

박사학위 청구 논문
2023학년도

현대 전투사례 분석을 통한
국방 드론의 발전 방향에 관한 연구

A Study on the Way Heading Towards the Future of
National Defense Drones Based on the Analysis of
Modern Combat Cases

광운대학교 대학원

방위사업학과

박종수

현대 전투사례 분석을 통한
국방 드론의 발전 방향에 관한 연구

A Study on the Way Heading Towards the Future of
National Defense Drones Based on the Analysis of
Modern Combat Cases

지도교수 이 건 영

이 논문을 공학 박사학위 청구 논문으로 제출함.

2024년 6월

광운대학교 대학원

방위사업학과

박종수

박종수의 공학 박사학위논문을 인준함.

심사위원장 김 장 영 

심 사 위 원 김 정 수 

심 사 위 원 김 정 재 

심 사 위 원 박 찬 봉 

심 사 위 원 이 건 영 

광운대학교 대학원

2024년 6월 일

감사의 글

2019년 9월, 군 생활을 마무리하는 시점에 박사 과정에 입문하여 여러 어려움이 많았지만, 학문에 대한 열정과 드론 전문가로서의 소양을 갖추도록 지도 편달해 주신 이건영 지도교수님께 먼저 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 가운데에도 학위논문이 완성될 수 있도록 격려해 주시고 심사를 해주신 여러 교수님 덕분에 오늘 이 영광의 자리까지 올 수 있었습니다.

사랑하는 제 가족들에게 고마운 마음을 전합니다. 오늘날 제가 있도록 키워주시고 항상 응원해 주신 양가 부모님, 사랑하는 장남 대찬과 며느리 지은, 차남 경찬, 그리고 뒤늦은 학업에도 박사학위를 취득할 수 있도록 물심양면으로 응원해 준 나의 수호천사 아내 권청미 왕비님 모두에게 감사와 사랑의 마음을 듬뿍 전합니다.

더불어 저에게 아낌없는 사랑과 기도를 해 주셨던 우리들 공동체 지체들과 여러 친구에게도 감사의 인사를 드립니다.

앞으로 드론 전문가로서 국방 그리고 산·학·연 관계기관에서 이바지하고, 또한 제 인생에 부여된 사명을 감당할 수 있도록 쓰임 받기를 바라며, 더 정진하고 노력하겠습니다. 감사합니다.

2024년 6월

박 종 수

국문 요약

현대 전투사례 분석을 통한 국방 드론의 발전 방향에 관한 연구

본 연구의 목적은 드론의 운용 양상을 정립하고, 드론의 무기화 기술을 분석하여 국방 드론 발전에 요구되는 소요 기술을 선정하고 제시하는 것이다.

연구한 결과 현대 전투에서의 드론 운용 양상을 19개로 정립하였고, 각각에 대한 대응 방안을 강구하였다. 또한 드론 무기화 기술을 분석하여 16개 핵심기술을 선정하였고, 드론 소요 기술 선정 필요성과 활용 방안을 제시하였다. 선정의 필요성은 드론 무기화 소요 기술을 핵심기술에 반영시켜 드론 연구 개발의 기초자료로 활용토록 하는 것과, 효율적인 국방 연구·개발 예산을 운용하도록 이바지하는 데 있다. 소요 기술의 활용 방안에는 정부 정책이나 여러 연구기관의 기술 개발 관련 문서에 반영하는 것이다. 예를 들면 국방과학기술 혁신 기본계획(국방부, 매 5년, F+1~F+15), 국방 기술 기획서(방사청, 매년, F+1~F+15) 등의 국방 전력 문서에 반영하거나, 국방 연구·개발 예산으로 핵심기술을 다루고 있는 국방 기술 연구 개발 사업(방사청)에 반영하는 등 세 가지 방안을 제시하였다.

마지막으로 드론 방호체계 탐지-식별-무력화 단계별로 해당 기술의 발전 동향과 상용화 실태를 알아보았다. 그중 방호체계에서 식별의 중요기술인 AI 기반 드론식별 알고리즘 실험 결과 분석을 통해 알고리즘 학습데이터의 중요성을 제시하였고, 드론 방호체계의 한계에 대한 발전 방안을 모색하였다.

본 논문은 주로 최근 발생한 현황들을 다루다 보니 자료수집 시 보안 문제

등 제한사항과 전투사례를 기초로 한 정성적 분석이라는 한계점이 있었다. 하지만 기존 연구에서는 다루지 않은 드론 전투사례를 통한 정찰 및 공격 임무 수행 드론의 운용 양상을 정립하였고, 드론 운용 양상과 드론 기술 분석을 기초로 국방 드론의 발전에 필요한 드론의 소요 기술을 선정하였다. 또한 드론 방호체계 중 AI 기반 드론 영상식별 알고리즘을 분석하여 AI 알고리즘 학습데이터의 중요성을 제시하였고, 드론 방호체계의 한계에 대한 발전 방안을 모색한 성과가 있었다.

향후, 연구 실적의 축적과 전문가 확대 등을 고려하여 설문조사를 통한 정량적 분석을 복합한다면 더욱 객관성을 높일 수 있을 것이다. 국방 드론 개발을 위한 소요 기술과 드론 방호체계의 한계와 발전 방안에 관한 지속적인 연구를 기대한다.

**주제어 : 드론 전투사례, 드론 운용 양상, 드론 무기화 기술, 국방 드론 발전
소요 기술, 드론 방호체계, 드론탐지·식별·무력화, AI 기반 드론
영상식별 알고리즘**

ABSTRACT

A Study on the Way Heading Towards the Future of National Defense Drones Based on the Analysis of Modern Combat Cases

PARK, Jongsu

Dept. of Defense Acquisition Program

The Graduate School Kwangwoon University

The purpose of this study is to select and present the necessary technologies required for the development of defense drones by analyzing drone operation patterns and drone weaponization technology trends.

As a result of the study, the drone operation method in modern combat was established into 19 operation aspects and countermeasures for each were devised. In addition, drone weaponization technology was analyzed and 16 core technologies were selected, and the necessity of selecting drone technology and ways to utilize it were presented. The necessity of selection is to reflect the technology required for drone weaponization in core technologies so that it can be used as basic data for drone research and development and to contribute to the efficient operation of the defense R&D budget. The plan for utilizing the required technology is to reflect it in government policies or in documents related to technology development from

various research institutes. For example, it is reflected in national defense power documents such as the Defense Science and Technology Innovation Basic Plan (Ministry of Defense, every five years, F+1~F+15) and the Defense Technology Plan (DAPA, every year, F+1~F+15). Three measures were proposed, including reflecting it in the defense technology research and development project (DAPA), which deals with core technologies with the defense R&D budget.

Lastly, I looked into the development trends and commercialization of the technology in each stage of drone protection system detection-identification-neutralization. Among them, the importance of algorithm learning data was presented through analysis of the experimental results of the AI-based drone identification algorithm, which is the core technology for identification, which is the most important identification technology in the protection system, and ways to respond to the limitations of the drone protection system were explored.

Since the paper mainly deals with recent situations, it had limitations in data collection and qualitative analysis based on combat cases. However, the operational aspects of drones performing reconnaissance and attack missions were established through drone combat cases that were not covered in existing studies, and the drone technology required for the development of national defense drones was selected based on drone operation aspects and drone technology trends. In addition, the importance of AI algorithm learning data was presented by analyzing the AI-based drone image identification algorithm within the drone protection systems, and the results underlined

ways to address the limitations of the drone protection system.

Thus, future research need to apply a research design that mixes quantitative analysis through a survey that take into account the accumulation of related research results and the expansion of experts.

I look forward to further research on the technologies required for the development of national defense drones and the limitations and countermeasures of the drone protection system.

Keywords : Drone Combat Cases, Drone Operation Patterns, Drone Weaponization Technology, Technology required to develop National Defense Drones, Drone Protection System, Drone Detection / Identification / Neutralization, AI-based Drone Image Identification Algorithm

<차 례>

국문 요약	i
ABSTRACT	iii
차 례	vi
그림차례	ix
표 차 례	xiii
 제1장 서론	 1
1.1. 문제의 제기 및 연구 목적	1
1.2. 연구의 범위 및 방법	4
1.2.1. 연구의 범위	4
1.2.2. 연구의 방법	6
 제2장 현대 드론 전투사례 고찰과 드론 운용 양상 정립	 8
2.1. 현대 드론의 전투사례 고찰	10
2.1.1. 국지 분쟁 드론 전투사례	13
2.1.2. 전면전 드론 전투사례	23
2.1.3. 드론 테러 사례	44
2.2. 드론 임무별 운용 양상 분석을 통한 대응 방안 정립	54
2.2.1. 정찰 임무 수행 드론	57
2.2.2. 공격 임무 수행 드론	60
2.2.3. 정찰과 공격 임무 복합 수행 드론	67

제3장 드론 무기화 기술 분석 및 소요 기술 선정	77
3.1. 드론 무기화 기술 분석	80
3.1.1. 탐지 및 인식	87
3.1.2. 통신	99
3.1.3. 자율지능	106
3.1.4. 동력원 및 이동	112
3.1.5. 인간-이동체 인터페이스	121
3.1.6. 시스템 통합	128
3.2. 드론 무기화 소요 기술 선정	142
3.2.1. 정찰 임무 수행 드론의 소요 기술	143
3.2.2. 공격 임무 수행 드론의 소요 기술	146
3.2.3. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 소요 기술	153
3.2.4. 소요 기술의 중요도 및 시급성 분석과 활용 방안	162
 제4장 드론 방호체계	 177
4.1. 드론 방호체계 개요	178
4.2. 드론탐지 기술	181
4.2.1. 레이더	182
4.2.2. RF 스캐너	185
4.2.3. 광학 카메라(EO)/적외선 카메라(IR)	187
4.2.4. 복합센서 운용	190
4.3. 드론식별 기술	191
4.3.1. 전자식별	191
4.3.2. AI 기반 드론 영상식별	193

4.4. 드론 무력화 기술	212
4.4.1. 하드킬(Hard Kill)	212
4.4.2. 소프트킬(Soft Kill)	217
4.5. 드론 방호체계의 한계 및 발전 방안	219
4.5.1. 탐지/식별 방법의 한계/발전 방안	220
4.5.2. 무력화 방법의 한계/발전 방안	225
 제5장 결론	 228
 참고문헌	 234

<그림 차례>

그림 1-1. 문제 제기와 연구의 목적	3
그림 1-2. 연구 흐름도	7
그림 2-1. 군사용 드론 사용 국가	9
그림 2-2. 2002년부터 2022년까지 전 세계 지역별 국가 기반 분쟁 수	11
그림 2-3. DJI 팬텀과 개조된 40밀리 고폭탄	15
그림 2-4. 토르 드론	16
그림 2-5. 2022년 12월 북한 무인기 침투 현황	18
그림 2-6. 북한 주요 무인기	19
그림 2-7. 파주에서 발견된 북한 무인비행기 재료와 가격	21
그림 2-8. MQ-1C(그레이 이글) 드론	24
그림 2-9. Hermes-450 드론	28
그림 2-10. Searcher Mk II 드론	28
그림 2-11. TB-2(바이락타르) 드론	30
그림 2-12. 샤헤드-136 드론	34
그림 2-13. 아바빌-2 드론	38
그림 2-14. 엑스텐더 드론	40
그림 2-15. Rotem L(Light) 드론	41
그림 2-16. 루스터 드론	42
그림 2-17. Matrix-600 드론	45
그림 2-18. MQ-9(리퍼) 드론	46
그림 2-19. 삼마드-1 드론	49

그림 3-1. 무인항공기 시스템 구성요소	81
그림 3-2. 과기정통부의 국방 연구·개발 구상도	82
그림 3-3. 드론의 구조	84
그림 3-4. Phase Array 기본원리	91
그림 3-5. 공중 무인이동체에 탑재된 초분광 카메라 응용(예시)	96
그림 3-6. 국내기술 수준 분석(탐지 및 인식 기술)	98
그림 3-7. 통신 기술 개략도	99
그림 3-8. 국내기술 수준 분석(통신 기술)	106
그림 3-9. 네이버랩스의 M1 로봇(좌), M1이 작성한 실내 지도(우)	108
그림 3-10. 국내기술 수준 분석(자율지능 기술)	111
그림 3-11. 국내기술 수준 분석(동력원 및 이동 기술)	121
그림 3-12. 국내기술 수준 분석(인간-이동체 인터페이스 기술)	128
그림 3-13. 소프트웨어 체계 기술의 구성	132
그림 3-14. Deep space 1과 이에 적용된 다기능 구조 패널	136
그림 3-15. 국내기술 수준 분석(개발 체계 기술)	140
그림 3-16. 국내기술 수준 분석(소프트웨어 체계 기술)	141
그림 3-17. 국내기술 수준 분석(하드웨어 체계 기술)	142
그림 3-18. 6대 공통 핵심 기술별 전투사례 참가 현황	164
그림 3-19. 개별 소요 기술별 운용된 전투사례 현황	168
그림 3-20. 국방과학기술 문서 체계	173
그림 3-21. 우리나라 국방 연구·개발 사업 구조	175
그림 3-22. 우리나라 국가 재정상 국방 연구·개발의 위치	176
그림 4-1. 안티드론 방호체계 구성	179
그림 4-2. 드론탐지 장비 설치 /운용 개념도	181

