

Hierarchical Task Analysis(HTA) 기법을 이용한 군집드론 운용자-AI 시스템 설계방향 도출

성호용*, 김상수***, 김현준**, 백승원**, 조성식**

*육군사관학교 국방운동과학과

**육군사관학교 무기시스템공학과

***육군사관학교 국어·철학과

e-mail:hys@kma.ac.kr

Deriving Design Directions for a Swarm Drone Operator-AI System Using Hierarchical Task Analysis(HTA)

Hoyong Sung*, Sangsu Kim***, Hyeonjun Kim**, Seungwon Baik**, Sungsik Jo**

*Dept. of Military Kinesiology, Korea Military Academy

**Dept. of Weapon System Engineering, Korea Military Academy

***Dept. of Philosophy, Korea Military Academy

요약

본 연구는 산악지역에서 운용되는 군집드론 작전 시나리오를 대상으로, Hierarchical Task Analysis(HTA)를 적용하여 운용자 인터페이스(UI) 설계 방향, AI 보조시스템 기능 요구, 그리고 군집드론의 전술행위(swarm tactics)를 도출하는 것을 목적으로 한다. 분석 대상 시나리오는 4km×4km 산악지역에서 드론 144대(정찰 36, 자폭형 72, 투하형 36)와 UGV 36대를 통합 운용하여 적 은거지를 탐지·제압하고 지상부대 진입을 지원하는 5단계 작전 구조로 구성된다. 본 연구에서는 전체 임무를 출격 준비, 목표지역 기동, 감시 및 정찰, 타격, 점령(확보)의 단계로 분해하고, 다시 이를 운용자, AI 보조시스템, 드론 군집의 관점에서 재구성하였다. 그 결과, 운용자는 고수준의 승인·전환 판단과 우선순위 결정에 집중해야 하며, AI 보조시스템은 실시간 데이터 융합, 전술 대안 생성, 예외 상황 탐지, 정보 요약 기능을 담당해야 함을 확인하였다. 또한 드론 군집은 정찰, 포위, 추적, 차단, 타격, 확보 지원으로 이어지는 전술 행위 체계로 구조화될 수 있음을 보였다. 본 연구는 군집드론 운용체계를 인간-기계 협업 관점에서 설계할 때, HTA가 역할분담과 기능 배치의 체계적 도구가 될 수 있음을 제시한다.

1. 서론

미래 지상군 작전은 다수의 이기종 무인체계를 통합적으로 운용하는 방향으로 발전하고 있으며, 그중에서도 군집드론은 정찰, 타격, 차단, 점령지원 등 다양한 임무를 수행할 수 있는 핵심 전력으로 주목받고 있다. 그러나 이러한 군집체계를 단일 운용자가 통제하는 경우, 실시간 상황인식, 전술적 판단, 돌발상황에 대한 예외 대응, 명령 하달이 동시에 요구되므로 상당한 수준의 인지부하가 발생할 가능성이 크다 [1]. 이러한 문제를 분석하기 위한 방법론으로서 Hierarchical Task Analysis(HTA)는 복잡한 과업을 목표, 하위 과업, 계획의 계층적 구조로 분해하여 인간의 역할과 체계의 요구기능을 체계적으로 도출하는 대표적인 기법으로 알려져 있으며, 인간-시스템 통합설계 측면에서 높은 활용 가치를 지닌다 [2-4]. 따라서 군집드론 작전 시나리오를 HTA 기반으로 분해할 경우, 운용자에게 유지되어야 할 핵심 판단 기능과 인공지능이 대행할 수 있는 기능, 그리고 군집체계가 실제 수행해야 할

전술적 행위를 체계적으로 구분·정리할 수 있다.

