국내의 경우에 Lee, C. et

4) Army Technology. (2025, January 21). British Army exploring uncrewed “mules” to boost Apache lethality.

5) Military & Aerospace Electronics. (2021, January 15). Army chooses L3Harris for avionics to enable the AH-64E Apache helicopter to control two kinds of UAVs.

6) GA-ASI. (2025, May 1). MQ-1C Gray Eagle ER featured at Project Convergence Capstone 5. <https://www.ga-asi.com/ga-asi-mq-1c-gray-eagle-er-featured-at-us-army-s-pc-c5>

7) Vertical Mag. (2025, February 21). Inside the British Army's cutting-edge AH-64E Apache fleet.

8) Army Technology. (2025, January 21). British Army exploring uncrewed “mules” to boost Apache

9) 무인항공기(UAV) 지상통제체계(GCS)와 유인항공 플랫폼 간 데이터 교환·제어를 표준화하는 규격

al.(2024)은 소형무장헬기(LAH)와 UAV를 결합한 모의를 통해 유인 헬기 단독 운용은 적 방공망에 취약하나 무인기를 선투입하여 표적을 식별하고, SEAD 임무 수행에서 생존성과 임무 효율에 관한 유의한 향상을 정량적으로 분석하였다. Kang et al.(2019) 연구는 X-Plane 기반 유인기 시뮬레이터와 HILS 무인기 모듈을 연동한 지상 통합 시뮬레이션 환경을 구축하여 비행시험 이전 단계에서 통신 지연, 링크 안정성, 인터페이스 표준화를 검증함으로써 실증 과정의 위험과 비용에 관한 경감을 밝혔다. 또한 Jo et al.(2023)은 SEAD 시나리오 모의를 통해 무인기를 탐지 · 교란 · 표적지시 임무에 활용하고, 유인기는 원거리 타격에 집중할 때 생존성과 효율성이 높아진다는 점을 확인하였다.

해외 연구의 경우, 독일 DLR의 Voigt 등(2019)¹⁰⁾은 유인 FHS 헬기와 무인 superARTIS 헬기의 협조 편대비행 프로젝트를 통해 MUM-T 운용이 임무 효율성을 향상시키는 동시에 조종사의 인지부하를 가중시킬 수 있음을 분석하며, HMI와 자동화 수준의 중요성을 강조하였다. Roth et al.(2021)은 다사용자 환경에서 임무계획 지원 도구를 시뮬레이션으로 검증하여 상황인식 공유와 자산 배분이 팀 효율을 높이는 데 기여함을 보였으며, Lee, H. et al.(2023)¹¹⁾은 강화학습 기반 시뮬레이션을 통해 UAV 재머와 SAM 위협이 혼재된 환경에서 유 · 무인 협업 정책을 학습시켜 임무 성공률과 생존성을 향상시킬 수 있음을 입증하였다. 아울러 Kim & Kim(2023)은 전 규모 헬기 시뮬레이터와 다수의 PX4 UAV를 연동한 통합 시뮬레이션 플랫폼을 구축하여 편대 비행 및 경로 추종 시나리오에서 정량적 지표를 도출하고 조종사 상황인식 및 알고리즘 검증을 동시에 지원할 수 있는 환경을 제시하였다.

선행연구를 고찰한 결과, 기존 MUM-T(유 · 무인 복합체계) 연구는 주로 개념 검증, 플랫폼 · 통신 연동, 특정 임무(예: SEAD, 편대 비행)의 성능 평가 등에 초점을 두고 있다. 그러나 실제 작전환경의 지형(평지 · 도심 · 산악 등) 변수는 전투 결과에 영향을 미치게 된다. RAND의 보고서에 의하면,¹²⁾ 도심 전장은 구조물의 밀집도와 비가시성, 은폐 · 엄폐 요소로 인해 작전 수행의 복잡성이 현저히 증가하며, 이는 C4ISR(지휘 · 통제 · 통신 · 컴퓨터 · 정보 · 감시 · 정찰) 능력과 병력 운용에 복합적인 제약을 초래한다. 예를 들어, 복합 지형(도심, 산악)에서 시야(LOS: line-of-sight) 확보 여부와 은폐 · 엄폐 가능성은 우군 헬기의 표적 탐지 · 식별 능력과 타격 위치를 결정하며, 헬기 생존성과 직결된다. LOS가 제한되는 환경에서는 헬기가 적 대공화기 사거리 내로 진입해야만 표적을 확인 · 타격할 수 있어, 동일한 전력을 투입하더라도 손실교환비(Loss Exchange Ratio), 전력교환비(Force Exchange Ratio), 적 전차 파괴율, 아군 헬기 생존율 등의 성과지표가 지형별로 크게 달라질 수 있다. 따라서

10) Voigt, A., Donkels, A., & Fetting, K. (2019). Manned-unmanned teaming cooperative formation flight-a project review. Retrieved from <https://elib.dlr.de>

11) Lee, H. J., Moon, B. H., Kwag, C., Maw, A. A., & Lee, J. W. (2023). Mission Planning of Manned-Unmanned Aircraft Teaming based on Reinforcement Learning: Suppression of Enemy Air Defences (SEAD) Mission. Retrieved from <https://eucass.eu>

12) RAND Corporation, Glenn, R. W. (2022). Heavy Matter: Urban Operations' Density of Challenges. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

평지·도심·산악 등 대표 작전환경을 변수로 포함한 조건부 시뮬레이션(terrain-conditioned simulation)을 설계하여, 유인기 단독 운용과 MUM-T 복합 운용의 성과 차이를 정량적으로 비교·분석할 필요가 있다. 이러한 접근은 단순한 개념적 타당성 검증을 넘어, 실제 전장 환경에서의 운용 효과를 실증적으로 평가하는 데 중요한 근거가 될 것이다.

III. 연구방법 및 진행

우리 군은 평지, 도심, 산악 등 다양한 작전환경에서 유인기 단독 운용과 유·무인 복합 운용을 상호 비교하여 운용 효과를 정량적으로 분석할 수 있는 모의분석 도구를 아직 보유하지 못한 실정이다. 현재까지 육군항공분석모델(ASIM)은 실시간 MUM-T 운용효과를 모의하는 데 한계가 있으며, 화력운용분석모델(FEAM) 역시 무인기에서 획득한 영상을 지휘소를 거쳐 제공받아야 하므로 실시간(real-time) 모의가 제한된다. 우리 군은 이러한 한계를 극복하기 위해 드론 및 MUM-T 체계 모의를 위한 「비전21모델 성능개량 체계개발 사업」을 추진 중이며, 2026년 전력화를 목표로 하고 있다. 현재 운용 중인 공격헬기의 표적 획득 및 타격 절차는 헬기 자체의 표적획득지시장비(Target Acquisition and Designation Sight; TADS)를 활용하거나, 정찰 UAV가 획득한 영상을 지휘소에서 분석·처리한 후 공격헬기에 전달하는 방식으로 이루어진다. 그러나 이 과정은 최소 수분에서 수시간이 소요되어 실시간 Sensor-to-Shooter 체계를 구현하기 어렵다. 이러한 제약은 우리 군이 보유한 기존 모의분석 모델에도 동일하게 적용된다.