그림 4-3. 레이더 드론탐지 거리·속도에 따른 대응 시간	184
그림 4-4. Airfence (RF 감지기, 핀란드 Sensofusion 社)	187
그림 4-5. 적외선 카메라로 탐지한 드론(거리 : 좌측 10m, 우측 70m)	188
그림 4-6. PTZ 카메라(Dedrone 社)	189
그림 4-7. 탐지 방법에 따른 탐지거리	190
그림 4-8. 저고도 소형드론 식별 및 주파수 통합 관리 시스템 개념도	192
그림 4-9. YOLO image processing overview	195
그림 4-10. YOLO Format	196
그림 4-11. YOLO 형식 라벨링 예시	197
그림 4-12. 클래스 구성 파일	197
그림 4-13. YOLO_Label	198
그림 4-14. 이미지 파일과 Label 파일	199
그림 4-15. COCO Dataset 에 관한 모델별 성능	201
그림 4-16. 주요 경유 지점(7, 4, 15)별 드론탐지 픽셀	203
그림 4-17. Ins 2 정상식별(신뢰도: 84%, 91%, 89%)	204
그림 4-18. Ins 2 식별 오류(신뢰도: 94%, 56%)	205
그림 4-19. Ins 2 탐지 오류(신뢰도: 28%, 31%)	205
그림 4-20. Ins 2 정상식별(신뢰도: 92%, 66%, 83%)	206
그림 4-21. Ins 2 식별 오류(신뢰도: 92%, 91%)	206
그림 4-22. Ins 2 탐지 오류(신뢰도: 35%, 27%)	207
그림 4-23. Ins 2 탐지 성능과 날씨(1~2,000프레임)	208
그림 4-24. Ins 2 탐지 성능과 날씨(2001~4,000프레임)	208
그림 4-25. 흐린 날 정오 복수 드론탐지	209
그림 4-26. 흐린 날 일몰 직전 복수 드론탐지	210

그림 4-27. 복수 드론탐지(통합 로그, 1~1,251프레임)	210
그림 4-28. 복수 드론탐지(개별 데이터 1~1,251프레임)	211
그림 4-29. 드론 시스템의 구성 및 무력화 가능 구성요소	213
그림 4-30. 대공무기	215
그림 4-31. 레이저(좌), HPM(중), EMP(우)	216
그림 4-32. GPS Spoofing 장비	218

<표 차례>

표 1-1. 무인항공체계 용어의 정의와 적용 분야	5
표 2-1. 전면전·국지 분쟁·테러 비교	10
표 2-2. 고찰 대상 드론 전투사례 현황(총 14개)	12
표 2-3. 북한 무인기 침투 현황	20
표 2-4. 드론의 군사 분야 역할 분류	55
표 2-5. 임무별 드론의 운용 양상(총 19개)	56
표 2-6. 정찰 임무 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안	57
표 2-7. 공격 임무 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안	61
표 2-8. 공격 임무 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안	64
표 2-9. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안	68
표 2-10. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안	71
표 2-11. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안	74
표 3-1. 국내·외 무인이동체 관련 기술로드맵 기술 분류 비교	86
표 3-2. 6대 공통 핵심 기능 기술(탐지 및 인식)	87
표 3-3. 환경탐지 센서 국내기술 동향/개발 업체 및 특징	97
표 3-4. 6대 공통 핵심 기능 기술(통신)	100
표 3-5. 6대 공통 핵심 기능 기술(자율지능)	107
표 3-6. 6대 공통 핵심 기능 기술(동력원 및 이동)	112
표 3-7. 6대 공통 핵심 기능 기술(인간-이동체 인터페이스)	122
표 3-8. HMI(Human-Machine Interface, 인간-이동체 인터페이스) 레벨 ..	123
표 3-9. 6대 공통 핵심 기능 기술(시스템 통합)	129

표 3-10. 정찰 임무 수행 드론의 운용 양상별 소요 기술	143
표 3-11. 공격 임무 수행 드론의 운용 양상별 소요 기술	147
표 3-12. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상별 소요 기술	154
표 3-13. 드론 운용 양상별 소요 기술	163
표 3-14. 소요 기술 현황(중복 제외 / 총 16개)	163
표 3-15. 6대 기술의 국내기술 역량 및 최저수준의 요소기술 현황	171
표 4-1. 드론 방호체계 기술과 정찰/공격 임무 기술 비교	178
표 4-2. 안티드론 기술 분류표	180
표 4-3. 사용 주파수 대역별 드론탐지용 상용 레이더	182
표 4-4. 드론탐지 레이더 성능 비교	183
표 4-5. 다양한 비행체들의 RCS(레이더 단면적)	185
표 4-6. 탐지 센서 기술	191
표 4-7. 데이터 구성	200
표 4-8. YOLOv3와 YOLOv5s 비교	201
표 4-9. 인스파이어2 탐지 시험 결과	203
표 4-10. 팬텀 4 프로-인스파이어2 탐지 시험 결과	209
표 4-11. 무력화 체계	212
표 4-12. 탐지/식별 방법의 한계 및 발전 방안	222
표 4-13. 드론 방어 시 무력화 방법의 한계/발전 방안	226

제1장 서론

1.1. 문제의 제기 및 연구 목적

2021년 7월, 美 국방부는 소형드론들을 더 이상 완구로 치부할 수 없는 수준이라고 판단하여 『美 소형무인기 시스템 대응 전략서(Counter-sUAS Strategy)』를 대응 개념으로 공개하였다. 이 문건은 소형무인기에 대한 미국의 첫 종합전략보고서이다. 이 문서를 통해 미군은 미 본토와 해외 주둔국, 잠재적 분쟁 지역 내 적성국의 소형무인기 시스템의 다양한 위협에 대응하기 위한 기본골격을 제공하고 있다. [1]

또한 그 이듬해인 2022년, 미국은 『2022 MDR(Missile Defense Review, 미사일 방어 검토 보고서)』에서 탄도미사일, 순항미사일, 극초음속 무기와 함께 UAS¹⁾를 처음 새로운 위협 대상으로 명시하였다. [2]

드론(UAS)은 이제 전장에서 단순한 정찰뿐만이 아니라 정밀공격과 자폭 공격까지 다양한 임무 수행이 가능해졌고, 저속에서 고속, 저고도로부터 고고도까지 융통성 있는 운용과 저렴한 민수용도 군사용으로 개조하여 대 드론 체계를 어지럽힐 수 있는 등, 드론의 장점을 기술 발전과 더불어 활용할 때 더욱 큰 위협 수단이 될 것으로 전망한다.

2000년대 초는 우리 군이 병력감축의 불가피성을 인식하고 착수한 『'06~'20 국방개혁 기본계획』을 구상하던 시기였다. 중동 지역에서 드론이 새롭게 등장했지만, 우리 군 「국방개혁 기본계획」의 군 구조 중 부대구조 또는 전력구조에 드론과 관련된 부분은 포함되지 않았다. 이미 군단 · 사단급 정찰 자산으로

1) Unmanned Aircraft Systems, 드론 또는 무인항공기의 군사적 표현.

드론을 편성하고 개발하였으나 정찰과 감시 자산의 진화된 형태로만 판단하였고, 전쟁의 패러다임을 바꿀 수 있는 새로운 무기체계로 향후 전 세대에서 활용될 것이라고는 예상치 못했기 때문이다. 드론 관련 우리 군의 본격적인 논의는 2018년 가을에 육군이 ‘미래 전장의 게임 체인저 드론봇’이라는 타이틀을 제시하면서부터 시작되었다. 드론 전력화의 출발은 2000년대 초반이었지만 드론을 활용한 전투 수행 개념의 구상이 뒤따르지 못해 개념에서 비롯된 기술 개발이 늦게 시작되었고 그로 인한 군사 과학 기술의 축적도 더디게 진행되었다. 무기체계 개발을 위해 사전 선행되었어야 할 소요 결정이 지연되어 핵심기술 개발과 국내 연구 개발 사업의 차질이 불가피했고, 이로 인한 영향은 현재 소부대급의 드론 및 대 드론 체계 전력화에 영향을 미쳤다. [1]

이러한 문제점과 관련하여 김영은 박사(2021)는 우리 군이 상용 드론에 관한 산업표준을 국방표준으로 적용할 수 있는 수준의 기술적 요소 및 군사적 요구에 적합한 조건을 구체적으로 제시할 필요성을 주장하였고, [3] 서정원 등(2022)도 야전과 병과학교의 소요 제안이 없어서 핵심기술에 드론 관련 기술 개발이 포함되지 못하고 있고, 미래 도전 기술이나 민군 협력 기술에도 군 소요가 적절히 반영되지 못하는 실정이라고 지적했다. [1]

이를 다른 말로 표현하면 국방 드론을 개발하고 연구하는 정부의 정책과 여러 연구기관에서 추진하고 있는 핵심기술 등의 선정과 그 선정 절차 또한 미흡했다는 것이다. 예를 들면 그림 1-1에서 보는 바와 같이, 2022년도 2월에 러시아가 우크라이나를 침공해서 시작된 전쟁과 그해 10월 북한이 우리 남한의 서울에 무인기 5대를 침투시킨 사례, 그리고 최근 하마스가 이스라엘을 기습하여 시작된 전쟁 등에는 모두 드론이 운용되었다. 그에 대해 우리 국민은 “우리 국방 드론의 현재 수준은 어떠한지?” “국방 드론의 연구와 개발 등 잘 발전하고 있는 것인지?”에 관심이 높아졌으며, 이를 위해서는 드론 발전을 위한 똑똑

한 소요 기술 선정이 중요할 것이라는 문제의식에서 본 연구를 시작하게 되었다. 기술 개발을 위한 기술 선정이 아니라 실제 드론을 운용한 전투사례 고찰을 통해 드론의 운용 양상을 정립하고 여기에 드론의 무기화 기술 분석을 반영한 소요 기술 선정이 적절한 접근방법으로 판단하였다.

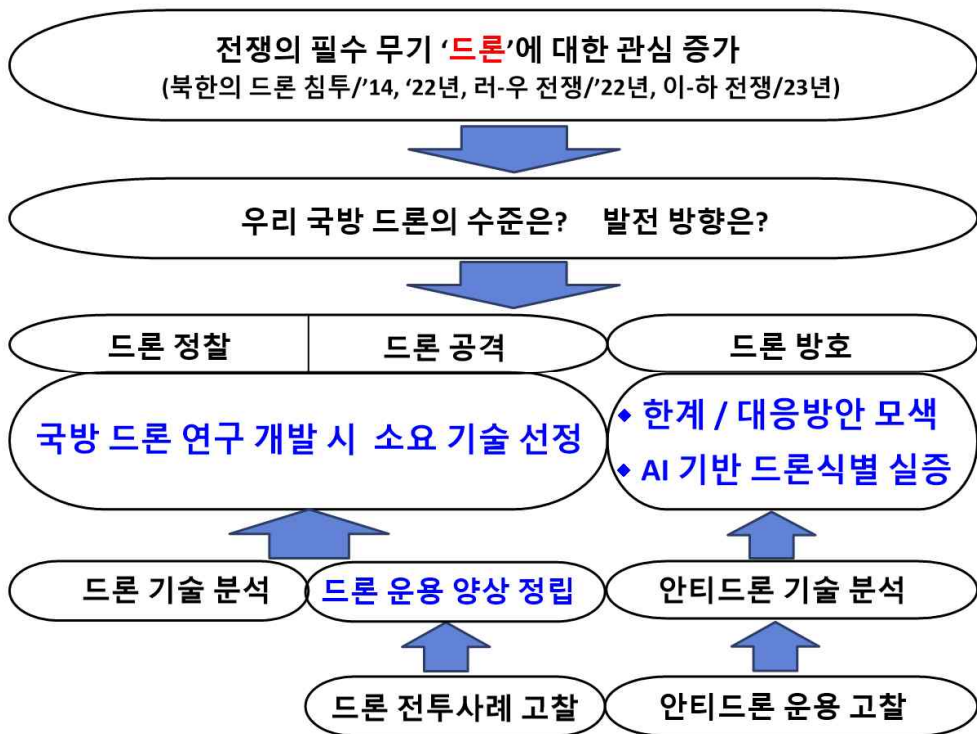


그림 1-1. 문제 제기와 연구의 목적
Figure 1-1. Problem raising and research purpose

따라서, 본 연구의 목적은

첫째, 드론의 운용 양상과 드론의 무기화 기술을 분석하여 국방 드론 발전에

요구되는 소요 기술을 선정하고 제시하는 것이다.

둘째, 이를 위해 최근 20여 년간 현대 전투에서 드론이 참가한 전투사례를 고찰하여 운용 양상을 정립하고, 각각에 대한 대응 방안을 모색하는 것이다.