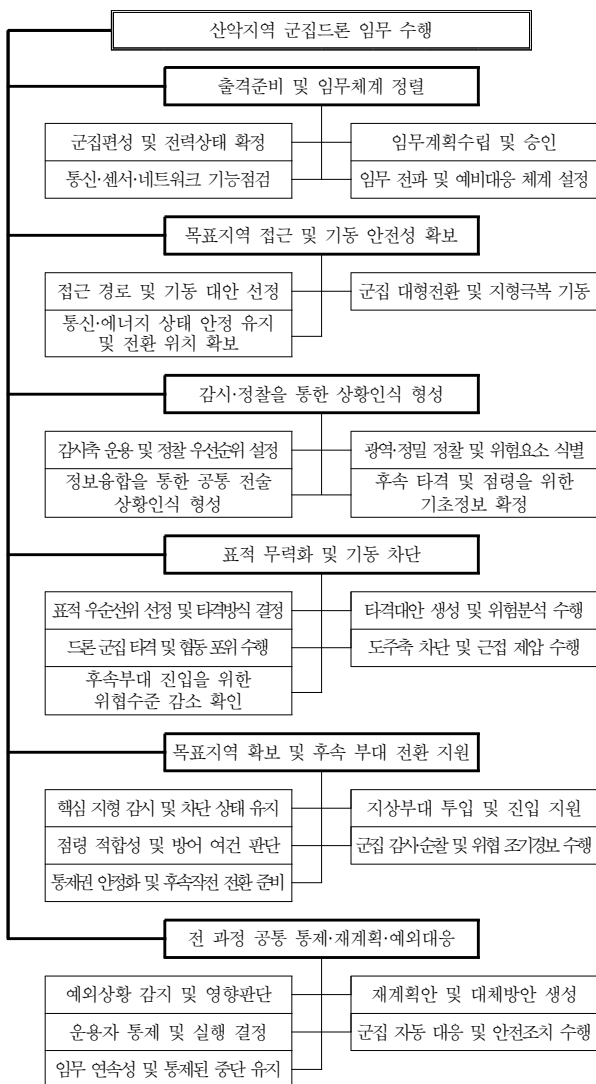
2. 연구 방법

분석 대상의 시나리오는 산악지역작전이며, 평균 해발고도 600~900m의 산악지형에서 목표지역을 확보하기 위하여 드론 144대와 무인지상차량(UGV) 36대를 운용하는 상황을 가정하였다. 본 시나리오는 ① 출격준비, ② 목표지역 기동, ③ 감시 및 정찰, ④ 타격, ⑤ 점령(확보)의 5단계로 구성되며, 전 단계에 걸쳐 인간 운용자, AI 전술참모, 군집드론 및 UGV 간 협업 구조가 일관되게 유지되는 것을 전제로 한다. 본 연구에서는 우선 전체 임무를 상위 수준의 HTA로 구조화한 후, 이를 다시 운용자 중심 HTA, AI 보조시스템 중심 HTA, 드론 군집 중심 HTA로 세분화하였다. 이러한 연구결과를 통해 각 주체가 수행하여야 할 과업을 체계적으로 식별하고, 그 결과를 운용자 인터페이스(UI) 설계, AI 기능 정의, 그리고 군집의 전술행위 목록 도출로 연계할 수 있을 것이다.

3. 연구 결과

3.1 최상위 수준 HTA

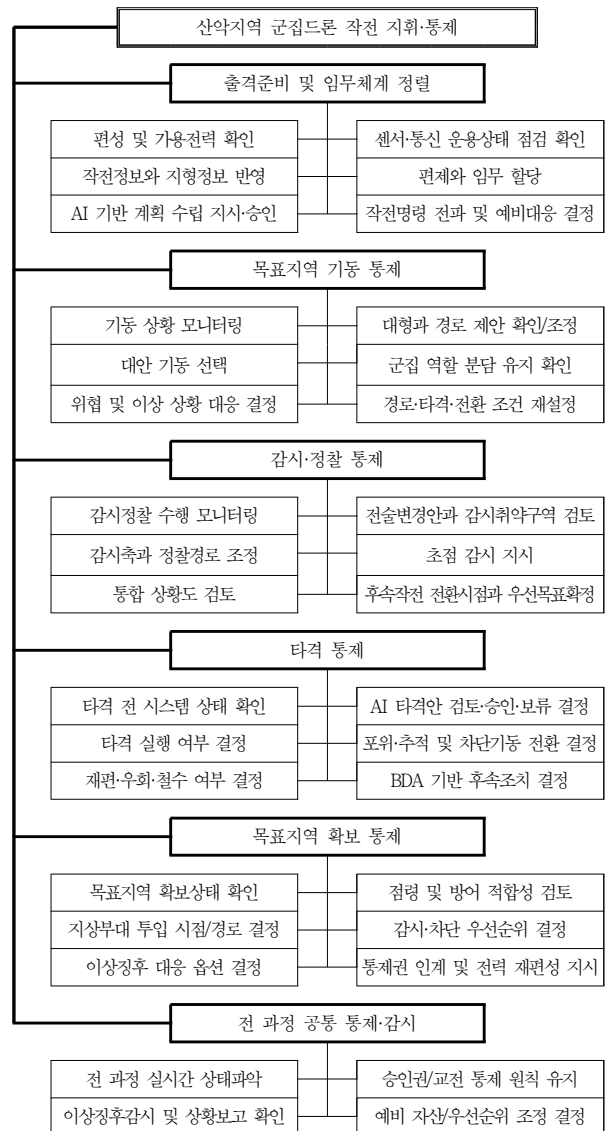
최상위 과업인 산악지역 군집드론 임무수행은 출격준비, 목표지역 접근, 감시·정찰, 표적 무력화, 목표지역 확보 및 후속부대 지원의 5개 핵심 과업과, 전 단계에 공통적으로 적용되는 통제·재계획·예외대응의 하위 과업으로 구성된다. 이는 인간 운용자, AI 보조체계, 드론 군집, UGV가 상호 협업하는 최상위 수준의 HTA 구조이다. 출격준비 단계에서는 작전태세를 갖추고, 접근 단계에서는 은밀성과 생존성을 유지한 가운데 목표지역으로 기동한다. 이어 감시·정찰 단계에서는 상황인식을 형성하고, 표적 무력화 단계에서는 위협 제거를 통해 후속부대의 진입 여건을 조성한다. 확보 단계에서는 지상부대의 점령과 통제 전환을 지원한다. 또한 전 과정에서는 다양한 예외상황에 대비한 재계획과 통제가 지속적으로 병행된다. 이를 도식화한 최상위 수준 HTA는 <그림 1>과 같다.