본 연구는 MUM-T 체계를 효과적으로 모의하기 위해서는 두 가지 과제가 해결되어야 한다. 첫째, 정찰 UAV가 획득한 표적정보가 실시간으로 공격헬기에 전파되어 Sensor-to-Shooter가 가능해야 하며, 둘째, 공격헬기에서 자폭형 드론을 투사하여 실시간 타격이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 이러한 조건을 충족하기 위해 AWAM(Army Weapon Analysis Model)을 일부 보완하여 활용하였다. 모의 과정에서 유·무인 복합 편제의 헬기는 마스트 높이를 무인기 운용고도까지 인위적으로 확장한 후 TADS를 장착하여 UAV로부터 획득한 표적정보를 실시간 활용할 수 있는 운용 조건을 구성하였다. 또한 자폭형 무인기의 역할은 500MD 헬기를 기반으로 모의하여, 실시간 Sensor-to-Shooter 개념을 구현할 수 있는 MUM-T 운용 효과를 분석하였다.

3.1 모의분석 모델(AWAM)

본 연구는 유·무인 복합체계와 유인기 단독 임무 수행의 효과를 정량적으로 비교하기 위해 AWAM(Army Weapon effectiveness Analysis Model)을 일부 보완하여 분석모델로 활용하였다(i.e., Jo, Kim, Park, Kim, & Kim, 2017)(Table 1). AWAM은 여단급 이하 제대의 무기체계 운용 효과를 검토할

수 있도록 설계된 교전급 국방 시뮬레이션 모델로, 지상무기 효과 분석에 초점을 두고 있다. 이 모델은 2006년에 개발되어 합동참모본부, 육군본부, 국방과학연구소(ADD) 등 여러 기관에서 사용되고 있으며, 주로 대대급 이하 전술제대의 작전계획 검토, 전투실험, 무기체계 효과 분석에 폭넓게 활용되고 있다. AWAM은 몬테카를로 시뮬레이션 방식을 기반으로 이동-탐지-교전-피해평가 과정을 반복 모의하는 확률적 모델이다. 따라서 명중률, 살상률, 탐지율과 같은 확률 변수뿐 아니라 개체의 상태(자세, 이동 여부 등)에 따라 결과가 달라질 수 있다. 적용 분야는 무기체계 성능 및 효과 검증, 비용 대비 효과성 분석, 시험·평가 등으로 확장될 수 있으며, 무기체계의 생존도·취약도·치사도를 도출하거나 대대급 이하 전술제대의 작전 시나리오를 설정하여 전투효과를 분석하는 데에도 활용할 수 있다.

〈Table 1〉 Simulation model parameter setting by Field in AWAM

Category	Main Description
Number of Entities	Up to 30,000 units simulated (including 2,000 weapons and 2,000 weapon systems)
Unit of Representation	From individual weapon systems to regimental level
Simulation Functions	Movement, detection, engagement (fire), damage assessment, engineering (obstacles, fortifications), CBRN, weather effects
Terrain Representation	Battlefield size: 10-100km square; Elevation: DTED-II (30×30m) resolution; Attributes: roads, rivers, buildings, wire obstacles (vector map)
Others	Up to 15 situation displays operated simultaneously; interactive game-based operation; stochastic model capable of 99 repeated runs per identical scenario

모델 시스템은 크게 세 가지 핵심 모듈로 구성된다(Figure 2). 첫째, 입력자료 편집도구, 전투모의 상황도 및 작전명령 입력도구를 통해 시뮬레이션 실행을 준비한다. 둘째, 모의 결과는 분석도구(사후 분석기)를 활용하여 정량적으로 평가된다. 셋째, 전체 시나리오의 흐름은 프로젝트 관리기를 통해 통제되며, 각종 입력 자료는 MS-SQL 기반의 데이터베이스 관리시스템(DBMS)에서 관리된다.



〈Figure 2〉 Overview of Army Weapon effectiveness Analysis Model (AWAM)

3.2 모의 준비

청군과 홍군의 전투편성은 군사보안을 고려 제대별로 유사 제원 및 임의 대수를 적용하였다. 청군의 항공기와 교전하는 홍군의 전차는 천마호 급으로 묘사하였다. 홍군부대의 전차 대수는 45대로 하고, 홍군부대의 대공화기는 3개 방공소대(화승충급 대공화기 2기 및 14.5mm 고사충급 2기 × 3)로 편성하였다. 청군의 유·무인 복합제대는 아파치급 헬기 6대와 무인기 6대로 편성하였고, 유인기 단독제대는 아파치급 헬기 6대로 편성하였다. 교전지역은 군사보안 고려 임의지역인 전북 부안(평지) 일대, 대전광역시(도심), 추풍령(산악)일대를 선정하고 크기는 지형지물 편집기로 25km×25km로 설정하고, 도심 및 산림지역에서는 평지조건 대비 가시확률 50%, 차륜속도비율 90%, 궤도속도비율 60%, 도보속도비율 60%를 적용한다. 유인기 무장은 Hell-fire 8기, 2.75인치 라켓 38발, 30mm 1,200발을 탑재하고, 홍군의 대공화기 및 전차의 성능 및 무장은 프로그램 설정 값을 적용한다.

지상무기효과분석모델의 입력데이터 구축지침서에 의해 유인헬기의 센서 높이는 사전 설정한 마스트 높이와 동일하므로 청군 유인헬기의 마스트 높이를 1,000m(3,000ft)로 설정하여 항공기의 센서가 곧 무인기의 역할을 하게 함으로써, 무인기에 의한 실시간 정찰 기능을 수행하게 한다.¹³⁾ 청군

13) “센서높이”는 가시선 분석의 기준 높이로 사용된다. 탐지센서는 무기체계의 가장 높은 곳에 위치하므로 탐지 및 피탐지 무기체계의 가시선 분석은 피탐지 표적의 가장 높은 부분을 고려한다. 또한 모델에서는 고도뿐만 아니라 지형지물의 높이도 적용하여 높이 속성이 있는 지형지물(도심/산림/일반지역)의 내부 또는 건너편의 표적을 볼 수 있는지를 모의한다. (입력데이터 구축지침서(I) p.28, p.220 참조). 항공기 센서 높이 = 센서 높이 + 마스트 높이

무인기의 공격기능은 7.62mm 발칸 및 2.75인치 라켓 무장을 장착한 500MD 헬기로 모의하여, 홍군의 대공화기 식별시 자폭에 의한 공격을 하도록 설정한다. 유인기와 통신할 무인기는 통신이 끊기지 않는 무손실 통신으로 묘사하였고, 각 항공기와 무인기는 모두 통신이 가능한 것으로 설정하였다. 화기의 명중 및 살상확률, 표적의 명중 및 살상확률은 각 화기가 해당하는 표적에 대해 어느 정도로 명중하고 살상하는지에 대한 변수값이며 본 모의에서는 90%를 적용하였다. 전투편성 편집기를 통해 교전을 실시할 부대의 단위 및 편제를 설정하였다. 이때 유·무인 복합제대에서는 무인기 통제 권한을 가진 항공기를 6대로 설정하고 무인기에는 표적 정보전달 능력 및 자폭기능을 부여하였다. 실험진행은 유인기 단독 제대와 유·무인 복합제대는 동일한 항로와 사격진지를 사용하도록 설정하고, 첫 번째 사격진지에서 사격 이벤트가 발생하지 않을 경우 2, 3번째 사격진지로 이동하여 교전 하도록 하였고, 작전시간이 1시간 이상 경과하면 FARP으로 복귀하도록 진행하였다. 각각의 교전 모의는 30회를 반복 시행하여 평균 손실 개체수를 도출하여 결과에 반영하였다.

