

# 군집드론 운용을 위한 공통 및 특화 군집전술 프레임워크 연구

## - 도시·산악·도하·후방 군수시설 방호작전을 중심으로 -

김상수\*, 백승원\*\*, 김현준\*\*, 성호용\*\*\*, 조성식(교신저자)\*\*

\*육군사관학교 국어·철학과

\*\*육군사관학교 기계·시스템공학

\*\*\*육군사관학교 국방운동과학과

e-mail:sangsukim1985@kma.ac.kr

A Study on a Common and Specialized Swarm Tactics Framework  
for the Operation of Drone Swarms

- Focusing on Urban, Mountain, River-Crossing, and  
Rear-Area Logistics Facility Protection Operations -

Sangsu Kim\*, Seungwon Baik\*\*, Hyeonjun Kim\*\*, Hoyong Sung\*\*\*, Seongsik Jo\*\*

\*Dept. of Korean & Philosophy, Korea Military Academy

\*\*Dept. of Mechanical System Engineering, Korea Military Academy

\*\*\*Dept. of Military Kinesiology, Korea Military Academy

### 요 약

본 연구는 현대 전장에서 무인항공기(UAV) 군집의 실전적 활용성을 극대화하기 위해 기술적 알고리즘과 군사 교리를 결합한 '2계층 군집전술(Swarm Tactics) 프레임워크'를 제안한다. 최근 드론 기술의 급격한 발전에도 불구하고 개별 기체 운용의 한계와 체계적인 전술 프레임워크의 부재로 인해 대규모 군집을 유기적인 전술 단위로 지휘하는 데 어려움이 있었다. 본 연구는 이러한 간극을 해소하고자 미 육군 교리를 분석하여 공통 군집전술(CST)과 작전 특화 군집전술(SST)로 구분된 계층적 구조를 도출하였다. 첫 번째 계층인 공통 군집전술은 전장 환경에 관계없이 군집이 단일 유기체로서 기능하기 위한 보편적 운용 메커니즘이다. 여기에는 지속 감시, 분산 커버리지, 협조적 추적 및 정보 공유, 동적 임무 할당, 적응 행동 등 5가지 핵심 요소가 포함되며, 이는 시스템의 안정성과 복원력을 보장하는 기술적 토대가 된다. 두 번째 계층인 특화 군집전술은 지형 제약과 임무 목표에 최적화된 가변적 전술을 의미한다. 도시지역의 구조물 인지 기동 및 클러스터 운용, 산악지역의 고도 기반 릴레이와 지형 적응형 배치, 도하작전의 축선 집중과 시간 동기화, 후방 시설 방호를 위한 다층 방어 체계 등 4대 주요 작전 환경별 특화 전술을 구체화하였다. 결론적으로 본 연구의 2계층 프레임워크는 저수준의 제어 기술과 고수준의 작전 개념을 유기적으로 통합하여 군집 드론의 전술적 유연성을 확보하였다.

## 1. 서론

무인항공기(UAV)와 군집지능 기술의 급속한 발전은 현대 군사 환경에서 UAV 군집의 작전적 활용 가능성을 크게 확장시켰다.[1] 특히 저비용, 분산형, 협업형 드론 시스템이 정찰, 타격, 지역 거부 등 다양한 임무를 효과적으로 수행할 수 있음이 최근 분쟁 사례에서 증명되고 있다. 그러나 이러한 관심의 증가에도 불구하고, 임무 요구사항과 군집 행동을 체계적으로 연결하는 군집전술이 명확히 정의되어 있지 않다는 점이 핵심적인 문제로 남아 있다.[1] 더욱이 현재의 드론 운용은 주로 운영자 한 명이 기체 한 대를 조종하는 1:1 방식에 머물러 있으며, 이는 대규모 군집을 전술적으로 활용하는 데 인지적·기술적 한계를 초래한다. 따라서 운영자가 수백 대의 드론을 유기적인 전술 단위로 지휘할 수 있는 체계적인 프레임워크의 도출이 시급하다. DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)의 OFFSET(OFFensive Swarm-Enabled Tactics) 프로그램은 이러한 배경에서 대규모 이기종 무인체 군집을 활용하여 복잡한 도