셋째, 드론 방호 시 식별 단계에서 중요기술인 AI 방식의 드론식별 실증을 통해 효율적인 알고리즘과 연구 방법을 제안하고, 드론 방호체계의 한계와 발전 방안을 모색하는 것이다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

1.2.1. 연구의 범위

우선 드론의 운용 양상 정립을 위해서 현대 드론의 전투사례를 고찰할 것이다. 전투사례는 2003년부터 현재까지 21년간 전 세계를 대상으로 드론이 참가한 국지 분쟁, 전면전, 테러 중 언론의 주목을 받고 사회적인 파장과 피해의 심각성이 컸던 사례를 중심으로 고찰하겠다.

이어서 앞서 고찰한 드론의 전투사례를 통해 드론의 운용 양상을 정립하고 그 대응 방안을 모색할 것이다. 기존 드론 운용 연구를 살펴보면 정찰 임무 드론에 관해서는 강화학습 기반 적대적 위협 환경하에서의 정찰드론 경로 계획 연구[4], 중대급 작전지역에서 드론의 수량 변화에 따른 전투 효율 연구[5] 등 시뮬레이션 또는 일정 지역에서의 알고리즘을 통한 효율적인 정찰경로 등에 관한 연구가 주로 이루어졌다. 공격 임무 드론에 관해서는 북한의 공격 드론 전투 양상 전망[6] 이나 AI 공격용 드론 개발 방향[7] 등의 연구 실적이 있으나 드론이 참가한 전투사례에서 드론 정찰 및 공격 임무 수행을 분석하여 드론의 운용 양상을 정립한 연구는 미흡한 실정이었다. 따라서 전시에 주로 수행되는 정찰, 공격, 정찰 및 공격 임무 복합 수행의 세 가지로 드론의 운용 양상을 분류하여 정립하고, 각각의 대응 방안을 모색할 것이다.

다음으로, 드론의 무기화 소요 기술을 선정하겠다. 이를 위해 국내외 드론의 무기화 기술을 분석하고, 드론 소요 기술을 선정해야 하는 필요성과 활용 방안을 제시하겠다.

마지막으로 드론 방호체계의 실태 및 한계점 극복 발전 방안 제시를 위하여 드론 방호체계 탐지-식별-무력화 단계별로 해당 기술의 발전 동향과 상용화 실태를 알아보겠다. 그중 방호체계에서 드론식별의 중요기술인 AI 기반 드론식별 알고리즘 실험 결과 분석을 통해 알고리즘 학습데이터의 중요성을 제시하고, 드론 방호체계의 한계에 대한 발전 방안을 모색하겠다.

김영은(2021)은 “드론 전투체계의 국방 표준화 결정요인에 관한 연구”에서 국내에서의 무인항공기에 대한 용어 정의 및 사용에 대해 국가기술표준원과 육·해·공군이 무인체계에 관한 용어를 각기 다르게 사용하고 있으며, 우리 군이 무인항공체계에 관하여 사용하는 용어와 적용 분야는 표 1-1과 같이 주로 전력 소요제기 단계에서 연구 개발 및 구매를 위한 획득 방법 결정 시 주로 사용한다고 제시하였다. [3]

본 연구에서는 용어의 혼동을 방지하기 위해 김영은(2021) 연구를 준용하여 아래 여러 가지 용어를 ‘드론(또는 무인기)’이라는 용어로 통일하여 사용하고자 한다.

표 1-1. 무인항공체계 용어의 정의와 적용 분야

Table 1-1. Definition and application areas of unmanned aerial system terms

기관	용어	적용 분야
국가기술표준원	무인항공기, 무인항공체계	무인항공기 관련 국내외 표준 제정 시 사용 * KSW-9000 「무인항공기 용어 및 분류 기준」
육군, 해군	드론, UAV	전력 소요제기 시 사용
공군	UA, UAS	

(출처 : 김영은, “드론 전투체계의 국방 표준화 결정요인에 관한 연구”, 2021. [3])

1.2.2. 연구의 방법

본 논문이 적용한 기본적인 연구 방법은 ‘사례 분석’이다.

김형석과 조재희(2023)는 러시아-우크라이나 전쟁에서 우크라이나 전역(戰域)의 드론 기반 전투에 대한 시공간적 분석을 통하여 특정 무기체계의 운용 지역, 역할 및 효율성을 분석하였다. 드론을 운용하여 전투 발생지점의 지리좌표를 기록한 ACLED(Armed conflict location and event data)와 사용 주체에 대한 시공간적(Spatiotemporal) 특징과 경향성을 파악할 수 있는 다차원 모델(Multidimensional Model)을 활용하여 드론 기반 전투의 현황을 드론 운용 형태, 전투에 따른 피해 규모 및 효율성 측면에서 실증 분석한 것이다. 하지만 두 연구자는 데이터의 제약 문제로 전장에 투입된 드론의 정확한 정보나 실제 운용 형태 그리고 방식에 대한 정보가 부족하여 전장 현황과 드론 활용 양상을 더욱 구체적으로 분석할 필요가 있다고 연구의 한계점을 밝혔다. [8]

따라서 본 연구는 데이터에 의한 정량적인 방법으로는 제한되는 드론의 운용 형태나 방식(드론 운용 양상) 연구에 대해서 본 논문 저자의 기존 연구인 “정찰 및 공격 임무 수행 드론의 운용 양상에 관한 연구” [9] 를 후속 확장하여 연구하고자 한다. 즉 최근의 전투사례를 추가 반영하고, 이를 통해 기존에 정립한 드론의 운용 양상을 보완하여 국방 드론 연구 개발의 기초자료로 활용될 수 있는 현실적인 소요 기술을 선정하여 제시하고자 한다.

최근 20여 년간 발생 되었던 드론이 참가한 전투사례를 종합적으로 분석하는 과정에서는 찰스 킬리(Charles Tilly)의 ‘비교 역사적 분석 방법(comparative historical approach)’을 적용하겠다. 역사적 사실을 비교하는 방법론으로 개별화·보편화·변이 발견·포괄화 비교의 4가지를 제시하고 있는데 본 논문은 ‘보편화 비교’를 활용할 것이며, 이는 모든 전쟁 양상이 구성요소 측면에서 본질적으로 보편적이고 유사한 규칙을 따른다는 측면에서 선정하였다. [10]

사례 분석을 위한 자료의 활용은 ‘문헌 조사 방법’을 위주로 적용하겠다. 전투 사례 고찰과 드론의 무기화 기술과 관련된 자료 중에서 민감한 내용은 통상 비밀로 분류되어 공개가 제한되어 국내·외 단행본, 학술자료, 연구 논문, 보도자

료, 언론 기사 등 공개된 자료 위주로 활용하겠다.

본 논문은 총 5개 장으로 구성하겠다. 제1장 서론에서는 연구에 대한 문제 제기와 목적, 범위 및 방법에 관해 기술하겠다. 제2장에서는 현대 전투에서 드론이 활용된 전투사례 고찰을 통한 정찰 및 공격 임무 수행 드론의 운용 양상을 정립하고 대응 방안을 모색하겠다. 제3장에서는 국내외 드론의 무기화 기술 분석과 2장에서 정립한 드론의 운용 양상별로 국방 드론에 필요로 하는 소요 기술을 선정하고, 소요 기술의 선정 필요성과 활용 방안도 제시하겠다. 제4장에서는 드론 방호체계 구축을 위한 탐지·식별·무력화 단계에서 각각의 기술 고찰과 운용 시에 한계점 및 발전 방안을 모색하겠다. 제5장 결론에서는 연구의 성과를 종합 정리하고, 본 논문이 갖는 의미, 그리고 한계점을 정리하고자 한다.

이상의 연구 방법을 도식화하면 그림 1-2와 같다.

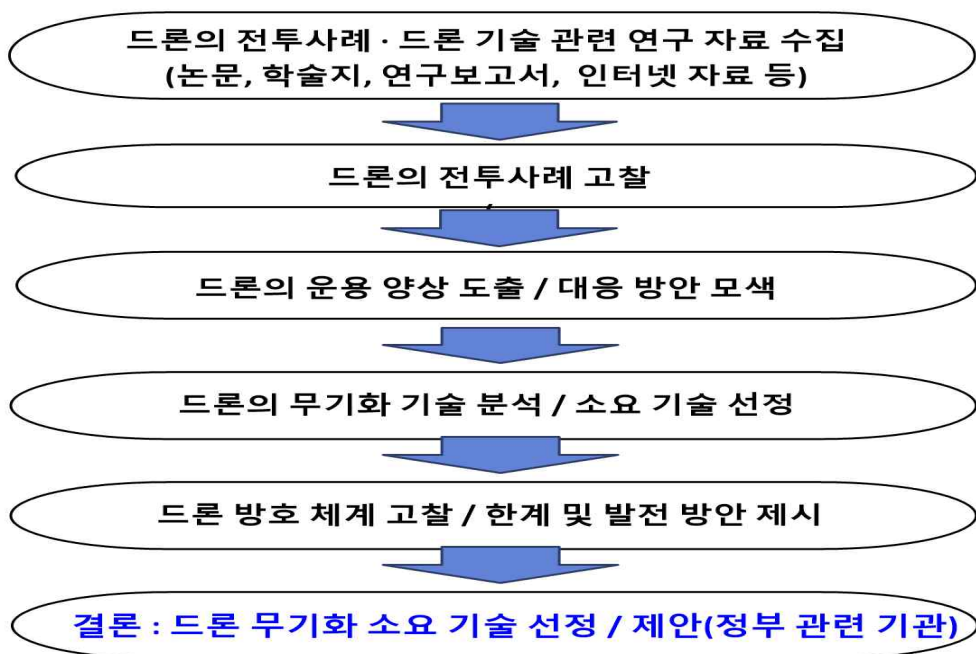


그림 1-2. 연구 흐름도
Figure 1-2. Research flowchart

제2장 현대 드론 전투사례 고찰과 드론 운용 양상 정립

드론이 본격적으로 전장에 등장하기 시작한 것은 2000년대 초반 미군이 아프가니스탄, 이라크전쟁 당시 정찰 및 공격작전에 드론을 활용한 때부터이다. 당시 드론은 지상 표적에 대한 공대지 미사일 발사, 정찰 및 감시, 표적 획득, 공격작전 등 다양한 목적으로 활용된 미 육군의 효과적인 정찰 및 공격 도구로 인식되었다. 걸프전을 시작으로 코소보전쟁, 아프가니스탄전쟁, 이라크전쟁을 거쳐 진화를 거듭한 드론은 더욱 정교해진 정밀타격이 가능해지며 24시간 지상 작전을 지원하는 핵심 대테러 무기체계로 발전했다.

하지만 드론 운용의 양상이 바뀌고 있다는 흥미로운 보고서가 나왔다. 2019년 9월 25일, 뉴욕 바드 대학 드론연구센터가 발표한 보고서에 따르면 그림 2-1에서 보듯이 전 세계 195개국 중 절반인 95개국이 군사용 드론을 운용하고 있다. 2010년에는 60개국 정도였으나, 지난 10년 동안 30개국이 추가되었으며, 현재 운용 중인 군용 드론의 수는 최소 21,000대에서 최대 30,000대까지 171종에 이른다. 군용 드론부대는 58개국 268개로 편성돼 있으며, 드론 수가 늘어나면서 관련 인프라도 확충되고 있다. 15개국이 드론 운용 전문가 양성을 위해 교육기관을 설립했고, 7개국이 해외 영토에서 드론 기지를 운영하고 있다. 또한 예멘의 후티 반군은 군용 드론을 널리 활용하고 있으며, 남미에서는 마약 밀수에도 드론을 활용하고 있다. 주변국과 갈등이 잦은 동아시아 국가들도 국경 수색 활동에 드론을 활용하고 있고, 이슬람국가(IS)와의 전쟁으로 황폐해진 시리아와 이라크 상공에서 8개국이 드론을 운용하고 있다. 이에 따라 군용 드론 분야에서 절대 강자였던 미국의 위상이 흔들리고 있다. 월스트리트저널(WSJ)에 따르면, 몇 년 전까지만 해도 미국은 사실상 대형 장거리 무장 드론을 운용하는 유일한 국가였다. 미국 중앙정보국(CIA)과 국방부는 그동안 남아시아, 예멘, 소말

리아 등지에서 테러 용의자를 암살하기 위해 '프레데터', '리퍼' 등 드론을 사용해 왔다. 아제르바이잔, 나이지리아 등 국가들은 이미 드론을 활용한 공습에 성공했고, 다른 나라들도 첨단 드론 개발에 착수했다. [11]

이를 해석하면 이제는 드론이 몇 개의 군사 강국만이 아닌 저소득 국가나 테러 집단도 널리 사용하는 추세이며, 현대 전장에서 보조적인 수단이 아닌 정찰 감시와 정보 수집 또는 공중 공격 등 주요한 무기체계로 자리매김하고 있다고 볼 수 있다.