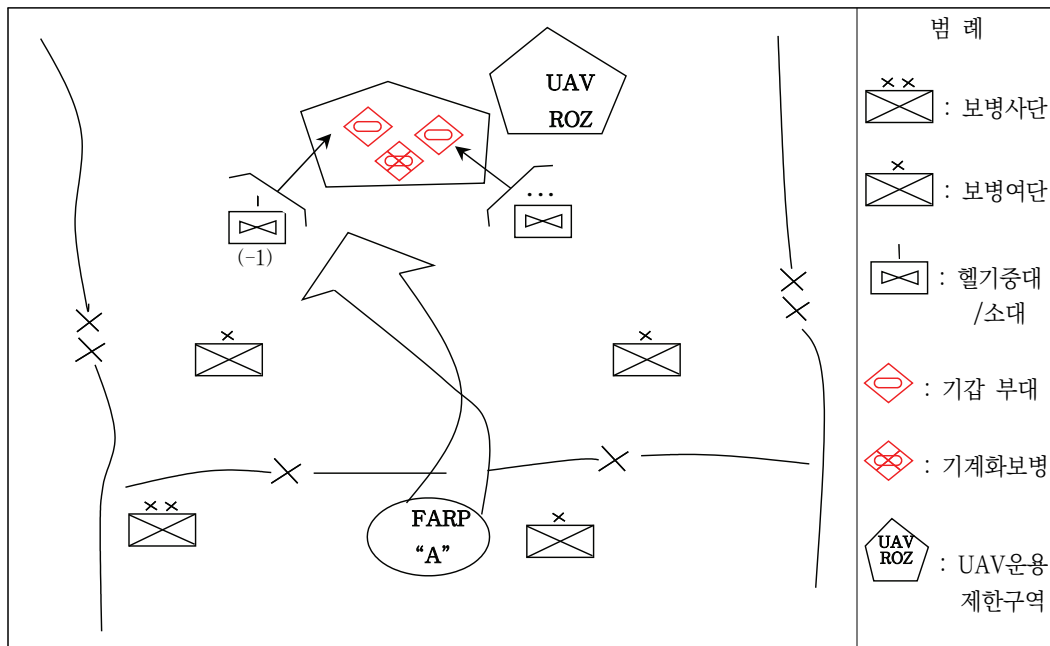
3.3 교전모의 시나리오

평지지역에서 교전은 전북 일대의 평야지대를, 도심지역에서 교전은 대전광역시 일대를, 산악지역에서의 교전은 추풍령 일대의 25km×25km의 산악지역을 선정하였다. 홍군의 전차는 천마호 급 전차로 45대를 구릉 및 평야지대, 도심지역, 산악지역에서 전차 기동이 가능한 지점에 배치하고, 대공화기는 3개 방공소대(화승총급 대공화기 2기 및 14.5mm 고사총급 2기 × 3)로 편성하여 구릉 및 평야지대, 도심지역, 산악지역에 기동부대에 대한 엄호가 가능한 지역에 배치하였다. 청군의 유·무인 복합제대는 아파치급 헬기 6대와 무인기 6대로 편성하고, 유인기 단독제대는 아파치급 헬기 6대로 편성하였다.

홍군 전차 부대는 중심 지역에서 집결지를 편성하여 공격준비를 하다가 홍군의 전방 전투부대를 초월하여 청군의 방어선을 돌파하고 후속하는 홍군의 보병부대를 엄호한다. 이때 방공부대는 청군의 항공전력을 탐지·추적·격추 시킴으로서 홍군의 전차와 보병부대를 방호하는 임무를 수행한다. 청군의 헬기 단독임무는 표적획득지시장비(TADS)를 활용하여 홍군의 대공화기 및 전차를 탐지 식별하고 자체 무장한 공대지 미사일과 라켓, 기관총을 사용하여 제압한다. 청군의 유무인 복합(MUM-T)운용은 무인정찰기를 3,000~4,000ft 상공에서 정찰하면서 홍군의 대공화기와 전차를 탐지·식별하고, 동시에 식별된 자폭 무인기를 투입하여 홍군의 대공화기를 제압한다. 청군 자폭무인기는 헬기에 앞서 투입하여 홍군의 대공화기 식별 시 자폭에 의한 공격을 한다.

헬기 단독임무는 Figure 3과 같이 FARP(Forward Arming and Refueling Point, 전방 무장 및 연료 재보급소)에서 공격헬기 2대씩 3개 제대로 구분하여 2개 제대는 비행로를 따라 전진하여 전투진지를 점령하여 목표지역 일대에 있는 홍군의 전차와 방공화기를 탐지하고 자체 공대지미사일과 라켓, 기관총 등으로 타격한다. 유·무인 복합 운용(MUM-T)은 FARP를 출발하여 비행로 상공에서 자폭

무인기를 목표지역 일대에 투입하여 표적과 위협요소를 탐지 식별하고 자체 능력으로 홍군의 대공 화기를 자폭에 의거 파괴한다. 이어 무인기와 유인헬기가 작전지역에 진입하여 정찰 감시 비행을 통해 표적을 탐지 및 식별하고 표적 식별 시 공대지미사일 및 라켓을 발사하여 타격한다. 무인기 및 헬기의 TADS에 의해 획득한 영상을 토대로 BD(전투피해)를 평가하여 재타격 여부를 판단 및 시행한다.



〈Figure 3〉 Blue Force's air attack against red force maneuvering

IV. 분석 결과

4.1 평지 지역 모의 결과

유인헬기 단독제대는 청군 최초 고성능 공격헬기 개체수는 6대, 홍군 최초 개체수는 고성능 전차 45대와 경고사총 6정, 휴대용 대공화기 6기이며, 30회 모의실행 기준 평균 손실 개체수는 청군 0.00, 홍군 00.00, 세부 전력 손실개체수는 청군 고성능 공격헬기 0.00대, 홍군 고성능 전차 00.00대이고 홍군 대공화기 손실은 없었다. 유·무인 복합제대는 청군 최초 고성능 공격헬기 개체수는 6대, 무인기 개체수 6대, 홍군 최초 개체수는 고성능 전차 45대와 전차대대 편제 대공화기이며, 30회 모의실행 기준 평균 손실 개체수는 청군 0.00, 홍군 00.00, 세부 전력 손실개체수는 청군은 고성능 공격헬기

0.00대, 무인기 0, 홍군은 고성능 전차 00.00대, 경고사총 0.00이었다. 청군 무인기 손실은 적 대공화기에 대한 자폭공격으로 발생하였다.