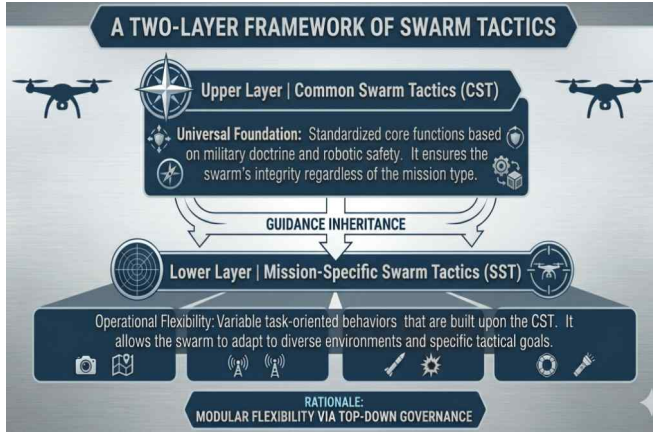
시 환경에서 소부대 작전을 지원하는 전술을 개발해 왔으나[2,3], 이는 특정 시나리오에 편중되어 있어 산악이나 도하작전과 같은 다양한 전술적 상황을 포괄하지 못한다는 한계가 있다. 본 연구는 이러한 기존 연구의 한계를 극복하고, 작전별 미군 교리를 융합하여 '2계층 군집전술(Swarm Tactics) 프레임워크'를 제안함으로써 군집 시스템의 안정성과 유연성을 동시에 보장하고자 한다.

## 2. 군집전술의 2계층 프레임워크

### 2.1 계층적 구조의 이론적 배경 및 필요성

기존 군집 드론 연구의 근본적인 한계 중 하나는 임무 특성과 군집 행동을 체계적으로 연계하는 구조화된 프레임워크가 부재하다는 점에 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 공통 군집전술(Common Swarm Tactics, CST)과 작전 특화 군집전술(Mission-Specific Swarm Tactics,

SST)을 구분하는 2계층 프레임워크를 제안하고자 한다. 이와 같은 계층적 접근은 군사 교리와 로봇 시스템 설계 분야의 선행연구와 개념적으로 맥을 같이 한다. 즉 군사 교리에서는 작전의 표준화와 유연성을 동시에 보장하기 위해 핵심 전투기능과 임무 특화 과업의 구분을 널리 사용하며, 로봇공학 분야에서도 범용 능력과 환경 특화 행동을 분리하여 설계하고 있다.[4]



[그림 1] 군집전술의 2계층 프레임워크 [11]

## 2.2 공통 군집전술 계층

공통 군집전술(CST) 계층은 전장 환경의 특수성이나 임무의 개별적 목적에 관계없이 군집 시스템이 단일 유기체로서 기능하기 위해 필수적으로 갖추어야 하는 최상위 운용 메커니즘을 의미한다. 이는 군집 드론의 기술적 토대이자 핵심 작전 역량으로서, 특정 작전 맥락에 종속되지 않는 보편적이고 추상화된 행동 양식으로 정의된다.[5] CST 계층은 군집 내 개체 간의 상호작용과 자율적 의사결정을 통해 복잡한 전장 상황에서 시스템의 유연성과 복원력을 보장하는 역할을 수행한다.

## 2.3 특화 군집전술 계층(작전유형별)

작전 유형별 특화 군집전술(SST) 계층은 지형 제약, 위협 유형, 임무 목표와 같이 특정 작전의 고유한 특성에 맞추어 조정된 전술을 포함한다. 이 계층의 핵심 전제는 어느 한 계층에만 의존해서는 효과적인 군집 운용이 달성될 수 없다는 점이며, 작전 효과성은 견고성을 보장하는 공통 전술과 상황 인식 능력을 제공하는 작전 특화 전술의 통합으로부터 나타난다. SST는 도시 환경의 구조물 인지 기동, 산악 지역의 고도 기반 릴레이, 도하작전의 축선 집중, 후방 시설 방호의 다층 방어와 같이 각 작전의 물리적·전술적 장애물을 극복하는 데 최적화되어 있다. 이는 CST라는 공통 토대 위에서 각 작전의 '전술적 마찰' 요인을 최소화하고 임무 성공 확률을 극대화하는 가변적 계층의 역할을 수행한다.