[그림 1] 최상위 수준 HTA

3.2 운용자 중심 HTA

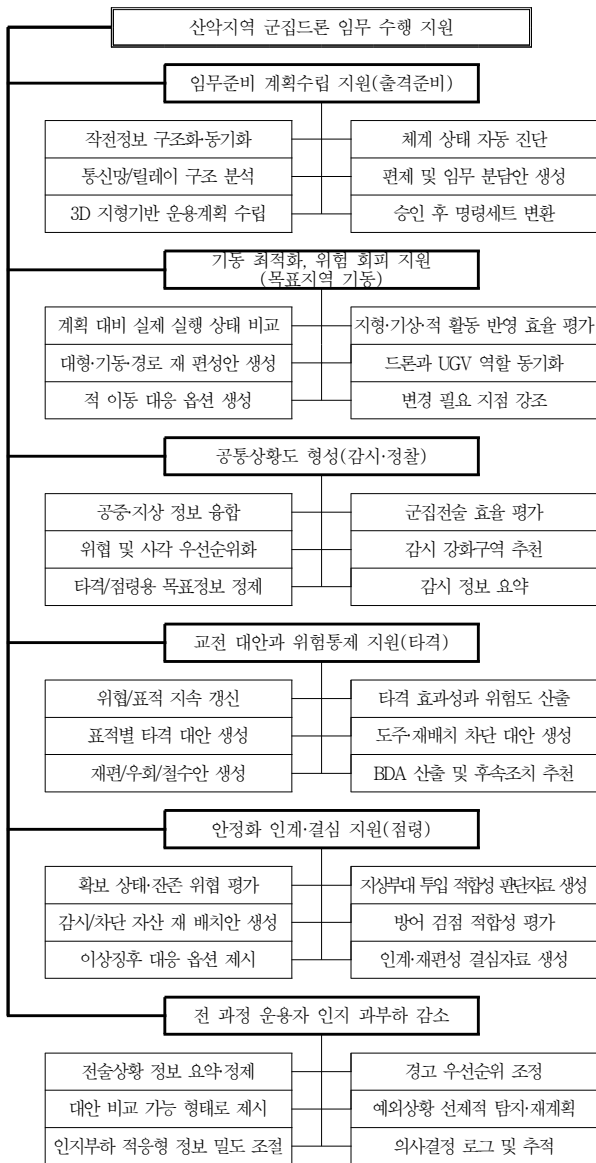
산악지역 군집드론 작전 지휘·통제는 출격준비, 목표지역 기동, 감시·정찰, 타격, 목표지역 확보의 5개 핵심 통제 과업과, 전 단계에 공통적으로 적용되는 통제·감시 과업으로 구성된다. 이는 인간 운용자가 개별 드론과 UGV를 직접 조종하는 것이 아니라, 군집의 상태를 감독하고 AI가 제시한 대안을 검토·승인하며 단계 전환과 교전 통제를 수행하는 고수준 지휘·통제 구조임을 보여준다. 출격준비 단계에서는 편성, 전력, 센서·통신 상태를 확인하고 계획을 승인하며, 기동 단계에서는 경로·대형·전환조건을 조정한다. 감시·정찰 단계에서는 상황정보를 종합하여 후속작전 여부를 판단하고, 타격 단계에서는 타격안 승인과 후속조치를 결정한다. 확보 단계에서는 지상부대 투입과 통제권 인계, 전력 재편성을 통제한다. 이를 도식화한 운용자 중심 HTA는 <그림 2>와 같다.