평지 지역에서 실시한 모의 교전 결과를 종합하면, 평균 손실은 청군의 공격헬기는 0.00대였으며 홍군은 전차 00.00대를 잃었다(Table 2). 홍군의 대공화기는 피해가 없었으며, 이때 전차 파괴율은 37.7%, 헬기 생존율은 92.2%로 나타났다. 반면 유·무인 복합 운용에서는 청군이 같은 AH-64급 공격헬기 6대에 무인기 6대를 추가 투입하였고, 홍군의 편제는 동일하게 유지되었다. 30회 모의 평균 손실 결과, 청군은 공격헬기 0.00대와 무인기 0대를 잃었고, 홍군은 전차 00.00대와 경고사총 0.00정을 잃었다. 무인기 손실은 대부분 적 대공화기를 자폭 공격으로 제압하는 과정에서 발생하였다. 이때 전차 파괴율은 42.4%로 유인기 단독 운용보다 약 1.13배 높았으며, 헬기 생존율도 95.5%로 단독 운용 대비 약 1.04배 향상되었다.

〈Table 2〉 Effect of MUM-T operations under the plain terrain condition

Category	Manned Aircraft Only Attack	Manned-Unmanned Combined Attack	Remarks
Red Force Tank Destruction Rate	37.7%	42.4%	1.13 × increase
Blue Force Helicopter Survival Rate	92.2%	95.5%	1.04 × increase

이러한 수치는 평지에서 무인기가 선제적으로 대공화기를 타격해 유인헬기의 접근로를 열고 실시간 표적 정보를 제공함으로써 공격 헬기의 교전 시간을 단축하고 생존성을 높였음을 보여준다. 다만, 개활지 특성상 가시선 확보가 용이하여 홍군의 대공화기 유효사거리 밖에서 공격헬기 자체 TADS로 표적을 획득하고 타격함으로써 유인헬기 단독작전과 유·무인 복합작전간 생존율의 차이는 미미하게 나타났다. 그럼에도 자폭무인기를 운용하여 홍군의 대공화기를 일부 제압함으로써 유·무인 복합 운용이 전차 파괴 능력과 아군 생존성 모두에서 유인기 단독 운용보다 다소 우수하다는 사실이 정량적으로 입증되었다.

4.2 도심 지역 모의결과

유인헬기 단독제대는 청군 최초 고성능 공격헬기 개체수는 6대, 홍군 최초 개체수는 고성능 전차 45대와 경고사총 6정, 휴대용 대공화기 6기이며, 30회 모의실행 기준 평균 손실 개체수는 청군 0.00, 홍군 0.00, 세부 전력 손실개체수는 청군은 고성능 공격헬기 0.00대, 홍군은 고성능 전차 0.00대, 휴대용 대공화기 0.00기, 경고사총 0.00정 이었다. 이는 청군의 고성능 공격헬기가 도심지역에 진입하면서, 으떼 엄폐하고 있는 홍군의 전차를 탐지, 식별, 타격하는 과정에서 홍군의 대공화기 유효사거

리에 도달하게 되고 교전이 발생하여 상호 피해가 나타난 것으로 판단된다.

청군 최초 고성능 공격헬기 개체수는 6대, 무인기 개체수 6대, 홍군 최초 개체수는 고성능 전차 45대와 경고사총 6정, 휴대용 대공화기 6기이며, 30회 모의실행 기준 평균 손실 개체수는 청군 0.00, 홍군 00.00, 세부 전력 손실개체수는 청군은 고성능 공격헬기 0.00대, 무인기 0대, 홍군은 고성능 전차 00.00대, 경고사총 0.00정, 휴대용 대공화기 0.00기가 손실되었다. 청군 무인기 손실은 적 대공화기에 대한 자폭공격으로 발생하였다. 도심 환경에서 청군과 홍군 간의 교전 시나리오를 30회 반복 모의한 결과(Table 3), 유인 헬기 단독 운용과 유·무인 복합 운용(MUM-T)은 전투 효과와 아군 피해 측면에서 뚜렷한 차이를 보였다. 유인 헬기 단독 운용시 청군은 평균 헬기 0.00대를 상실했고, 홍군은 전차 0.00대, 경고사총 0.00정, 휴대용 대공화기(MANPADS) 0.00기를 잃었다. 도시의 복잡한 건물 구조와 좁은 골목은 헬기 시야를 제한하고, 은폐·엄폐한 홍군 대공화기의 유효사거리 안으로 진입할 수밖에 없었다. 그 결과 청군의 헬기 생존율은 49.5%, 홍군 전차 파괴율은 8.0%에 그쳤다. 즉, 헬기 단독 운용은 높은 아군 손실과 제한된 타격 성과를 보였다.

〈Table 3〉 Effect of MUM-T Operations under the urban terrain condition

Category	Manned Aircraft Only Attack	Manned-Unmanned Combined Attack	Remarks
Red Force Tank Destruction Rate	8.0%	40.8%	5.07 × increase
Blue Force Helicopter Survival Rate	49.5%	94.5%	1.91 × increase

반면 유·무인 복합 운용시 무인기는 헬기보다 선행해 저고도로 침투하며 홍군 대공화기를 자폭 공격으로 우선 제압하고, 실시간 표적 좌표를 유인기에 전송하였다. 이 방식으로 청군의 헬기 손실은 평균 0.00대로 크게 줄었고, 무인기는 임무 과정에서 0대가 손실되었다. 홍군은 전차 00.00대, 경고사총 0.00정, 휴대용 대공화기(MANPADS) 0.00기를 상실했다. 결과적으로 헬기 생존율은 94.5%, 전차 파괴율은 40.8%로 나타나, 단독 운용 대비 각각 약 1.9배와 5.1배 향상되었다. 도심 환경은 평지에 비해 가시선이 짧고 장애물이 많아 탐지·식별·교전 과정에서 아군 항공 전력이 대공 위협에 노출될 가능성이 높다. 그러나 MUM-T 운용을 적용하면 무인기의 선제 대공 제압을 통해 유인기의 접근 위협을 감소시키고, 실시간 표적 정보 공유를 통해 Sensor-to-Shooter 지연을 최소화하며, 아군 피해를 크게 줄이면서 적 전차 파괴 효과를 극대화할 수 있음이 정량적으로 입증되었다. 따라서 도심 환경에서 MUM-T는 유인 헬기 단독 작전에 비해 생존성과 작전 지속성, 전투 교환비 모두에서 우월하며, 실제 전장에서 헬기 전력의 생존과 임무 달성을 보장하는 핵심 운용개념이다.