# 3. 군집드론 운용을 위한 작전환경별 특징

## 3.1 도시지역작전(Urban Operations)

도시 환경은 고밀도 구조물로 인한 가시선(Line-of-Sight) 및 통신 제한이 핵심이다. 미 육군 도시작전 교리에 따르면 이러한 복잡성은 정보 수집을 극도로 저해한다.[6] 본 프레임워크는 단거리·다각도 감시 패턴을 적용하고, 구조물 중심의 구획화된 커버리지 전략을 수립한다. 이후 소규모 클러스터 중심의 분산형 협조 메커니즘을 통해 건물 내부를 수색하며, 민간인 혼재 상황을 고려하여 고신뢰도 식별 기반의 지연 교전 논리를 적용한다. 최종적으로 건물 배치와 차폐 패턴에 따라 동적으로 재구성되는 적응 행동을 통해 구조물 인지 기동과 클러스터 기반 운용을 완수한다.

## 3.2 산악지역작전(Mountain Operations)

산악 지형은 고도 변화와 지형 차폐(Terrain Masking)로 인한 통신단절이 특징이다. 미 육군 산악지역 작전 교리에서는 관측 및 중계망 확보의 중요성을 강조한다.[7] 따라서 작전간 고도 기반 센싱 노드를 활용한 장거리 감시 패턴을 구축하고, 능선과 계곡을 따라 지형 제약형 커버리지 전략을 전개한다. 고고도 드론을 활용한 다중 홉 릴레이 네트워크를 통해 협조 메커니즘을 가동하며, 지형 차폐에 따른 짧은 기회를 포착하는 기회 포착형 교전 논리를 구사한다. 연결성 유지를 위해 위치와 고도를 동적으로 조정하는 적응 행동을 통해 고도 기반 릴레이와 지형 적응형 위치 배치 전술을 구현한다.

## 3.3 도하작전(River Crossing Operations)

도하는 부대 기동력이 수로에 갇혀 일시 상실되는 '수로 횡단 강습' 단계에서 최고의 취약성을 노출한다. 미 도하작전 교리에 따르면, 이 단계에서의 신속성과 기습을 강조한다.[8] 도하 축선을 따른 전방 집중형 감시 패턴을 적용하고, 특정 도하지점(Crossing Site)에 전력을 집중하는 축선 중심 커버리지 전략을 수립한다. 기동부대와 동기화된 시간 민감적 협조 메커니즘을 가동하며, 도하 방해 위협을 최우선 제거하는 위협 우선순위 교전 논리를 적용한다. 부대 이동에 따라 자원을 신속히 재할당하는 적응 행동을 통해 축선 집중과 시간 동기화 협조를 완수한다.

## 3.4 후방 군수시설 방호작전(Rear Area Security)

후방 시설은 고정된 표적으로 적 자폭 드론(FPV) 침투에 취약하다. 이를 방어하기 위해 미 육군에서는 다층적 방어 체계 구축을 권고한다.[8, 9] 침투 시도 탐지를 위해 광역적이고 지속적인 감시 패턴을 유지하고, 외곽과 내부 보호 구역을 구분하는 다층 방어 구조의 커버리지 전략을 구축한다. 구역 간 계층적 협조 메커니즘을 통해 위협을 추적하며, 식별 및 검증 후 대응하는 확인 후 교전 논리를 적용한다. 위협 수준에 따라 커버리지 밀도를 조정하는 적응 행동을 통해 다층 방어와 지속 기반 모니터링 전술을 구현한다.

## 4. 공통 및 특화 군집전술 도출 결과

### 4.1 공통 군집전술

공통 군집전술은 모든 작전의 근간이 되는 핵심적이며 추상화된 보편적 군집전술이며, 이는 아래와 같이 5가지로 제시할 수 있다

- ① 지속 감시(Persistent Surveillance): 드론 간의 유기적인 교대 운용과 에너지 관리를 통해 작전 지역에 대한 중단없는 상황 인식을 유지하는 능력
- ② 분산 커버리지(Distributed Coverage): 다수의 개체를공간적으로 최적 배치하여 단일 플랫폼의 탐지 한계를 극복하고 정보 공백을 최소화하는 원리
- ③ 협조적 추적 및 정보 공유(Collaborative Tracking and Information Sharing): 복수의 드론이 획득한 데이터를 실시간으로 융합함으로써 표적 상실을 방지하고 식별 정밀도를제고
- ④ 동적 임무 할당(Dynamic Task Allocation): 실시간 진화변화에 따라 각 개체의 역할을 정찰, 타격, 통신 중계 등으로적극적 재배분하여 전체 작전 효율을 극대화하는 지능적 기제
- ⑤ 적응 행동(Adaptive Behavior): 적의 공격이나 통신 장애등 외부 간섭에 대해 실시간 피드백을 바탕으로 대응하고 대열을 재정비함으로써 작전 지속성을 보장

요컨대 이러한 5가지 공통 군집전술은 다양한 작전 환경에서 특화 전술이 발현될 수 있도록 지원하는 기능적 토대이며, UAV 군집이 개별 기체의 집합을 넘어 고도의 자율성과 유기적 결합을 갖춘 단일 체계로 기능하게 하는 결정적 기제이다.