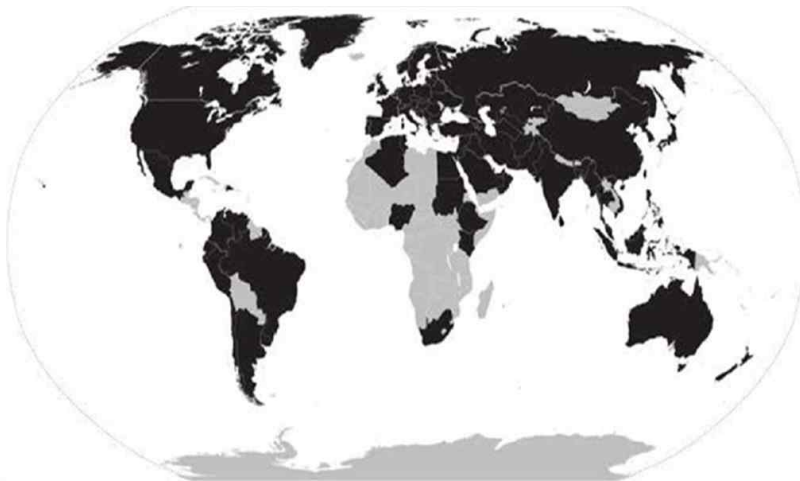


그림 2-1. 군사용 드론 사용 국가

Figure 2-1. Countries using military drones

(출처 : Drone Data Book, 뉴욕 바드 칼리지)

국방 드론의 성공적인 개발과 발전을 위해서는 실제 현대 전투에서의 드론 활용 사례 분석이 선행되어야 한다. 본 장에서는 2003년 이라크전쟁 이후 21년간 현대 전투에서의 드론 운용 양상을 고찰하고자 한다. 1절에서는 드론의 국지 분쟁·전면전·테러 전투사례를, 2절에서는 정찰·공격·정찰과 공격 임무 복합

수행 드론의 세 가지 임무 형태로 분류하여 드론의 운용 양상과 대응 방안을 제시하고자 한다.

2.1. 현대 드론의 전투사례 고찰

전쟁의 종류에는 전면전, 국지 분쟁이 있으며, 테러는 다른 전쟁 상황을 나타내며 이들의 차이를 살펴보면 표 2-1과 같다. [12]

표 2-1. 전면전·국지 분쟁·테러 비교

Table 2-1. Comparison of all-out war, local conflict, and terrorism

구 분	특징
국지 분쟁 (Limited War)	- 제한된 지역에서 일어나는 전쟁으로 소규모 무력 충돌이 주로 발생 - 군사 조직이 조직되어 전선을 펼치는 단계 - 예시: 이스라엘 3차/4차 전쟁 등
전면전 (Total War)	- 군사력이 총동원된 대규모 전쟁 - 전 지역 또는 전선에 걸친 전투 발생 - 예시: 제1/2차 세계대전 등
테러 (Terrorism)	- 조직적인 무력 사용이 결여된 분쟁 - 주로 소규모 무장 요원이 개인화기 및 폭약 등을 사용 - 예시: 9/11 테러, 국제 테러 조직의 활동 등

(출처 : 국방과학기술용어사전(2021), 군사용어 사전(2012)을 참고하여 저자 재작성)

그림 2-2에서 보듯이 2002년부터 2022년까지 전 세계에서 국가 기반 갈등의 수는 총 1,090회 발생하였으며, 전반적으로 점차 증가했다. 2015년에는 66회로 최고치를 기록²⁾했고, 2022년에는 전 세계에서 55회의 분쟁이 발생하였으며 그 중 아프리카 26회, 아시아 17회, 중동이 8회 발생했다.

2) 총 66회 : 아프리카 26, 미주 3, 아시아 19, 유럽 6, 중동 12회

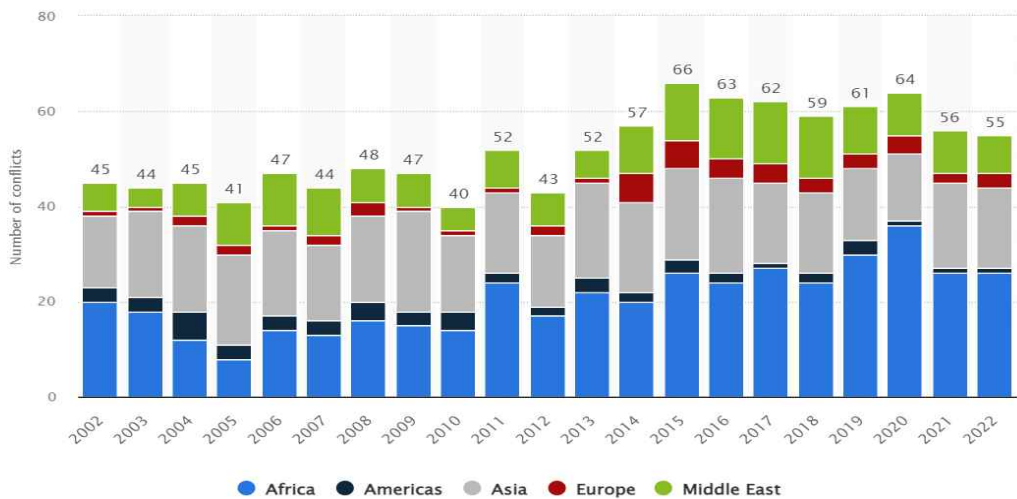


그림 2-2. 2002년부터 2022년까지 전 세계 지역별 국가 기반 분쟁 수

Figure 2-2. Number of country-based disputes by region around the world from 2002 to 2022
(출처 : Statista, "2002년부터 2022년까지 전 세계 지역별 국가 기반 분쟁 수", 2023. 6월 [13])

본 논문에서는 2000년대 이후 1,090여 회의 많은 국지 분쟁, 전면전, 테러 중 드론이 주로 운용되었던 총 14개의 전투사례를 고찰하고자 한다. 즉, 이스라엘과 팔레스타인 분쟁 등 3개의 국지 분쟁, 우크라이나-러시아 전쟁 등 5개의 전면전, 베네수엘라 대통령 드론 폭탄테러 등 6개의 드론 테러를 고찰 대상으로 하였으며, 드론이 사용된 전투사례의 현황은 표 2-2와 같다.

표 2-2. 고찰 대상 드론 전투사례 현황(총 14개)

Table 2-2. Status of drone combat cases considered in this paper (14 cases in total)

구분	명칭		기간	장소	사용 드론	임무	
국지 분쟁	L-1	ISIS-이라크·시리아전	2003-2019	아시아	DJI Phantom	정찰+공격 (폭탄 투하)	
	L-2	이스라엘-팔레스타인전	2021.5.6-5.21	아시아	토르	정찰	
	L-3	북한 드론의 서울 강화 파주 지역 침투	2022.12.26	아시아	불법 드론(총 5대)	정찰	
전면전	W-1	이라크전	2003-2011	아시아	MQ-1C(그레이 이글)	정찰+공격	
	W-2	조지아전	2008.8.8-8.12	유럽	Hermes-450 Searcher MK II	정찰 정찰	
	W-3	아제르바이잔-아르메니아전	2020.9.27-11.10	유럽	바이락타르(TB2) 하롭	정찰+공격 공격(자폭)	
	W-4	우크라이나-러시아전	2022.2.24-현재	유럽	바이락타르(TB2) Tu-141 R-18	정찰+공격 공격(자폭) 공격(폭탄 투하)	
					샤헤드 136	공격(자폭)	
	W-5	이스라엘-하마스 전	2023.10.7-현재	아시아	아바 빌, 주하비 민간 개조 드론	공격(자폭) 공격(폭탄 투하)	
					엑스텐더, 울버린 로템-L, 루스터	정찰+공격 공격(자폭) 정찰(지하 지도 작성)	
테러	T-1	대인	베네수엘라 대통령	2018.8.4	아메리카	Matrix-600 (개조)	공격(폭탄 투하)
	T-2		미, 이란 솔레이마니 제거	2020.1.3	아시아	MQ-9(Reaper)	공격
	T-3	시설물	사우디 유전	2019.9.14	아시아	삼마드-1	공격(자폭)
	T-4		이란, 유조선 공격	2022.11.15	아시아	샤헤드-136	공격(자폭)
	T-5		해외 원자력시설	2014-2016	유럽 아메리카 아시아	미확인 UAV 쿼드콥터 레저용 UAV	정찰
	T-6		국내 원전	2017 - 2022	아시아	불법 드론(민간 상업용)	정찰

* 국지 분쟁 : L(Limited War), 전면전 : W(Total War), 테러 : T(Terrorism)

위 표 2-2를 종합하여 정리하면 전투사례의 기간은 2003년부터 현재(2024년)까지 21년간이고, 전투가 발생한 장소는 아시아(10회)·유럽(4회)·아메리카(2회), 수행한 임무는 정찰(7회)·공격(11회)·정찰+공격(5회)로 나타났다.

2.1.1. 국지 분쟁 드론 전투사례

1) ISIS와 이라크 및 시리아 교전

가) 개요

ISIS³⁾와 이라크 및 시리아 교전은 2003년부터 2019년까지 발생하였다. 2003년 미국이 이라크를 점령한 이후 혼란한 상황 속에서 성장해 온 IS는 2011년 시리아에서 내전이 발생한 이후 시리아에 근거지를 두고 세력을 확장하면서 이라크·시리아 영토 대부분을 점령하였다. 2006년에 이라크 알카에다는 “이라크 이슬람국가(ISI)”로 조직 명칭을 바꾸었고, ISI는 2011년에 시리아에서 내전이 발생해 혼란에 빠지자, 시리아에 근거지를 확보한 후 세력 재건에 나섰다. 2013년에 이라크와 시리아에 대한 지배권을 주장하면서 조직명을 “이라크-시리아 이슬람 국가(ISIS)”로 변경하였다. 2014년이 되어 시리아로부터 이라크 서부지역으로 진출하여 영토를 확장하였으며, 조직의 지도자 아부 바크르 알바그다디를 칼리프로 하는 칼리프 국가 IS 설립을 선언하였다. 미국의 주도에 국제사회의 지원을 받는 이라크 정부군과 이라크 쿠르드·시아파 민병대, 시리아 SDF⁴⁾가 반격에 나서면서 IS는 약화하기 시작했으며, 이라크와 시리

3) ISIL(Islamic State of Iraq and the Levant, 이라크 및 레반트 이슬람 국가)로도 알려진 ISIS (Islamic State of Iraq and Syria, 이라크 및 시리아 이슬람 국가)는 수니파 지하드 단체. 알카에다로부터 영감을 받았지만 2019년에 공개적으로 추방됨. (RAND Home page)

4) 시리아 민주군(Syrian Democratic Forces)은 시리아 내전에서 이슬람 국가(IS) 및 알누스라 전선(JaN)에 대항하는 아랍인, 아시리아인, 아르메니아인, 체첸인 민병대 등의 연합조직임. 2015년 12월 10일 SDF는 시리아 민주평의회라는 이름의 정당을 창당함.

아에서 세력이 계속 약화하여 결국 2019년 3월 23일 완전히 소멸하였다. [14]
나) 드론 운용

ISIS는 DJI Phantom 드론을 사용하여 2015년부터 이라크 및 시리아에서 군사용 사진이나 영상을 촬영하고, 이를 통해 병력 배치, 공격 지점 식별 등에 사용하였다. [15]

DJI Phantom은 무게(배터리 · 프로펠러 포함) 1,375g, 대각선 길이(프로펠러 제외) 350mm, 조종기 통신 도달거리는 1km(2013년 출시된 최초 모델), 속도는 50~72km/h, 최대 고도 6km, 비행시간 30분, 작동 온도 범위는 0~40°C이다. GPS 기반 자율 비행 또는 드론에 탑재된 고해상도 카메라(1,080p 또는 4K)를 통해 태블릿과 휴대전화기 스크린으로 전송되는 비행 제원을 보며 조종하고, 일반적으로 취미용 드론이지만 ISIS의 경우 군사 정찰 임무 시 실시간 사진과 영상 촬영을 하는데 주로 운용하였다.

시리아와 이라크 북부를 점령하던 ISIS 국제 테러 조직은 상용 드론을 활용한 다양한 공격 수단을 개발하여 연합군과 정부군을 위협하였고, 그림 2-3에서 보듯이 처음에는 정찰만 하다가 점차 40mm 고폭탄 또는 수류탄 등을 투하하도록 개조 후 공격을 가하여 큰 피해를 줬다. ISIS 이후에도 드론을 이용한 공격은 남은 세력과 알카에다(Al-Qaeda) 그리고 기타 테러 조직들에 의해서 시행되고 있음에 따라 드론 방어체계에 관한 관심이 높아지고 있다. [16]



그림 2-3. DJI 팬텀과 개조된 40밀리 고폭탄
Figure 2-3. DJI Phantom and Modified 40mm High Explosive Bomb

(출처 : 이라크 쿠르트 자치 정부 홍보자료)

다) 운용 사례 분석

ISIS가 2015년부터 이라크 및 시리아에서 사용한 드론은 민간 드론을 개조하여 정찰 및 공격 임무에 사용하였다. 중국의 DJI사 팬텀 드론을 최초에는 주로 정찰용으로 사용하다가 40밀리 고폭탄에 회전 및 안정된 투하를 하도록 배드민턴 셔틀콕을 장착 개조하여 운용하였다.