4.3 산악 지역 모의결과

유인기 단독제대는 30회 모의실행 기준 평균 손실 개체 수는 청군 0.00, 홍군 0.00, 세부 전력 손실 개체수는 청군은 고성능 공격헬기 0.00대, 홍군은 고성능 전차 0.00대, 휴대용 대공화기(MANPADS) 0.00기, 경고사총 0.00정이 파괴되었다. 이는 청군의 고성능 공격헬기가 산악지역에서 은폐 엄폐하고 있는 홍군의 전차를 탐지, 식별, 타격하는 과정에서 공중에 노출되고 홍군의 대공화기에 피격되어 피해가 나타난 것으로 판단된다. 유·무인 복합제대는 평균 손실 개체 수는 청군 0.00, 홍군 00.00이 피해가 발생하였으며, 세부 전력손실 개체 수는 청군은 고성능 공격헬기 0.00대, 무인기 0.00대, 홍군은 고성능 전차 00.00대, 경고사총 0.00정, 휴대용 대공화기 0.00기가 손실되었다. 청군 무인기 손실은 적 대공화기에 대한 자폭공격으로 발생하였다. 산악지역에서 수행된 모의 교전 결과는 Table 4와 같이 유인기 단독 운용 대비 유·무인 복합(MUM-T) 운용의 효과를 정량적으로 입증하였다. 우선 청군(Blue Force)의 고성능 공격헬기 손실은 2.43대에서 0.20대로 감소하였다. 이는 무인기가 선제적으로 적 대공화기를 탐지·제압함으로써 헬기의 노출과 피격 가능성을 크게 줄였음을 보여준다.

〈Table 4〉 Effect of MUM-T Operations under the mountainous area condition

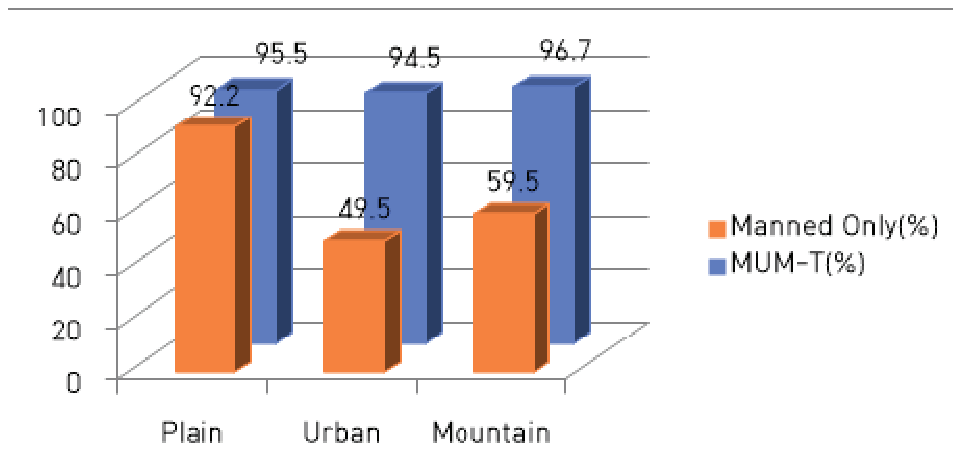
Category	Manned Aircraft Only Attack	Manned-Unmanned Combined Attack	Remarks
Red Force Tank Destruction Rate	9.0%	35.6%	3.96 × increase
Blue Force Helicopter Survival Rate	59.5%	96.7%	1.62 × increase

특히 홍군 전차 파괴율은 9.0%에서 35.6%로 3.96배 증가하였다. 청군 공격헬기의 평균 생존율 또한 59.5%에서 96.7%로 1.62배 향상되었다. 산악 지형은 시야 확보가 제한되고 은폐·엄폐 지형이 많아 고정익 UAV나 유인헬기 단독 정찰로는 실시간 표적획득이 어렵다. 그러나 본 모의에서는 유·무인 복합 운용을 통해 무인기가 협곡과 능선을 선점하여 대공화기를 선제 타격하고, 실시간 표적 정보를 공유함으로써 헬기 투입 시의 위험을 현저히 줄였다. 이러한 결과는 가시선(LOS) 단절과 고저차가 심한 산악 전장에서 MUM-T 운용의 전술적 효과를 뚜렷하게 보여준다. 단순히 적 전차 파괴율을 높이는 수준을 넘어, 아군 전력의 생존성을 극대화하고 전력교환 효율을 비약적으로 향상시킴으로써, 산악·도심 등 고위험 작전 환경에서 유·무인 복합체계 도입의 필요성과 실효성이 입증된다고 하겠다.

4.4 모의 분석 종합

4.4.1 헬기 생존율

헬기 생존율은 평지에서 유인기 단독 작전 시보다 유·무인 복합 작전 시 약 1.04배 증가하는 데 그쳤다(Figure 4). 이는 평지 환경에서는 지형 장애물이 거의 없어 가시선(LOS: Line of Sight)이 넓게 확보되고, 적 전차 및 대공화기의 위치를 원거리에서 탐지할 수 있기 때문이다. 이러한 환경에서는 헬기가 보유한 표적획득장비(Target Acquisition Sensor)와 공대지 미사일(Air-to-Ground Missile)의 최대 유효사거리(Effective Range) 내에서 교전이 가능해진다. 다시 말해, 적의 대공화기 사거리보다 더 먼 거리에서 표적을 조기 탐지·식별하고 미사일로 타격할 수 있으므로, 무인기의 정보지원 효과가 상대적으로 제한적으로 작용한 것이다. 결과적으로, MUM-T 운용이 일부 상황인식 향상에는 기여했으나, 이미 높은 LOS 확보 조건 하에서는 생존성 개선 폭이 크지 않았다고 볼 수 있다. 도심 및 산악 지역에서는 유인기 단독 작전 대비 유·무인 복합 작전 시 생존율이 약 1.62~1.91배 향상되는 것으로 나타났다. 이는 복잡한 지형 구조로 인해 시야 확보가 제한되고, 건물·지형물로 인한 음영 지역(Blind Zone)이 다수 존재하기 때문이다. 이러한 환경에서는 유인 헬기가 단독으로 표적을 탐지하기 위해 적 대공화기의 유효사거리 내로 근접 비행(Approach Flight)을 해야 하며, 이 과정에서 적 방공망에 노출되어 교전이 발생할 가능성이 높다. 실제로 시뮬레이션에서는 유인 헬기가 홍군 전차를 타격하기 위해 사거리 내로 진입하면서 상호 피해 교환(Mutual Attrition)이 빈번하게 발생하였다.