## 4.2 작전형태별 특화 군집전술

### 4.2.1 도시지역작전

도시작전에서는 차폐 극복을 위한 구조물 인지 기동과 소규모 분산 운용인 클러스터 기반 운용이 결정적이다. 이를 고려한 특화 군집전술은 다음과 같이 제시할 수 있다.

- ① 구조물 인지 기동: 건물과 골목 등 지형지물을 기준으로경로를 설정해 구조물 형상을 따라 기동
- ② 클러스터 기반 운용: 대규모 군집을 소규모로 분할해 블록과 임무별로 분산 배치
- ③ 수직 계층화 및 층별 감시: 옥상부터 지상까지 감시 레이어를 나누어 층별 위협을 관리
- ④ 진입점 고립 및 차단: 주요 진출입로를 동시에 입체적으로 봉쇄
- ⑤ 민간인 인지 정밀 교전: 민간인 식별과 교전 보류를 통해표적을 선별

### 4.2.2 산악지역작전

산악작전에서는 통신 단절 해결을 위한 고도 기반 릴레이와 지형 적응형 위치 배치가 생존성을 보장한다. 이에 특화된 군집전술은

다음과 같이 제시할 수 있다.

- ① 고도 기반 릴레이: 능선과 계곡으로 인한 통신 음영을 극복하기 위해 고고도·중고도·저고도 노드로 계층을 형성
- ② 지형 적응형 위치 배치: 드론과 UGV를 능선, 역사면, 협곡 등 지형 형태별 최적 위치에 배치
- ③ 능선 우점 정찰: 능선 상부와 역사면 은폐 구역을 결합하여 감시
- ④ 협곡 및 목지점 차단: 협곡과 산길 등 병목 지점을 중심으로 포위와 차단을 수행
- ⑤ 동굴 및 식생 침투 정찰: 수풀 하부나 동굴 등 협소 지역에 소형 전력을 투입

### 4.2.3 도하작전

도하작전에서는 특정 시점과 공간에 전력을 투사하는 축선 집중과 시간 동기화 협조가 부대 방호의 핵심이며, 성공적 도하작전을 위한 군집전술은 다음과 같이 제시할 수 있다.

- ① 축선 집중 운용: 제한된 도하 경로를 고려하여 군집 활동을 주 도하축과 보조 도하축에 집중
- ② 시간 동기화 협조: 도하 개시부터 가고 설치 및 원안 확보까지 모든 단계를 정해진 시간 계획에 맞춰 동기화
- ③ 원안 사전 고립: 도하 전 강 건너편의 주요 진입로와 저격 위치를 미리 감시하고 고립
- ④ 도하 회랑 차폐 및 엄호: 도하 회랑에 대해 연막을 통한차폐와 상공 엄호 감시를 동시에 수행
- ⑤ 교두보 확장 지원: 도하 직후 교두보 확장을 위해 강 건너편 출구로와 제방선을 감시하고 차단

### 4.2.4 후방 군수시설 방호작전

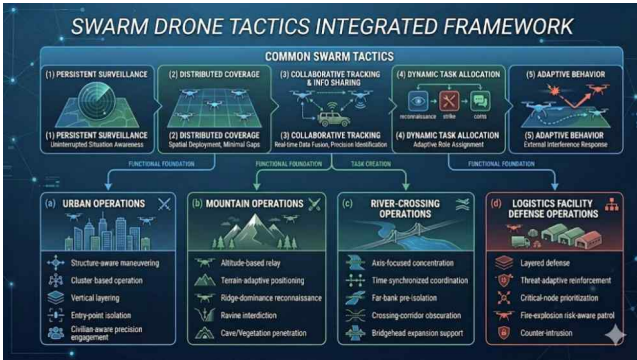
후방 군수시설 방호작전에서는 침투 저지를 위한 다층 방어와 위협 수준에 따른 적응형 감시 강화가 중요하다. 이를 위한 군집전술은 다음과 같이 제시할 수 있다.