[그림 2] 운용자 중심 HTA

3.3 AI 보조시스템 중심 HTA

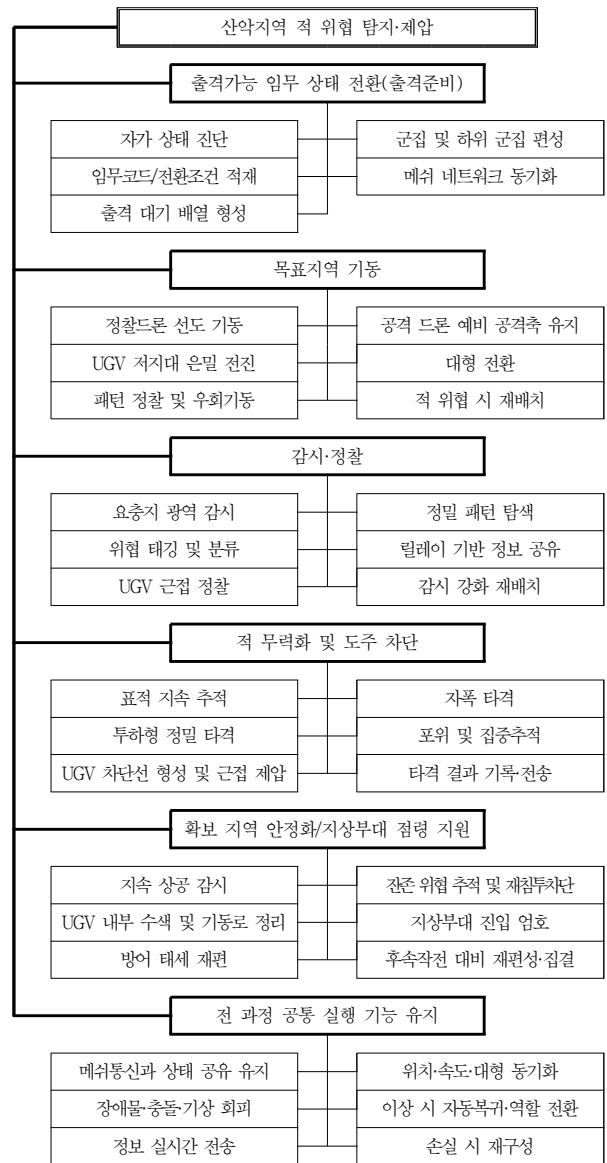
산악지역 군집드론 임무수행 지원은 임무준비·계획수립, 목표지역 기동, 감시·정찰, 타격, 점령 지원의 5개 핵심 지원 과업과, 전 단계에 공통 적용되는 운용자 인지과부하 감소 기능으로 구성된다. 이는 AI 보조시스템이 개별 플랫폼을 직접 통제하는 주체가 아니라, 상황정보를 통합·분석하고 실행 가능한 대안과 권고를 생성하여 인간 운용자의 결심을 지원하는 기술보조체계임을 보여준다. 출격준비 단계에서는 작전정보 등을 반영해 계획안을 수립하고 명령으로 변환한다. 기동 단계에서는 계획 대비 실제 상태를 비교하고 재편성안을 제시한다. 감시·정찰 단계에서는 위협 및 사각지역을 식별하며, 타격 단계에서는 평가 및 후속조치를 추천한다. 점령 단계에서는 확보 상태와 잔존 위협을 분석해 인계·재편 결심을 지원한다. 이를 도식화한 AI 보조시스템 중심 HTA는 <그림 3>과 같다.