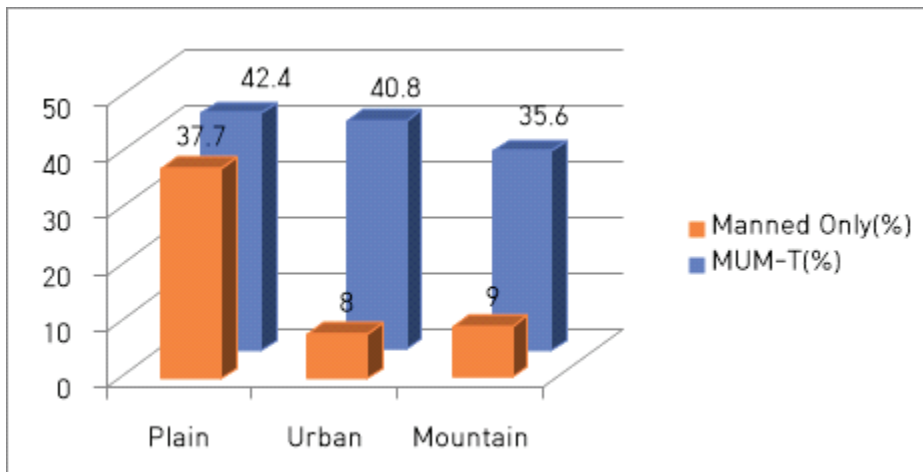
〈Figure 4〉 Comparison of helicopter's survivability by geomorphic conditions

반면, MUM-T 체계에서는 무인기가 전방 감시자(Forward Observer) 역할을 수행하며, 고위험 지역을 먼저 비행하면서 표적 위치와 위협 정보를 제공한다. 유인 헬기는 이를 기반으로 안전한 거리에

서 타격을 수행하거나, 노출 시간을 최소화하는 경로를 선택할 수 있게 된다. 즉, 무인기의 선타지 · 정보공유 덕분에 유인기는 적의 대공 사거리 밖에서 작전 결심과 사격을 수행할 수 있으므로 생존율이 비약적으로 향상되는 것이다. 이러한 결과는 지형의 가시성과 위협 밀집도가 MUM-T 효과성에 미치는 영향을 명확히 보여준다. 평지에서는 LOS 확보가 충분하여 MUM-T의 정보우위 효과가 상대적으로 작게 나타났으나 도심 및 산악과 같이 복잡한 환경에서 유 · 무인 간 협업(Information & Task Teaming)이 생존성 향상의 핵심 요인으로 작용한다. 따라서 향후 시뮬레이션 설계나 전술 실험에서는 지형 유형별(평지-도심-산악) 변수 차이를 명시적으로 반영해야 하며, 복합 지형 작전에서 MUM-T 운용의 비선형적(Nonlinear) 효과 증대를 고려한 전력 운용 모델이 요구된다.

4.4.2 전차 파괴율

전차 파괴율(Tank Destruction Rate) 지형에 따라 다른 양상이 나타났다(Figure 5). 평지 환경에서 유인기 단독 작전과 유 · 무인 복합 작전 간의 차이가 단 1.13배에 불과하였다. 이는 평지에서는 시야(LOS)가 충분히 확보되어, 유인 헬기가 자체 센서로 적 전차를 탐지하고 장거리 미사일로 타격하는 것이 가능했기 때문이다. 다시 말해, 유인기 단독 운용만으로도 전차를 효과적으로 타격할 수 있어, 무인기가 제공하는 표적정보나 지원의 추가 효과가 제한적으로 나타난 것이다. 이러한 조건에서는 MUM-T(유 · 무인 복합체계)가 갖는 정보 · 정찰 시너지(Information Synergy)보다 이미 확보된 개방된 시야와 장거리 무장 성능이 작전 성과를 좌우했다고 볼 수 있다.



〈Figure 5〉 Comparison of helicopter's tank destruction rates by geomorphic condition

반면, 도심 지역은 전차 파괴율이 무려 5.07배, 산악 지역 3.96배 더 높게 나타나, MUM-T 운용이 탁월한 효과를 발휘함을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 무인기의 선(先)투입 효과와 표적 정보 공유 체계의 작동에 기인한다. 구체적으로, 유 · 무인 복합 편성에서는 무인기가 유인기보다 먼저 고

위험 지역에 진입해 정찰과 표적 탐지를 수행한다. 무인기가 사전에 확보한 영상·좌표 정보를 실시간으로 유인 헬기에 전송하면, 유인기는 적의 대공사거리 밖에서 정밀 타격(Precision Strike)을 수행할 수 있다. 또한 무인기가 적 방공망 일부를 먼저 교란하거나 파괴(SEAD 임무 수행)함으로써 유인 헬기가 더 안전한 고도와 거리에서 임무를 수행할 수 있게 된다.

이러한 임무 분담(Task Sharing)과 정보 연동(Information Linking)이 복합적으로 작용하면서, 도심 및 산악 지역에서 전차 파괴율이 급격히 향상된 것이다. 특히 도심 지역에서 산악 지역보다 더 높은 전차 파괴율이 기록된 이유는 다음과 같이 분석된다. 산악 지형은 굴곡이 심하고 고저 차가 크기 때문에, 무인기와 유인기의 센서가 일정 구역을 관측할 수 있는 범위가 제한된다. 산악의 능선과 계곡은 표적의 탐지·추적을 어렵게 만들어, 일부 표적이 가려지거나 교전 기회가 줄어드는 경향을 보인다. 반면 도심 지역은 건물 밀집도가 높지만, 전차가 도로·교차로 등 제한된 이동로를 따라 움직일 수밖에 없는 구조적 특성을 가진다. 또한 전차의 크기·열신호(Signature)가 건물 배경 속에서도 쉽게 감지되므로, 무인기와 유인기가 협력할 때 표적 탐지와 식별이 상대적으로 용이하다. 즉, 도심은 은폐율은 높지만 은폐 효과가 불완전한 환경이기 때문에, MUM-T 운용 시 감시·표적화 효율이 산악보다 높게 나타난 것이다. 해당 결과는 작전환경에 따라 MUM-T의 효과성(Efficiency of Cooperation)이 크게 달라진다는 점을 보여준다. 평지에서는 전력 간 단순 병렬운용 효과에 그치지만, 가시선이 제한되고 위협이 복잡한 환경일수록 협업효과가 비선형적으로 증가한다. 즉, 유인기와 무인기의 협력이 단순한 전력 합산 이상의 시너지(Synergistic Effect)를 만들어내는 것이다.

따라서 향후 실전 배치나 전술 개발 시에는 작전 지역의 지형적 특성과 위협 밀집도를 고려하여, 도심·산악 지역에서는 무인기 비율을 높여 정보·정찰 중심의 선도 작전 편성, 평지에서는 유인기 중심의 고속 타격 편성과 같이 유·무인 복합 편성 비율(Composition Ratio)을 환경별로 최적화해야 한다. 이런 접근을 통해 전력 교환비(Force Exchange Ratio)를 극대화하고, 최소 손실로 최대 효과를 거둘 수 있는 전력운용 모델을 구현할 수 있을 것이다.

4.5 연구의 한계 및 후속연구 제언

본 연구는 한반도 작전환경을 대상으로 유·무인 복합 운용(MUM-T)과 유인기 단독 운용 간의 효과 차이를 정량적으로 분석함으로써, MUM-T 운용의 전술적 효용성을 실증적으로 제시하였다는 점에서 학술적 의의가 있다. 그러나 연구 과정에서 일부 제한점이 존재하며 향후 연구에서 보완될 필요가 있다.