2) 이스라엘과 팔레스타인의 가자지구 교전

가) 개요

이스라엘과 팔레스타인의 가자지구 교전은 2021년 5월 6일부터 21일까지 15일간 발생하였다. 하마스과 팔레스타인 이슬람 지하드는 가자 지구에서 이스라엘로 로켓포를 발사하였고, 이스라엘은 가자 지구를 공습하여 94개 건물, 461개 주택과 상업지대를 파괴되었다. 어린이 66명과 250여 명의 팔레스타인인이 생명을 잃었고, 이스라엘에서는 어린이 2명을 포함하여 모두 12명이 목

숨을 잃었다. 2021년 5월 19일, 72,000명가량의 팔레스타인인이 추방당했다. 가자 지구에서 이스라엘로 대략 4,360발의 로켓이 발사되었고, 그중 680여 발은 가자 지구 내에 떨어졌으며, 인구 밀집 지역으로 발사된 90% 이상 로켓이 아이언 돔에 의해 요격되었다. 이스라엘은 가자 지구에서 공중·육지·해상을 대상으로 1,500여 회 공격하였다. 이스라엘과 하마스의 휴전 협정이 2021년 5월 21일에 조인되고 양측이 승리를 주장하며 15일간의 전투가 끝났다. [17]

나) 드론 운용

이스라엘 방위군(IDF)은 2021년 5월, 실시간 탐색과 자율 비행 등이 프로그램이 탑재되고, 듀얼 EO/IR 이미지 처리 센서가 장착되어 도시 감시와 지형 지도 제작 등의 임무가 가능한 정찰드론 ‘토르’를 15일간의 가자지구 교전에서 여러 대 운용⁵⁾하였다. 복잡한 도시 건물과 지형 속에 숨어 있는 표적을 수색하고, 위치 확인, 표적 접근과 교전 대상 선정, 전투 손실 평가 등의 임무에 운용하였다. [18]



그림 2-4. 토르 드론

Figure 2-4. Thor Drone

(출처 : 미래 국방 2030 기술 전략, 국방 기술 진흥연구소 : KRIT, 2022.)]

5) 몇 대의 ‘토르’ 드론을 군집 운용했는지에 대한 정확한 정보는 미제공.

다) 운용 사례 분석

2021년 5월에 이스라엘 방위군(IDF)이 운용한 정찰용 드론 ‘토르’는 15일간의 가자지구 교전 간 여러 대를 군집 운용하였다. 이스라엘의 뛰어난 기술력으로 실시간 데이터링크와 군용 통제 소프트웨어를 설치하고 도시작전에서 유용한 토르 드론으로 군집 운용하여 수색부터 위치 확인, 표적 접근, 전투 손실 평가 등을 빠르게 수행하였다. 이처럼 군집 드론은 정찰용으로 운용 시 넓은 전장 지역에서 동시에 신속한 정찰과 첩보 수집을 가능하게 한다.

3) 서울·강화·파주지역 북한의 드론 침투(2022년)

가) 개요

2022년 12월 26일, 북한 무인기 5대가 비무장지대(DMZ)와 군사분계선(MDL)을 넘어 5년 만에 남한 영공을 침범해 서울, 강화, 파주 상공을 오랫동안 침범했다. 특히 이 중 1대는 사전 입력된 항적에 따라 서울의 주요 정부 및 군 시설을 촬영한 것으로 밝혀졌다. 군사전문가들에 따르면, 북한은 최대 1,000대의 다양한 무인기를 보유하고 있으며, 그중에는 일방적으로 비행하는 자살형 무인기도 포함된 것으로 알려졌다.

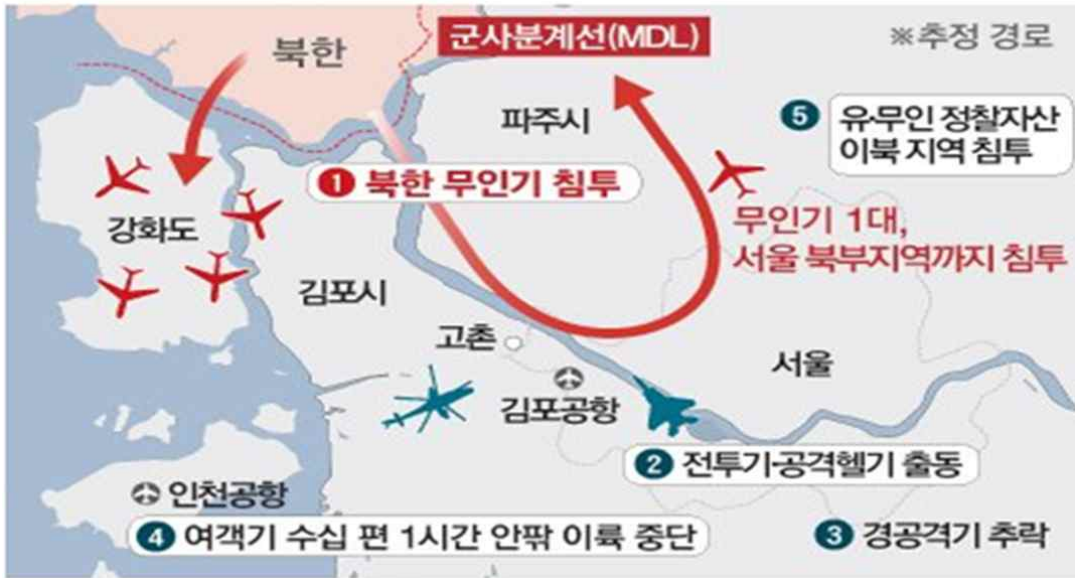


그림 2-5. 2022년 12월 북한 무인기 침투 현황

Figure 2-5. Status of North Korean drone infiltration in December 2022

(출처 : 중앙일보, “북 무인기에 뚫린 서울…군 정찰기 이북 맞출격.”, 2022.12.27.)

북한은 그림 2-5에서 보듯이 1980년대 후반에 처음으로 중국산 D-4(ASN-104)를 획득했다. 이를 바탕으로 1990년대 초반부터 방현 I, 방현 II를 자체 개발 생산해 왔으며, 중국·러시아·이란 등으로부터 관련 기술을 확보해 현재 1,000여 대를 보유하고 있는 것으로 알려졌다. 또 북한은 국제사회의 경제제재에도 불구하고 중국에서 상업용 드론을 수입해 드론 기술 개발을 지속하는 것으로 추정된다. 2022년 12월 7일 북한 평안북도 방현 공군기지에서 중국의 공격 드론 차이홍(CH-4)과 유사한 드론 위성사진이 공개돼 북한이 러시아를 이용하고 있음을 알 수 있었다. [19]



그림 2-6. 북한 주요 무인기

Figure 2-6. North Korea's major drones

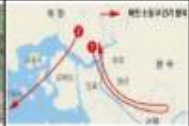
(출처: <https://www.yna.co.krviewAKR20221226112851504>, 2023.02.13))

나) 드론 운용

2022년 12월 26일 북한이 침투시킨 무인기의 날개 크기는 약 2m로, 가장 최근에 침투한 2017년 6월 9일 강원도 인제에 추락한 무인기 크기(폭 2.86m, 길이 1.85m)와 유사한 것으로 알려졌다.

아래 표 2-3은 2014년 이후 북한이 침투한 무인기 현황이다. 2017년 인제에 침투했던 무인기는 2m급으로 2014년 파주에 침투했던 무인기보다 크기와 성능이 향상되었으나 기본적으로 유사한 구조와 기능인 것으로 분석되고 있다.

표 2-3. 북한 무인기 침투 현황
Table 2-3. North Korean drone infiltration status

일시	2014.3.24	2014.3.31	2014.4.6	2014.9.15	2017.6.9	2022.12.26
발견장소	경기파주	백령도	강원삼척	백령도	강원인제	수도권
형상				파주발견 무인기 유사		
폭(m)	1.92	2.45	1.92		2.86	
길이(m)	1.43	1.83	1.22		1.85	
무게(kg)	15	12.7	15		13	
목적	청와대, 서울촬영	백령도 및 소/대청도 군사 시설 촬영	동해안 수둔 군부대 정보수집	어민 조업 중 발견. 파손 정도 심함	사드배치 성수기지 촬영	• 남남 갈등/ 대군 물신제고 • 방공작전 대비태세확인 • 무인기운용 전술개발
비고	케논카메라	니콘카메라	케논카메라		소니카메라	

(출처 : 권명국, “북한 무인기 격추 실패 원인과 대책”, Han sun Brief(통권 244호), 2023.02.03. [20])

따라서 아래 그림 2-7에서 보는 바와 같이 2022년도에 침투했던 북한의 무인기는 2014년 파주에서 발견된 북한이 기존 민간 또는 군용 드론(무인기)을 개조하여 제작한 무인기의 구성 재료 및 가격과 유사할 것으로 추정된다.



그림 2-7 파주에서 발견된 북한 무인비행기 재료와 가격

Figure 2-7. North Korean drone materials and prices discovered in Paju

(출처 : 중앙일보, '14.04.04)

다) 운용 사례 분석

북한이 드론으로 남한을 침투할 때 사용한 드론은 다음 네 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 기존 민간 또는 군용 드론을 개조하여 침투하였다. 북한 무인기는 제작비가 2천만~4천만 원 선으로 알려져 있다. 파주에서 발견한 드론은 캐논 550D 카메라에 24mm 렌즈를, 백령도 발견 드론은 니콘 D800 카메라를 달고 있었으며, 엔진은 체코제 4행정 휘발유 엔진을 사용하였다. 2022년에 발견된 드론도 이들 드론의 성능 일부를 향상했으나 기본 구조와 기능은 유사한 것으로 분석되고 있다. 화생방 물질 탐재에 관한 가능성에 관해 한

성대학교 산학협력단의 연구보고서(2019)에서는 “북한의 생화학 무기 능력은 1980년대부터 화학 무기를 생산하기 시작해 현재 신경, 수포, 혈액, 질식작용제 등 25개 종류의 화학 무기 2,500~5,000톤을 비축하고 있는 것으로 추정하며, 비축량을 모두 포탄용으로 만들면 최대 125만 발까지 만들 수 있어 서울시 면적의 4배를 오염시킬 정도로 위협적이고, 1960년대부터 탄저균과 천연두 등 생물학 무기를 연구하고 있고 예측 불가능한 살상력으로 인해 장기간 피해와 공포심을 유발할 수 있다.”라고 평가한 바 있다.” [21] 이러한 위험 물질을 여러 대의 개조된 드론에 탑재하여 인구가 밀집된 지하철, 공항, 공연장, 관람장에 침투시켜 도발한다면 그 피해는 막대할 것이다.

또한 군집으로 운용하였다. 북한은 동시에 5대의 드론으로 총 5시간 동안 남한 지역으로 침투 비행을 하였다. 4대는 한강 하구 중립 수역을 넘어 강화도 일대에서 오후에 순차적으로 포착되었다가 소실되었고, 1대는 파주 도심을 지나 서울 북쪽에서 약 3시간 동안 비행한 이후 MDL 이북으로 이탈하였다.

이뿐만 아니라 방공망이 취약한 지역으로 침투하였다. 북한은 아군의 방공망이 취약한 강화도와 서울 사이의 한강 상공을 통하여 1대를 서울지역으로 침투시켰다. 방호가 강한 곳은 회피하고 약한 부분으로 침투한 양상을 보여준 것이며, 향후 이러한 취약지역에 아군의 방공망을 더욱 촘촘하게 설치하고 대비해야 한다.

앞서 설명한 세 가지 드론 운용 방법에 더하여 인구 밀집 지역 상공으로 침투 비행하여 아군의 대응을 무력화하였다. 북한은 2014년도와 2022년도에 파주(50만 명), 서울(950만 명) 등 인구가 밀집된 도심 지역으로 무인기를 침투시키고 상공에서 수 시간 동안 비행한 후 북한으로 복귀하였다. 민간인에 관한 피해 등의 사유로 즉각적인 대응이 제한되는 공군 전투기나 헬기 또는 수백 발 이상을 쏘아서 대응하는 대공포 등의 대응책보다는 핀포인트식 정확

성을 가진 레이저포나 드론이 출격하여 그물망을 살포하는 방식 등의 실행할 수 있는 대응책 강구가 필요할 것으로 보인다.