- ① 다층 방어: 시설 외곽, 중간 경계, 핵심 저장구역 상공에단계별 감시 및 대응 레이어를 설정
- ② 위협 적응형 강화: 위협이 탐지된 특정 방향이나 구역으로 감시 및 차단 자산을 즉시 집중
- ③ 핵심 노드 우선 방호: 탄약고, 유류탱크, 전력 및 통신 노드 등 핵심 거점을 중심으로 방호력을 집중
- ④ 화재·폭발 위험인지 순찰: 화재와 2차 폭발 위험을 고려해 안전거리 유지와 열원 이상 탐지 위주로 기동
- ⑤ 침투 저지 및 저고도 대드론 선별: 시설로 접근하는 침투조와 저고도 소형 드론을 조기에 탐지하고 차단

## 5. 결론

본 연구는 현대 군사 환경에서 무인항공기(UAV) 군집의 전술적

운용을 체계화하기 위해 '2계층 군집전술 프레임워크'를 제안하였다. 기존의 개별 알고리즘 중심 연구와 실제 교리 기반 작전 적용 간의 간극을 해소하고자, 보편적 운용 메커니즘인 공통 군집전술(CST)과 작전 환경별 특화 군집전술(SST)을 구조적으로 결합하였으며, 이는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.



[그림 2] 군집 드론 전술 통합 프레임워크 [12]

연구 결과, 도시·산악·도하·후방 방호 등 상이한 작전 환경에서도 시스템의 안정성을 보장하는 5가지 공통 전술이 기능적 토대로 작용함을 확인하였다. 동시에 각 환경의 지형적 제약과 전술적 마찰을 극복하기 위해 도출된 특화 전술들이 작전 성공의 결정적 요소임을 입증하였다. 제시된 2계층 통합 프레임워크는 저수준의 제어 기술과 고수준의 작전 개념을 통합하는 이론적 틀을 제공하며, 향후 AI 기반 군집 제어 및 1인 지휘통제 시스템 설계의 핵심 지침이 될 것으로 기대한다. 다만 본 연구에서는 군집드론 운용 전술에 대한 개념적방향을 제시한 것이므로, 향후에는 시뮬레이션 및 실비행 데이터를 활용하는 등 본 연구에서 제시하는 개념적 프레임워크의 실효성을 정량적으로 검증하는 후속 연구가 시행되어야 할 것이다.

## 후 기

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

## 참고문헌

[1] Stacie Pettyjohn, "COUNTERING THE SWARM: The Future of C-UAS Defense", Center for a New American Security (CNAS), pp. 1-45, Sep., 2025.  
 [2] OFFSET: OFFensive Swarm-Enabled Tactics - DARPA, accessed April 20, 2026.  
 [3] DARPA OFFSET: A Vision for Advanced Swarm ... - IEEE Xplore, accessed April 20, 2026. <https://ieeexplore.ieee.org/iel8/10854677/10875987/10876037>  
 [4] Francis, J., et al. Toward general-purpose robots via foundation models: A survey and meta-analysis. arXiv

preprint arXiv:2312.08782v3, 2024.

[5] Junyu Chen, et al., "D-STORM: Dynamic Swarm Tactical Operations and Risk Management for Multi-Agent Systems", arXiv:2501.16539, pp. 1-18, Jan., 2025.  
 [6] U.S. Army, "Urban Operations", ATP 3-06 / MCTP 12-10B, Department of the Army, pp. 1-210, Dec., 2022.  
 [7] U.S. Army, "Mountain Operations", FM 3-97.6, Department of the Army, pp. 1-150, Nov., 2000.  
 [8] U.S. Army, "Combined Arms Mobility", ATP 3-90.4 / MCWP 3-17.6, Department of the Army, pp. 1-250, Mar., 2016.  
 [9] U.S. Army, "Rear Area Security", ATP 3-37.10 / MCRP 3-40D.13, Department of the Army, pp. 1-160, Jan., 2021.  
 [10] U.S. Army, "Counter-Unmanned Aircraft System Techniques", ATP 3-01.81, Department of the Army, pp. 1-135, Aug., 2023.  
 [11] Google Gemini. "A two layer framework of swarm tactics." Image generated by Google Gemini, April 23, 2026. <https://gemini.google.com/>.  
 [12] Google Gemini. "Swarm drone tactics intergrated framework." Image generated by Google Gemini, April 23, 2026. <https://gemini.google.com/>.