첫째, 본 연구는 현재 전력화가 추진 중인 LAH(소형무장헬기)를 대상으로 AWAM 모델에 반영이 제한적이라 아파치급 헬기를 대체 적용하였다. 이는 유·무인 복합 운용의 개념적 효과검증에 합리적 가정이지만, 실제 전력 운용의 성능 차이를 반영하지 못한다는 한계가 있다. 향후 연구는 KAI 및 방위사업청이 보유한 LAH 성능 제원(항속거리, 무장탑재량, EO/IR 센서 해상도, 데이터링크 전

송속도 등) 을 기반으로 LAH-MUM-T 모듈을 AWAM에 통합하고, 실비행 시험 및 HILS(Hardware--In-the-Loop Simulation) 자료를 활용하여 모델 검증(validation)을 수행해야 한다. 이를 통해 향후 LAH 기반 유·무인 복합체계의 실질적 전력화 효과를 정밀하게 분석하고, 방위사업 기획단계에서 활용가능한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다.

둘째, 본 연구는 군사보안상의 제약으로 인해 실제 작전계획에 반영된 특정 작전지역에서 실험을 수행할 수 없었으며, 그 결과 후방의 평야·산악·도심 등 유사 지역을 대상으로 모의 시나리오를 구성하여 분석을 수행하였다. 이러한 대체 실험 설계는 재현성 및 실험 통제 측면에서는 장점이 있으나, 실제 작전계획에 따른 작전지역이 지니는 고유한 전술·운용적 특성(예: 작전시간대별 적 배치·기동 경로, 실제 통신·전파 환경, 사전 배치된 고정·이동식 방공자산의 분포 등)이 반영되지 못했다는 한계가 있다. 따라서 후속 연구에서는 군(분석실험부서) 및 한국국방연구원(또는 관련 국방연구기관)과 협업을 통해 실제 작전계획을 기초로 한 작전지역에서의 비교실험(유인헬기 단독 운용 vs. 유·무인 복합 운용)을 수행함으로써, 본 연구에서 도출된 결과의 타당성을 검증하고 정책적·전술적 권고의 적용 가능성을 제고해야 한다. 또한, 본 연구는 평지·도심·산악의 3개 작전환경을 중심으로 분석하였으나, 실제 작전환경은 기상, 통신조건, 위협분포, 병력구성 등 복합적 변수를 포함한다. 따라서 후속 연구에서는 다변수 시나리오 확장(Multi-variable Scenario Expansion) 및 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 수행하여, 각 변수 변화가 전력효과(예: 생존율, 파괴율, 손실교환비)에 미치는 영향을 체계적으로 검증할 필요가 있다. 이를 통해 지형·기상·통신제약 등 환경적 불확실성 하에서 MUM-T 운용의 안정성과 효율성을 평가할 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구에서 사용한 지상무기효과분석모델(AWAM: Army Weapon Effectiveness Analysis Model)은 현 단계에서 유·무인 복합체계의 전 과정을 완전하게 모의하기에는 기술적 한계가 존재한다. 특히 무인기가 탐지한 표적 정보를 실시간으로 유인기에 전송하고, 이를 기반으로 협동 타격(Cooperative Engagement)을 수행하는 절차가 단순화되어 있다. 이를 보완하기 위해서는 향후 AWAM 모델의 구조를 확장하여 전술데이터링크(TDL: Tactical Data Link) 및 센서융합(Sensor Fusion) 모듈을 통합할 필요가 있다. 구체적으로는, 무인기의 탐지정보가 링크 지연(latency)과 신호감쇠를 반영한 확률적 전송모델로 구현되고, 유인기의 센서와 무인기의 센서 데이터가 동적 융합(Dynamic Fusion)될 수 있도록 개선되어야 한다. 또한, 본 연구에서와 같이 유인기의 마스트 길이를 인위적으로 연장하여 탐지 고도를 조정하는 방식은 현실 운용과 괴리가 있으므로, 향후 연구에서는 무인기의 실제 비행고도·센서 각·탐지범위를 독립 변수로 설정하여 현실적인 시나리오를 구성할 필요가 있다.

끝으로 본 연구의 시뮬레이션 결과는 모델 내부의 가정에 기반한 예측치로서, 실제 운용 환경에서의 효과를 보증하기 위해서는 모델 검증(Validation)과 실증 데이터 확보(Empirical Verification)가 필수적이다. 그래서 후속 연구는 전술훈련(TTX: Table Top Exercise) 및 실사격시험(LFX: Live Fire Exercise)을 통해 수집된 실험데이터를 기반으로 AWAM의 모의 결과를 교차검증하고, 인공지능 기반 가상훈련체계(Virtual Training Environment)의 데이터를 병행 활용하여 모델의 신뢰도를 향상해야 한다.

V. 결론 및 논의

본 연구는 평지·도심·산악의 대표적 지형 환경을 대상으로 유인헬기 단독 운용과 유·무인 복합 운용(MUM-T)의 효과를 정량적으로 비교·분석하여 한반도 작전환경에서의 MUM-T 체계 운용 타당성과 전술적 우위를 실증적으로 제시하였다. 이를 위해 지상무기효과분석모델(AWAM)을 보완하여 헬기와 정찰·자폭 겸용 무인기를 통합 모의하고, 작전 환경별 생존율과 전차 파괴율, 전력 교환비를 비교함으로써 MUM-T 운용이 전장 효과성에 미치는 영향을 다각적으로 검증하였다.

분석 결과, 유·무인 복합 운용은 모든 지형에서 유인기 단독 운용 대비 우수한 성과를 나타냈다. 평지에서는 전차 파괴율이 1.13배, 헬기 생존율이 1.04배 향상되었고, 도심에서는 전차 파괴율이 5.07배, 헬기 생존율이 1.91배, 산악에서는 각각 3.96배와 1.62배 증가하였다. 이러한 차이는 무인기의 선제적 투입이 적의 대공화기를 사전에 제압하고, 실시간 표적 정보를 제공하여 유인헬기의 정밀 타격을 지원한 결과로 해석된다. 특히 도심·산악과 같이 가시선(LOS)이 제한되고 은폐·엄폐 지형이 많은 환경에서 MUM-T는 유인헬기 단독 운용의 한계를 보완하고 생존성을 극대화할 수 있는 전술적 시너지 체계이다. 반면 평지는 개활지 특성상 가시선 확보가 용이하여 유인헬기 자체의 표적획득장비(TADS)와 장거리 공대지 미사일만으로도 충분히 표적을 탐지·타격할 수 있었다. 그래서 무인기의 정보지원 효과는 제한적이었으며, 유·무인 복합 운용의 전력 증대효과가 상대적으로 작게 나타났다. 이는 작전 환경의 지형적 특성이 MUM-T 운용효과의 핵심 변수임을 보여주며, 지형·위협·통신 조건에 따른 다변수 시나리오 분석의 중요성을 시사한다.