[그림 3] AI 보조시스템 중심 HTA

3.4 드론 군집 중심 HTA

산악지역 적 위협 탐지·제압을 위한 드론 군집 중심 HTA는 출격준비, 목표지역 기동, 감시·정찰, 적 무력화 및 도주 차단, 확보지역 안정화의 5개 핵심 수행 과업과, 전 단계에 공통 적용되는 실행 기능 유지 과업으로 구성된다. 이는 군집드론과 UGV가 단순 보조수단이 아니라 정찰, 추적, 포위, 타격, 차단, 확보 지원을 직접 수행하는 통합 전술행위 주체임을 보여준다. 출격준비 단계에서는 임무 상태로 전환한다. 기동 단계에서는 정찰드론 선도, 공격축 유지, UGV 저지대 접근을 통해 대형과 경로를 조정한다. 감시·정찰 단계에서는 광역감시와 근접정찰로 위협과 은폐지역을 탐지하고, 타격 단계에서는 직접 타격과 도주 차단을 수행한다. 확보 단계에서는 지속 감시, 지상부대 엄호와 방어 재편을 수행한다. 이를 도식화한 드론 군집 중심 HTA는 <그림 4>와 같다.



[그림 4] 드론 군집 중심 HTA

4. 군집드론 운용 시스템 설계방향

후 기

HTA 분석 결과는 크게 세 가지 설계 방향으로 연결된다. 첫째, 운용자 UI 설계 측면에서는 전체 군집의 상태를 직관적으로 파악할 수 있는 요약 대시보드, AI가 제시한 전술대안을 비교·검토할 수 있는 패널, 단계 전환에 대한 승인창, 그리고 예외상황의 우선순위를 제시하는 경보창이 요구된다. 즉, 운용자 인터페이스는 모든 세부 정보를 나열하는 방식이 아니라, 운용자가 즉시 판단하고 결심해야 할 핵심 항목을 중심으로 강조하여 설계될 필요가 있다.

둘째, AI 보조시스템 기능 설계 측면에서는 전술대안 생성, 위험도·탐지확률·성공가능성에 대한 비교·평가, 통신 및 기상 변화에 따른 군집 재구성 권고, 전투피해평가(BDA) 및 후속 조치 추천 기능이 핵심 요소로 식별되었다. 이는 AI가 단순 정보처리 도구를 넘어, 운용자의 전술적 의사결정을 실질적으로 지원하는 보조참모 기능을 수행해야 함을 의미한다.

셋째, 군집드론의 swarm tactics 도출 측면에서는 산악지형의 특성에 적합한 대형, 기동, 정찰, 타격 패튼을 계층적으로 정리할 수 있는 기반이 마련되었다. 이는 향후 자율제어 알고리즘 설계 시 임무-행동-개별 기체 작동으로 이어지는 계층 구조와 직접적으로 연계될 수 있다는 점에서 의의가 있다. 다시 말해, HTA는 단순한 과업분석 기법을 넘어 인간과 기계의 역할분담을 구조화하고, 동시에 군집체계의 전술행위를 체계적으로 도출할 수 있는 설계 프레임워크로 기능한다.

5. 결론

본 연구는 산악작전 군집드론 운용 시나리오를 기반으로 HTA를 수행함으로써, 군집드론 체계 설계를 위한 세 가지 실질적 산출물, 즉 운용자 UI 설계 방향, AI 보조시스템 기능 목록, 군집드론 전술행위 구조를 도출하였다. 특히 인간 운용관의 고수준 판단, AI의 인지부하 흡수 및 전술지원, 그리고 드론 군집의 실제 전투행위가 상호 구분되면서도 유기적으로 연계된다는 점을 확인하였다. 이는 군집드론 운용체계 설계에서 인간, AI, 무인체계 간 역할분담을 보다 명확하게 구조화할 수 있음을 시사한다.

향후에는 본 HTA 결과를 바탕으로 운용자 인터페이스 프로토타입 설계, AI 지원 기능에 대한 실험적 검증, 그리고 군집전술 자동화 수준에 따른 운용자 작업부하 평가로 연구를 확장할 필요가 있다. 아울러 NASA-TLX와 같은 작업부하 측정 기법을 연계할 경우, 인간-AI 협업 기반 군집드론 운용에서 적정 자동화 수준을 정량적으로 검증할 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문은 2023년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-23-020).

참고문헌

- [1] Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139-183). North-holland.
- [2] Annett, J. (2003). Hierarchical task analysis. In *Handbook of cognitive task design* (pp. 17-36). CRC Press.
- [3] Stanton, N. A., & Young, M. S. (2000). Hierarchical task analysis (HTA). In N. A. Stanton & M. S. Young (Eds.), *Guide to methodology in ergonomics* (pp. 51-67). CRC Press.
- [4] Stanton, N. A. (2006). Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. *Applied ergonomics*, 37(1), 55-79.