2.1.2. 전면전 드론 전투사례

1) 이라크전쟁

가) 개요

2001년 9월 11일, 미국 뉴욕시 세계무역센터에 하이재킹을 통한 자살테러인 알카에다 주동의 9·11 사태가 발생한 후 미국은 테러와의 전쟁을 선포하고 2001년에 아프가니스탄, 2003년에 이라크를 침공하였다. 이라크 침공 사유는 이라크의 사담 후세인이 “테러는 신의 응징”이라는 공식성명을 발표하여 미국을 자극하였고, 이라크가 유엔이 금지한 대량살상무기를 개발하고 있다는 명분이었다. 이라크전쟁(2차 걸프 전쟁)은 2003년 3월 20일 미국의 이라크 침공으로, 한 달 만에 이라크 전역을 점령하며 이라크 바트당 정부가 축출되었다. 후세인 독재 세력의 지지 기반을 와해시킴으로써 그동안 유지되던 이라크 내 치안이 와해 되어 무장 세력(알카에다 이라크 지부)으로 인해 미군 수천 명이 전사 하였다. 미국이 뒤늦게 부족한 지상군을 증원하고 이라크 경찰과 군을 재건하여 미군 전사자 수가 크게 줄고 안정을 되찾아 갔으며 2011년 12월 15일 미군은 종전 선언 후 이라크에서 완전히 철수하였다. 이 전쟁으로 인해 이라크군 17,690명, 미군 4,507명, 이라크 민간인 약 11만 명이 사망하였다. [22]

나) 드론 운용

걸프 전(1991.1.17~2.28)에서는 작전에 참여한 아파치헬기 288대 중 한대만 격추되면서 적 전차 500대, 장갑차 120대 등을 파괴하는 탁월한 성과를 거두

었다. 하지만 2003년 이라크전 야간 기습작전에서 적 전차 6대와 장갑차 수
대만 파괴했지만, 아파치 헬기는 1대 격추, 나머지 34대도 대부분 화망에 얻
어맞아 겨우 격추를 면했다. 이때부터 미군은 아파치헬기 단독 침투 개념을
전환하여 공군(A-10, F-16/15 전투기)과 무인기(MQ-1C, 그레이 이글)를 아
파치 헬기와 연계하는 전술로 변화시켰으며, 이후 아파치의 효율은 더 높아졌
다. [23]

미국 육군항공대는 아파치 가디언에 MUM-T 데이터링크를 장착하여 무인
기를 조종할 수 있었으며, 이 무인기는 아파치가 침투하기에 앞서 작전지역에
대한 사전 수색 및 정찰을 할 수 있게 되었다. [24]

MQ-1C 드론(그레이 이글)은 美 육군이 헌터 MQ-5 무인기를 대체하기 위
하여 도입하게 된 RQ-1 프레데터 무인기의 개량형 무인기이며, 구형 RQ-1
프레데터는 최대이륙중량 1톤, 헬파이어 미사일 2발을 장착할 수 있었는데 그
레이 이글은 1.6톤과 4발로 각각 증가했다.



그림 2-8. MQ-1C(그레이 이글) 드론

Figure 2-8. MQ-1C (Gray Eagle)

(출처 : General Atomics 社)

다) 운용 사례 분석

2003년부터 2011년까지 이라크전쟁에서 사용된 드론은 다음의 다섯 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 유·무인기를 통합 운용하였다. 미국은 이라크전에서 아파치 헬기 작전 간 패배를 경험한 후 헬기와 공군기 또는 무인기를 연계하여 유무인 통합 운용 전술을 발전시켰다. 우리나라에 주둔 중인 주한미군 2사단도 아파치 가디언(AH-64E) 공격헬기와 2022년 2월에 한반도에 배치된 최신 그레이 이글(MQ-1C ER) 무인기를 유무인 합동작전에 활용하고 있다. [23] 최근 우크라이나와 하마스는 초보적 수준의 드론을 운용하면서도 성과를 거뒀지만, 세계의 주요국들은 고도화된 유무인 복합체계를 개발하고 있다. 미국에서는 국방부 예하 고등연구계획국(DARPA)의 주도하에 인공지능(AI) 기반의 ACE 프로젝트(공중전 시뮬레이션 프로그램)와 X-61A 그랩린 UAV(무인기) 프로그램을 진행한 바 있다. 독일·영국·중국·러시아도 유무인 복합체계 개발에 큰 노력을 하고 있다. [24] 우리나라에서도 현재 수리온(Surion) 상륙 공격헬기 기반의 유무인 복합체계와 수직이착륙 무인기 NI-500VT을 개발하고 있다.

유·무인기 통합 운용뿐만 아니라 군집으로 운용하였다. 아파치 한 대에 무인기 2~3대를 통합 운용 시 비록 넓은 작전지역에서 짧은 시간에 적의 위치와 규모를 파악할 수 있고 확인된 적을 무인기 또는 아파치 유인 헬기로 직접 타격함으로써 생존성 향상과 효과적인 타격이 가능하였다. 또한 정찰과 공격 임무를 복합 운용하였다. 무인기로 사전 정찰을 하고 필요시 무인기에 탑재된 미사일로 공격 후 아파치 헬기는 무인기를 통제하면서 필요시 직접 헬파이어 미사일 등 보유한 무장 수단을 공격용으로 운용하였다. 앞서 설명한 세 가지 드론 운용 방법에 더하여 사전 방공 위협을 제거 후 침투하는 방법을 활용하였다. 미군 제32 육군 전술 미사일 부대는 아파치 부대를 위협하는

이라크 방공부대를 향해 ATACMS 탄도미사일 26발을 발사하였고 연이어 공군의 JDAM으로 폭격하였다. 그러나 오랜 전쟁 경험을 가진 당시 이라크 방공 사령관은 항공 정찰병을 사전 배치하고, 일반 휴대전화나 민간용 무전기를 사용해 미군의 접근을 파악하여 노출된 미군 아파치헬기를 대량의 대공화기 집중사격으로 큰 피해를 줬다. [25] 비록 이 전투에서는 사전 방공 위협 제거 작전이 성공적이진 못하였지만, 미군은 본대의 공격작전 이전에 최대한 사전 파악된 적 방공망을 SEAD 사격⁶⁾으로 위협을 최소화하고, 이후 침투 시 발생하는 적의 우발공격은 포병 지원 또는 공격헬기 자체 화력으로 제압하였다.

2) 조지아전쟁

가) 개요

2008년 8월 8일, 미하일 사카슈빌리 정부에서 친서방적인 움직임을 보이기 시작한 조지아는 러시아가 지원하는 미승인국 남오세티야를 탈환하기 위해 공격하자, 남오세티야를 지지하는 러시아가 군사적으로 개입하면서 발발한 전쟁이다. 같은 해 8월 12일, 러시아의 일방적인 승리로 전쟁은 나흘 만에 끝났다.

당시 조지아의 국명은 러시아식 이름인 '조지아'로 국제적으로 알려졌고, 대한민국의 공식 표기에도 그렇게 표기되어 있었다. 그러나 전쟁이 끝난 이듬해인 2009년 조지아 외무부는 국명을 영어식 'Georgia'로 사용하도록 요청했고, 이후 'Georgia'로 불리게 됐다. 러시아는 소련 붕괴 이후 정치적, 경제적, 사회적 혼란과 국방력 약화를 겪었으나, 이는 1990년대 내내 지속되다가 2000년대 고유가 시대에 힘입어 국력을 회복하고 있었다. 남오세티야 전쟁은 동시에 러시아의 부흥을 예고했다. 이는 신냉전의 시작을 알리는 사건으로 평가된다. [26]

6) 대공제압 : Suppression of Enemy Air Defense, 적 지대공 방공 무기와 지휘 통제 체계의 기능을 저하하고 무력화 또는 파괴하는 작전. (국방과학기술용어사전, 2021.)

나) 드론 운용

2008년 8월 7일, 러시아가 남오세티야의 분리주의 지역을 곧 합병할 것이라고 확신한 조지아는 분리주의 수도인 츠хин발리를 포격한 다음 침공함으로써 파괴적인 5일간의 전쟁이 벌어졌다. 이 전쟁은 상당 부분 드론에 의해 유발되었는데, 전쟁 4개월 전 조지아와 남오세티야와 압하지야의 독립 영토에 대한 정부 간 평화 회담이 정체되자 조지아 정부는 이스라엘에서 구매한 중형 Hermes-450 드론과 Searcher MK II 드론을 사용하여 분쟁지역 상공에서 정찰하였다.

Hermes-450 드론은 전술적 장기 채공 임무를 위해 설계된 이스라엘의 무인항공기로서, 정찰, 감시, 통신 중계를 주요 임무로 하며, 지상군에 실시간 정보 데이터를 제공하였다. 탑재중량 180kg, 길이 6.1m, 날개폭 10.5m, 최대이륙중량 550kg, 비행 고도 5,500m(18,000피트), 최대속도 176km/h, 비행 가능거리 300km, 17시간 비행하며, 임무 장비는 전기광학/적외선 센서, 합성개구레이더(SAR), 지상 이동 표적표시(GMTI)를 탑재하고 있었다. 원격조종과 자율 비행이 가능하였다.

Searcher Mk II 드론은 길이 5.85m, 날개폭: 8.54m, 높이: 1.25m, 최대이륙중량 426kg, 비행 고도 6,100m(21,000피트), 최대속도 200km/h, 비행거리 120km, 18시간 비행하며, 임무 장비는 주야간 광학카메라 또는 SAR 광학카메라 System을 탑재하고 있었다.

조지아군은 러시아의 갈기아 지역에 대한 정찰 및 정보 수집을 목표로 위 두 가지 정찰드론을 운용하여 러시아의 병력, 군사 기지, 장비 및 이동 등을 모니터링하고 정보를 수집할 수 있었고 군사작전에 필요한 정보를 확보하여 군사작전을 효율적으로 지원하였다.



그림 2-9. Hermes-450 드론
Figure 2-9. Hermes-450 Drone
(출처 : Elbit 社)



그림 2-10. Searcher Mk II 드론
Figure 2-10. Searcher Mk II Drone
(출처 : IAI 社)

다) 운용 사례 분석

2008년 8월 7일부터 5일간 발생한 조지아와 러시아 간 발생한 전쟁에서 사용된 드론은 다음의 두 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 자동 항법 또는 원격조종 방식으로 운용되었다. 헤르메스 드론은 중고고도 정찰드론으로서 근거리 육안 조종이 아닌 사전에 정찰 지역을 입력하여 비행하는 자동 항법 비행이나 위성 원격조종 방식으로 운용되었다. 또한, 장거리 침투 후 정찰하였다. 조지아전쟁 4개월 전, 조지아와 남오세티야와 압하지야의 독립 영토에 대한 정부 간 평화 회담이 정체되자 조지아 정부는 이스라엘에서 구매한 중형 Hermes-450 드론을 사용하여 분쟁지역 상공에서 장거리 침투 후 정찰 임무를 수행하였다.

3) 아제르바이잔-아르메니아 전쟁

가) 개요

2020년 아르메니아-아제르바이잔 전쟁은 2020년 9월 27일부터 11월 10일까지 나고르노와 카라바흐(아르차흐)에 대한 영유권 문제를 두고 아르메니아-아르차흐 공화국과 아제르바이잔 사이에 벌어진 전쟁이다. 아제르바이잔군이 나고르노-카라바흐 서쪽에 있는 마르투니 지역을 공격하면서 양국 간의 분쟁이 발생하게 되었다. 전쟁 초반에는 전차를 앞세운 아제르바이잔 기동 공격을 아르메니아가 성공적으로 방어하면서 양측간에 팽팽한 전투가 진행되었지만, 점차 전쟁이 소모전이 되자 국력이 약하고 지원국이 없었던 아르메니아가 점차 밀리기 시작했다. 아르메니아군은 지상 위주의 제병협동 전투를 한 결과 공중의 주도권을 잃게 되면서 아제르바이잔 군이 압도적으로 전투에서 승리하게 되었다. 아제르바이잔은 공격기세를 강화하여 나고르노-카라바흐 전 지역에 대해 전면전을 선포하였고 11월 8일에 나고르노와 카라바흐의 역사 도시인 슈샤와 슈시가 아제르바이잔군에 의해 탈환되었다. 아르메니아-아르차흐 군은 수세에 몰리게 되었으며 결국 11월 10일에 아르메니아 총리가 아제르바이잔의 제안을 수용하는 항복 문서에 서명하였고, 종전을 선언하는 알리에프 아제르바이잔 대통령과 푸틴 러시아 대통령의 공동 성명이 언론에 보도 되었다. [27]

나) 드론 운용

2016년 분쟁⁷⁾ 이후, 아제르바이잔군은 튀르키예(Baykar 社)로부터 정찰 및 공격용 드론인 TB-2와 이스라엘(IsraelAerospaceIndustries 社)로부터 자폭형 드론 하롭(Harop)⁸⁾을 도입했다. 이에 반해, 아르메니아군은 지상 위주의 제병

7) 아제르바이잔-아르메니아 양국 간 2016년 4월 2일부터 5일까지 발생. 나고르노-카라바흐 지역은 국제법상론 아제르바이잔에 속하지만, 아르메니아가 실효 지배를 하고 있다. 이 나홀 전투에서 미국과 이스라엘의 지원을 받은 아제르바이잔군은 아르메니아군에게 상당한 타격을 입혔으나 시리아에서 IS 격퇴전에 집중하고 있던 미국, EU, 러시아 등의 국제사회는 지정학적으로 민감한 코카서스 지역의 분쟁이 증폭되는 것을 원치 않았다. 결국 양측의 충돌은 소규모 전투로 종결됐고, 이전과 같이 현상 유지되었다. (조상근, “아르메니아-아제르바이잔 전쟁의 드론 전투“, 조선일보, 2020.12.10. / 경향신문, “아르메니아-아제르바이잔, 무력 충돌...최소 59명 사망“, 2020.09.28)