향후 국방 전력화 단계에서 MUM-T가 적용될 경우, 유·무인 복합 편성의 최적 비율 산정, 작전 환경별 운용전략 수립, LAH 및 신형 무인체계의 임무분담 모델 설계 등 실질적 정책적 활용 가능성이 커질 것이다. 그래서 LAH 기반 MUM-T 모델링을 새롭게 구축하고, 실제 비행시험 및 하드웨어 연동 시뮬레이션(HILS)을 통해 결과를 검증할 필요가 있다. 또한, 향후 우리 군은 지형 맞춤형 MUM-T 운용교리와 전력운용개념 개발을 추진함으로써 정보우위·작전지속성·인명보호를 동시에 달성하는 차세대 항공 전력의 토대를 마련할 수 있을 것이다.

Acknowledgements

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Author contributions

Conceptualization: LB, Literature review: LB, Resources and Data curation: LB and JS, Investigation and Methodology: LB and JS, Writing (Original Draft): LB, Project administration and Supervision: JS.

Reference

- Driessen, T., & Schulte, A. (2025, May). *Conceptual Approach to Single Seat Tactical Helicopters in MUM-T Operations: An Operational Pilot's Perspective*. In 2025 IEEE 5th International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS) (pp. 447-452). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHMS65439.2025.11154325>
- Hwang, S., Lee, S., Kim, J., Shim, S., & Kim, K. (2024). A study on the application of mission engineering for creating a ground combat MUM-T operational concept. *Journal of the Korea Defense Industry Association*, 31(1), 67–79. <https://doi.org/10.52798/KADIS.2024.31.1.6>
- Jang, S. G. (2025). Development Direction of AI-based Manned-Unmanned Complex System(MUM-T) from the Perspective of Robot Ecosystem. *Military Research and Development*, 19(2), 225-251. <https://doi.org/10.70857/MRD.2025.19.2.225>
- Jeong, B., Lee, K. S., & Koo, B. J. (2024). Development Direction of Manned and Unmanned Complex Combat System to Respond to the Future Battlefield: Focusing on ICT. *Journal of Information Technology Applications & Management*, 31(4), 47-61. <https://doi.org/10.21219/jitam.2024.31.4.047>
- Jo, S., Choi, Y., Oh, J., Myung, H., & Lim, H. (2023). Simulation for SEAD mission with MUM-T. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 26(5), 409–421. <https://doi.org/10.9766/KIMST.2023.26.5.409>
- Jo, S., Kim, J., Park, J., Kim, S., Kim, M., & Moon, H. (2017). *Defense Modeling & Simulation*. Seoul: Kyomunsa. pp. 124.
- Kang, B., Park, M., & Choi, E. (2019). Development of a simulation environment for validating manned–unmanned aerial vehicle teaming operations. *Journal of Aerospace System Engineering*, 13(6), 36–42. <https://doi.org/10.20910/JASE.2019.13.6.36>
- Kim, B. W., & Choi, G. E. (2024). Level and program analytics of MUM-T system. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 25(2), 593-604. <https://doi.org/10.1007/s42405-023-00675-4>
- Kim, S., & Kim, Y. (2023). Development of an MUM-T integrated simulation platform. *IEEE Access*, 11, 21519-21533. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3248096>
- Lee, C., Ryu, H., & Kim, D. (2024). Operational effectiveness of small armed helicopter MUM-T using simulation. *Journal of Korea Defense Management Analysis Society*, 50(1), 83–92. Retrieved from <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART003078021>
- Rossetti, L. (2020). *Manned–Unmanned Teaming: A great opportunity or mission overload?* JAPCC

- Journal, 29. <https://www.japcc.org/articles/manned-unmanned-teaming/>
- Roth, G., & Schulte, A. (2021). A Prototype to Support Mission-Planning with Shared Unmanned Systems in Multi-User Manned-Unmanned Teaming Applications. In AIAA SCITECH 2022 Forum (p. 2526). <https://doi.org/10.2514/6.2022-2526>
- Shin, I. T., Kim, D. W., Kim, M. G., & Yoo, I. J. (2023). A Study on Development Plan of Defense Aerial MUM-T System based on Technology Level Assessment. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 24(4), 560-566. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.4.560>
- Szári, N. (2024). Combat Helicopters and Drones in the Russian-Ukrainian Conflict:—Challenges and Transformations. *Hadtudományi Szemle*, 17(2), 33-44. <https://doi.org/10.32563/hsz.2024.2.3>

원 고 접 수 일 2025년 09월 18일

원 고 수 정 일 2025년 10월 31일

게 재 확 정 일 2025년 11월 03일

평지, 도심, 산악 지역환경에서 AWAM 모델을 활용한 공격헬기 유·무인 복합(MUM-T) 체계 운용효과의 시뮬레이션 분석

이보형* · 정석재**

국문초록

본 연구는 평지·도심·산악 지역을 대상으로 헬기 유·무인 복합체계(MUM-T: Manned-Unmanned Teaming)의 운용 효과를 정량적으로 분석하였다. 이를 위해 지상무기효과분석모델(AWAM)을 보완하여 공격헬기와 정찰·자폭 겸용 무인기를 통합 모의하고, 유인기 단독 운용과 유·무인 복합 운용 시 헬기 생존율과 전차 파괴율을 비교·평가하였다. 분석 결과, 유·무인 복합 운용은 모든 지형에서 단독 운용 대비 우수한 성과를 보였다. 평지에서는 전차 파괴율 1.13배, 헬기 생존율 1.04배가 상승하였으며, 도심에서는 전차 파괴율이 5.07배, 헬기 생존율이 1.91배, 산악에서는 각각 3.96배와 1.62배 증가하였다. 이는 무인기의 선투입이 적 대공화기를 사전 제압하고 실시간 표적 정보를 제공하여 정밀 타격을 지원한 결과로 해석된다. 한반도 지형의 90% 이상이 산악·도심으로 구성된 점을 고려할 때, 향후 신규 공격헬기 전력의 유·무인 복합체계 구축은 필수적이다. 특히 향후 헬기와 UAS간 유·무인 복합체계 구축 방안으로 헬기-수직이착륙드론 연동, 헬기-ALE 연동, 헬기-수직이착륙드론-ALE 혼합형 편성 등 다양한 운용 모델을 체계적으로 비교·검증하고, 실시간 센서-투-슈터 체계, AI 기반 상황인식·의사결정 지원, 고신뢰 데이터 링크 등 핵심 기술 인프라를 병행 확보할 필요가 있다. 본 연구는 평지·도심·산악 등 지형 변수를 반영한 시뮬레이션을 통해 MUM-T 운용 효과를 실증적으로 제시함으로써, 우리 군의 유·무인 복합체계 전력화와 교리 발전을 위한 기초 자료를 제공한다.

주제어 : 헬기 유·무인 복합체계, 헬기 생존율, 전차 파괴율, 시뮬레이션, MUM-T 구축방안

* (제1저자) 광운대학교 방위사업학과 박사과정(항공우주연구원 전문위원), lbh25505@gmail.com

** (교신저자) 광운대학교 경영학부, 교수, sjeong@kw.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0001-8094-4674>.