8) 하롭 드론 : 길이 2.5m, 날개폭 3m, 체공 6시간, 무장량 230kg, 운용고도 6,000m, 작전반경 150km, 이륙 수단-발사대 사출, 타입 1-레이다를 찾아가는 안티 레이더 모드, 타입 2-항공기 전

협동 전투를 준비하여 공중 영역을 활용한 상대의 드론 전투를 예상하지 못하고 보전 협동 전투에 대비했으나 아제르바이잔군의 TB-2를 포함한 정찰드론에 의해 모두 정찰되었다. 아제르바이잔군은 드론 도입뿐만이 아니라 정찰드론과 정밀화력 체계가 연계된 2016년 전투사례를 분석한 교훈을 도출했고, 정찰드론으로 획득한 표적정보를 다 영역 네트워크를 통해 공지 정밀화력 체계와 실시간 연계하여 타격하는 ‘선견·선결·선타’의 전투개념을 받아들였다. 이렇게 내실 있게 무기체계와 전술을 발전시켜 온 결과 2020년 9월, 양국 간 전투에서 아제르바이잔군은 공격 드론을 운용하면서 공세적으로 전투를 수행하였고, 드론이 전투하는 장면들을 SNS로 실시간 전파하여 상대방을 심리적으로 위축시키는 심리전을 전개하기도 하였다. [28]



그림 2-11. TB-2(바이락타르) 드론
Figure 2-11. TB-2(Bayraktar) Drone
(출처 : 바이락타르 社)

이처럼 아제르바이잔군은 2016년의 아르메니아를 상대로 승리한 전투 경험과 튀르키예의 전투하는 방법을 적용하여 드론을 전투의 주요 수단으로 운용

자광학센서 도움을 받아 원격조정 하여 표적 타격.

하는 드론 기동전을 발전시켜 놀라운 성과를 거두게 되었다. 즉, 2020년 9월부터 11월까지 TB-2 바이락타르 드론이 24일 동안 아르메니아군 기동장비(장갑차 43대, 전차 114대), 화력장비(140여 대), 방공장비(40여 대) 등 총 630여 대를 파괴 또는 무력화시켰다. 여기에 하룻 드론의 성과까지 추가하면 아르메니아군이 입은 피해는 궤멸적인 수준에 이른 것으로 보인다. [29]

다) 운용 사례 분석

2020년 9월 27일부터 11월 10일까지 아르메니아와 아제르바이잔 전쟁에 사용한 드론은 다음의 세 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 정찰과 공격 두 가지 임무를 복합하여 운용하였다. 아제르바이잔군이 운용한 튀르키예에서 도입한 바이락타르(TB-2) 드론은 정찰뿐만 아니라 획득한 표적에 대해서 공격까지 두 임무를 복합하여 운용하였다. 또한, 헤르메스 정찰기로 적 상황을 먼저 파악 후 AN-2기를 기만기로 운영하여 적 방공망이 공격하도록 유도하는 기만전술을 구사하였으며, 아제르바이잔군은 식별된 아르메니아군의 방공망을 무력화한 후 주전력 공격 드론을 제과식으로 투입하였다. 앞서 설명한 두 가지 드론 운용 방법에 더하여 정찰드론으로 확인한 적 방공 위협을 먼저 정밀화력 체계(포병, 미사일 등)와 연계하여 최대한 무력화한 후 침투 공격을 함으로써 생존성이 향상되고 효율적인 전투를 수행할 수 있었다.

4) 우크라이나-러시아 전쟁

가) 개요

전쟁 이전에 러시아는 2021년 10월부터 약 13만 명의 병력을 집결시켰고, 우크라이나도 군대를 소집하고 국경에 배치시켜 전쟁 준비를 하고 있었다. 2022년 2월 21일 러시아는 동부 우크라이나의 돈바스 지역에 군대를 진주시켰고, 러시아 푸틴 대통령은 “우크라이나의 비무장, 돈바스 지역 내 러시아인

보호, 우크라이나의 북대서양 조약 기구·유럽 연합 가입 저지 및 중립 유지”를 목표로 한다는 ‘특별 군사작전’ 개시를 선언하였다. 이후 3일 뒤인 2월 24일에 러시아의 우크라이나 침공이 시작되어 현재까지 전쟁이 진행되고 있다. [30]

나) 드론 운용

2022년 2월 24일, 러시아는 전면적인 침공을 개시한 이후 우크라이나 키이우(Kyiv) 지역에 64km로 늘어섰던 러시아 군의 긴 전차 행렬을 우크라이나 드론 특수부대가 멈춰 세웠다. 우크라이나의 ‘아에로로즈비드카’ 민간 드론 특수부대는 야간투시경으로 러시아군의 목표물을 식별 후 직접 제작한 공격용 드론을 운용하여 정확하게 목표물을 타격하였다. [28] 우크라이나의 인구는 4,400만 명, 군사력은 세계 22위(정규군 25만 명, 예비군 20만 명)에 불과하지만 세계 2위 강군인 러시아를 상대하여 선전하는 요인 중의 하나는 ‘공중 정찰’의 의미인 ‘아에로로즈비드카(Aerorozvidka)’로 불리는 드론 민간 특수부대를 보유했기 때문이라고 평가받고 있다. 이들은 2014년 돈바스 전쟁 이후 우크라이나 특수작전부대와 민간 드론 전문가들 30여 명으로 구성되어 작전을 수행했다. [31]

■ 우크라이나의 공격 사례

우크라이나가 드론을 활용하여 러시아를 공격한 사례는 감시정찰, 장거리 공격, 탱크 파괴가 있으며, 각 사례의 세부 내용은 다음과 같다.

첫째 사례로서 TB-2 드론으로 정찰감시와 정밀타격을 복합하여 운용하였다.

2014년 돈바스 전쟁 시 우크라이나군은 은폐하에 기동하는 러시아군 대대 전술단(Battalion Tactical Group, BTG)들의 움직임을 실시간 추적할 수 없어서 양국 국경 일대와 친러시아 분리주의자들이 점령한 지역을 효과적으로 감시할 수 없었다. 도발 원점에 대한 정밀타격을 위해 2019년에 튀르키예로부터

TB-2 드론 공군 12대와 해군 5대를 도입하였다. 최초에는 감시 임무만 수행했지만 2020년 아르메니아-아제르바이잔 전쟁 간 아제르바이잔군의 드론 전투를 벤치마킹하여 우크라이나군도 TB-2를 공격 임무로도 운용하였다. [31]

둘째 사례로 우크라이나에서 러시아 본토 450km의 원거리에 있는 공군기지를 드론으로 공격하였다.

우크라이나군이 2022년 12월 5일 국경에서 450km 이상 떨어진 러시아 중서부 다길레보와 엔겔스 공군기지를 드론으로 공격했다. 이는 지난 2022년 2월 러시아의 침공 이후 적진 가장 깊숙한 지역에 드론 공격을 시도한 것이다. 우크라이나가 사용한 드론은 소련 시절 개발된 ‘Tu-141’이며, 이를 개조한 우크라이나 방산 산업의 역량을 과시한 사례이며, 드론 공격으로 러시아의 내부 깊숙한 지역까지도 공격할 수 있다는 것을 보여주었다. [32]

셋째 사례로 우크라이나의 자체 개발 ‘홈메이드 드론’(R-18)으로 러시아 45억짜리 탱크를 파괴하였다.

영국 데일리메일에 따르면 2022년 5월 11일, 우크라이나군 드론 특수부대 아에로로즈비드카는 R-18 드론으로 폭탄 2발을 떨어뜨려 러시아군의 탱크를 파괴했다. 아에로로즈비드카는 당시 “최전선 남쪽에서 러시아군 탱크 T-90을 파괴했는데 탱크 가격은 250만~350만 달러(약 32억~45억 원) 사이”라고 밝혔다. 아에로로즈비드카는 해외에서 지원해 준 드론 부품과 자금으로 자체 제작 드론 R-18과 대전차 로켓포 개량 탄을 집에서 만드는 모습을 페이스북에 공개한 바 있다. 미하일로 고르벤코 아에로로즈비드카 대변인은 2022년 5월 4일 영국 미러와의 인터뷰에서 “우리가 만든 R-18이라는 드론은 대당 가격이 10만 파운드(약 1억 5,700만 원)도 안 된다. 수십만 달러나 하는 군용 드론을 미국 등 해외에서 구매하는 것보다 훨씬 저렴하다. R-18은 구소련제 대전차 로켓포탄을 개량해 목표물에 투하하고 있으며, 포탄의 단가는 최대 500달러

(약 65만 원)이다.”라고 말했다. R-18은 블레이드가 8개인 옥토크터형이며, 최대 5kg의 폭탄을 장착할 수 있고, 40분간 비행할 수 있다. [33]

■ 러시아의 공격 사례

2022년 10월 17일, 우크라이나 수도 키이우를 러시아군이 자폭 드론 ‘샤헤드-136’ 28대로 공격하였고, 우크라이나는 여러 대를 격추했으나 5대가 지상에, 1대는 아파트에 떨어졌다. 러시아군이 사용한 이란제 자폭 드론인 ‘샤헤드-136’은 탄두가 있고, 목표물을 타격하면서 자폭하기 때문에 마치 태평양전쟁 당시 일본군이 미군의 전함을 상대로 했던 항공기 자살 공격에 빗대어 ‘가미카제 드론’으로도 불린다. 샤헤드-136 가격은 2만 달러(2,700만 원) 수준으로 한 발 발사하는 데 수십만~수백만 달러의 미사일에 비하면 매우 저렴하고, 비행가능 거리는 2천km이다. 비행할 때 굉음이 나고 눈에 잘 보이기 때문에 격추될 위험성은 크지만, 여러 대를 동시에 날리면 모두 격추하기가 쉽지 않다. [34]



그림 2-12. 샤헤드-136 드론
Figure 2-12. Shahed-136 Drone
(출처 : 이란 국방부)

다) 운용 사례 분석

우크라이나-러시아 전쟁에 사용한 드론은 다음의 다섯 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 목표 인근지역으로 이동 후 무장 드론 또는 자폭 드론으로 공격하였다. 우크라이나 드론 민간 특수부대가 야간에 주로 이동하는 러시아 부대를 타격하기 위해서 민간 차량이나 4륜 ATV(All Terrain Vehicle)를 이용하여 공격 목표 인근지역으로 이동한 후 드론을 띄워 공격하였다. 드론 민간 특수부대는 주민 또는 자체 정찰드론을 통해 적 위치와 규모를 확인하고, 차량 또는 도보로 지상 침투한 후 무장 드론 또는 자폭 드론으로 적을 타격하였다. 또한 정찰과 공격 임무를 복합하여 운용하였다. 우크라이나는 TB-2 드론을 활용하여 최초에는 감시 임무만 수행했지만 2020년 아르메니아-아제르바이잔 전쟁에서 아제르바이잔군의 드론 기동전을 보면서 공격 임무까지 수행하였다. TB-2 정찰 및 공격용 드론은 국지 전투 시 ‘Sensor to Shooter’ 기능을 발휘하여 전술적 우위를 가질 수 있었고, 병력으로는 감당할 수 없는 광범위한 지역에 대한 효과적인 정찰감시와 유효 표적에 대해 정밀타격을 하여 많은 전과를 올렸다. TB-2 드론은 우크라이나-러시아 드론 전쟁 초기에 가장 효과적으로 사용된 장비로 평가되고 있다. [31] 정찰-공격을 복합하여 운용한 것뿐만이 아니라 장거리 비행 드론으로 공군기지 등 적의 전략적 자산을 원거리 기습공격하였다. 2022년 10월 17일 러시아군이 이란제 자폭 드론 샤헤드-136 드론으로 우크라이나 수도 키이우를 장거리 기습공격한 사례와 2022년 12월 5일 우크라이나군이 450km 이상 떨어진 러시아 님레보와 엔겔스 공군기지를 드론 공격한 사례와 같이 드론이 단거리 근접전투뿐만 아니라 약 500km의 장거리 공격을 하였다. 이러한 장거리 기습공격의 효과는 적 후방에 있는 공군기지·중요시설 등 전략적 목표를 불시 기습타격함으로써 물리적인 피해뿐만 아니라 적국의 국민들로 하여금 불안과 공포를 가져다주는 심

리전에서도 우위를 점할 수 있다. 또한 민간 상용 드론을 개조하고 무장하여 운용하였다. 우크라이나의 드론 민간 특수부대는 해외에서 지원받은 드론 부품과 자금으로 민간 드론을 개조하여 자체 제작한 R-18 드론에 자체적으로 개조한 대전차 로켓포 개량 탄으로 무장하여 러시아군의 탱크를 파괴하였다. R-18 드론은 블레이드가 8개인 옥토크터형이며, 40분간 비행할 수 있다. 러시아군 탱크 T-90이 약 32억~45억 원(250만~350만 달러)지만 R-18 드론은 대당 10만 파운드(약 1억 5천7백만 원) 로서 가성비가 뛰어나고 또 정확성도 좋다. 또한 우크라이나는 장거리 공군기지 침투 공격 시 Tu-141이라는 소련 시절 개발된 드론을 개조하여 사용하기도 하였다. 드론의 종류가 다양하고 드론 기술이 발전함에 따라 이러한 종류의 개조 드론이 앞으로도 더 많이 발전되고 운용될 것으로 전망한다. 앞서 설명한 네 가지 드론 운용 방법에 더하여 단거리 목표물을 정찰 / 공격하였다. 우크라이나군은 자체 개발한 R-18 드론과 TB-2 드론 등을 활용하여 근접전투 지역에 있는 전차나 장갑차 등 단거리 목표물에 대해 정찰하고 공격을 하여 많은 전과를 올렸다. 이러한 단거리 목표물 기습공격은 획득한 표적을 실시간으로 신속하게 파괴할 수 있고, 미사일 등에 비해 가성비도 좋으므로 향후 전장에서도 지속 운용될 것으로 전망한다.

5) 이스라엘 -하마스 전쟁

가) 개요

2023년 10월 7일 오전 6시 30분, 이스라엘이 정보 수집 및 전투준비에서 방심한 취약 시간에 팔레스타인 무장 정파 하마스(알 카삼 여단)가 이스라엘 남부에 2,500발 이상의 로켓을 발사하였다. 이어 1,500여 명의 무장대원들이 다양한 방식으로 분리 장벽을 넘는 ‘알아크사 홍수’ 작전을 기습적으로 개시했

다. 또한 하마스 대원들은 이스라엘 22개 마을과 군 기지, 심지어 음악 축제 현장에도 공격을 가해 이스라엘 민간인 포함 1,000여 명이 사망하는 등 5시간 이상 무법천지 상태였다. 하마스에게 기습 공격을 당한 이스라엘은 ‘강력한 복수’를 천명하며 10월 8일에 공식적으로 전쟁에 진입했음을 선언했다. 하마스의 기습공격에 대응해 동원령을 선포해 총 30만 명의 예비군을 소집했으며, 항공편 추가배정 등의 조치로 36만 명으로 예비군 병력이 증가한 것으로 보도되고 있다. [35]

나) 드론 운용

■ 하마스의 공격 사례

이스라엘과 전쟁을 벌이고 있는 팔레스타인 무장 정파 하마스는 9년 전 이스라엘의 팔레스타인 가자지구 침공 때보다 더욱 강력한 화력을 보유하였다. 하마스는 폭발물을 장착한 무인기(드론), 대전차미사일, 고위력 로켓으로 가자 지구에 투입된 이스라엘의 지상군에 맞서 싸웠으며, 드론은 하마스의 주력 무기 가운데 하나로 꼽혔다.

하마스는 이스라엘군을 겨냥해 드론에서 폭탄을 투하하는 영상을 공개했다. 이란 디자인을 따라 ‘아바 빌’이라고 불리는 드론을 만들었고, 공격 기회를 잡을 때까지 상공을 떠다니는 이른바 ‘배회’ (loitering) 기능을 갖춘 자폭 드론 ‘주아리’라는 독자적인 드론도 생산했다. 하마스는 폭탄을 실은 주아리 드론으로 이스라엘 북부 세바 농장에 있는 이스라엘군 지휘부를 공격했다고 공식 발표한 바 있다. [36]



그림 2-13. 아바빌-2 드론
Figure 2-13. Ababil-2 drone

(출처: https://ko.wikipedia.org/wiki/HESA_%EC%95%84%EB%B0%94%EB%B9%8C [37])

가자지구 북부 하마스 근거지에 진입한 이스라엘 지상군에 맞서서 하마스 무장대원들은 자체 개조한 드론(DJI사 드론으로 추정)으로 이스라엘군 탱크와 병사들을 목표로 충격신관과 꼬리날개가 달린 사제유탄을 머리 위로 떨어뜨려 피해를 주었다. 사전 이스라엘의 지휘통신망과 무인 감시 침탐(RCWS 부착) 파괴로 지휘체계를 와해시켜 전방 지역 상황을 5시간이나 인식하지 못하도록 하였다.

■ 이스라엘의 공격 사례

이스라엘은 지상군 투입에 앞서 다양한 유형의 드론을 운용하였다. 가자지구에서 운용하는 드론은 어른 주먹 크기의 소형부터 휴대용 가스레인지만 한 대형 크기까지 다양하였다. 이 드론들이 가자지구 건물의 출입문과 창문을 통해 내부에 진입하여 사람 대신 수색 작전을 수행하였다. 드론에 탑재된 전자

광학과 열 영상 카메라를 통해 촬영한 영상은 후방 드론 통제소로 실시간 전송되었다. 가자지구 수색 작전에 투입된 모델은 ‘엑스텐더(X tender)’와 ‘로템-L’이었다. [38]

이스라엘 국방부 협력업체인 스카이로드 엑스텐더(Skylord X tender) 社가 제작한 이 소형드론은 이스라엘 특수부대가 정찰용으로 사용하는데 소음이 작고 건물을 세밀하게 수색할 수 있다. 자율 비행 기능과 인공지능(AI) 소프트웨어가 탑재되어 있어서 지하에서 통신이 끊기는 상황을 최소화하여 준다. 탐색한 실내 모습을 지도 제작(mapping) 후 해당 정보를 사용자에게 전송할 수 있다. 건물 내부나 지하 시설에 무장한 적을 확인하여 정밀유도폭탄으로 공격하거나 아니면 다른 자폭 드론으로 소탕할 수 있는 등 근거리 전투(CQB:Close Quarters Battle), 대 드론(C-UAS), 매설 폭발물 탐지(C-IED), 지하 전투(Sub-T) 등 시가전에 최적화돼 있다. 또한 적군이 매복했거나 몰래 매설된 폭발물이 있는 환경에서 아군의 생명을 보호하면서 건물 사이를 뚫고 지나가려고 할 때 드론 조종자가 3D 비디오와 내비게이션, 인공지능 등을 활용해 건물과 지하 터널에서 사물을 인식하여 충돌을 피할 수 있고, 150g짜리 소형 폭발물을 장착하여 잠긴 문을 폭파하고 스스로 위험을 탐지해서 파손을 피할 수 있다. 네 개의 날개가 날린 이 소형드론은 지상에서 30cm 높이에서 비행하면서 건물은 물론 일반적인 벽돌 크기의 조그만 구멍 사이로 오갈 수 있고, 비행시간은 약 10분이다. 비행 경험이 없는 사람도 단지 몇 분만 훈련 받으면 최신예 드론을 실내에서 조정할 수 있을 정도로 조작도 쉽다. [39]

영국 이코노미스트 인터뷰에서 이스라엘 드론 제작자들은 “또 다른 대형 드론 ‘울버린’이 엑스텐더의 10배 넘는 폭탄을 탑재하고, 인명 구조를 위한 ‘투과형 탐지 레이더’, 물체를 집어 올리는 ‘집게발’까지 갖췄다”라며 “이 모델들이 모두 현재 가자 전쟁에 투입돼 있다”라고 말했다. [40]



그림 2-14. 엑스텐더 드론
Figure 2-14. X tender drone
(사진 출처 : jns 웹사이트)

가자지구 수색 작전에 투입된 엑스텐더(X tender) 社의 소형 무인 드론과 함께 운용된 ‘로템-L(Rotem-L)’ 드론의 중형무진 활약으로 제거된 주요 인물에는 하마스의 최고 의사결정기구 ‘정치국’ 위원이자 내무장관인 자카리아 아부 마아마르, 경제장관 조아드 아부 슈말라, 항공 시스템 책임자인 무라드 아부 무라드가 드론 추적에 걸려 사살되었다. 이번에 이스라엘 공격을 총지휘했던 하마스 무장 조직인 알 카삼여단의 사령관 모하메드 데이프는 공습으로 일가족을 모두 잃었고 홀로 목숨을 건져 탈출했다. 이스라엘 IAI사가 만든 ‘로템-L(Rotem-L)’ 드론은 한국 육군특수전사령부가 ‘참수 작전’ 용도로 소량 구매해 사용하는 효과적인 시가전 전용 드론이다. 전체 중량 6kg이 되지 않으며 전자광학·열 영상 카메라를 탑재하고, 1kg 폭발물도 설치할 수 있다. 45분간 비행하면서 배회 비행 중에 발견한 적 목표물에 충돌하여 큰 피해를 줄 수 있다. [40]



그림 2-15. Rotem L(Light) 드론
Figure 2-15. Rotem L(Light) Drone

(출처 : IAI 社)

이스라엘군은 길이 총 500km, 약 1,300개로 추정하는 가자지구의 하마스 지하 터널 망 지도 작성에 AI 기술을 이용하였다. 이번 전쟁 이전에는 촬영한 이미지를 지상으로 전송 시 통신 문제로 인해 지하에서 운용할 수 없었으나, AI 기술의 도움으로 이제는 지하에서도 운용이 가능해 졌다. 통신이 닿는 한 최대한 원거리까지 터널 안으로 들어가서 터널 지형을 파악했다. 사람이 이 터널 지도를 만들려면, 많은 시간이 소요되고, 지하에 숨어 있던 하마스 병력의 공격이나 부비트랩으로 상당한 피해를 당할 수 있었다. 이에 이스라엘군은 이스라엘 로봇 기업회사인 로보티칸(Robotican)이 개발한 AI 기술 탑재 드론을 활용하여 사람을 대신해서 터널 지형을 파악하고, 드론이 촬영한 이미지를 지상으로 전송하여 이를 토대로 터널 지도를 작성하였다. [41]

로보티칸이 개발한 루스터(Rooster) 드론은 바퀴가 달린 구조이며, 장애물을 만나면 점프할 수 있고, 창문을 통해 비행할 수도 있다. 지상과 공중을 이동할 수 있도록 제작된 무인 정찰 시스템이다. 하가이 발샤이 로보티칸 CEO는 "우리의 목표는 적들이 설치한 함정과 위험을 발견하기 위해 병력보다 먼

저 들어가는 것이며, 이 로봇은 도심역과 지하 작전의 전투 특성을 가지고 있다”고 말했다. [42]



그림 2-16. 루스터 드론
Figure 2-16. Rooster Drone
(출처 : 로보티칸 社)

다) 운용 사례 분석

이스라엘-하마스 전쟁에 사용한 드론은 다음의 네 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 저렴해진 드론의 활용성이 증가하고 있다. 유명한 과학잡지인 MIT(매사추세츠 공대) 테크놀로지 리뷰는 “지난 수십 년 동안 미군의 프레더터 같은 전투기 수준의 고급 드론이 드론 전쟁을 지배했지만, 우크라이나 전쟁 이후 저가형 모델이 군사작전의 주류가 됐다”라고 지적했다. 월스트리트저널이 “우크라이나 전쟁과 홍해의 후티 반군 공격에서 보듯 드론은 전쟁을 더 빠르고, 값싸게, 스마트하게 만든다. 저렴해진 드론의 활용성이 커지며 대규모 군대와 소규모 군대 간의 차이가 줄어들고 전쟁의 방식이 바뀌고 있다”라고 논평하였듯이 저렴해진 드론의 활용성이 증가하고 있다. 이뿐만 아니라 도시

작전에서 근거리 전투 등에 효과적으로 운용되었다. 가자지구 수색 작전에 투입된 엑스텐더(Skylord X tender) 社의 소형 무인 드론과 ‘로템-L(Rotem-L)’ 드론의 시가전 활약으로 이스라엘은 하마스의 여러 고위 지도자와 군 지휘관들을 성공적으로 제거하였다. 이러한 드론은 건물 내부의 적 탐색 등 근거리 전투(CQB:Close Quarters Battle), 대 드론(C-UAS), 매설 폭발물 탐지(C-IED), 지하상가 등 지하 전투(Sub-T) 등 시가전에 최적화되어 있다. 앞서 설명한 두 가지 방법에 더하여 지하 작전에서 적군 탐지, 지하지도 작성 등에 활용되었다. 이스라엘 로봇티칸 社의 반자율 드론인 ‘루스터’ 드론은 길이 총 500km(1천300개)로 추정하는 가자지구의 하마스 지하 터널 망 지도 작성을 과거에는 촬영 이미지를 지상으로 전송하는 통신 문제로 인해 지하에서 운용할 수 없었다. 그러나 지하에서도 운용할 수 있도록 개발한 AI 기술을 탑재하여 사람 대신 이리저리로 돌아다니면서 터널 지형을 파악하고, 드론이 촬영한 이미지를 지상으로 전송하여 이를 토대로 터널 지도를 작성하였다. 또한 타 무기체계(포병, 미사일, 공군 등)와 연동 운용하였다. 이스라엘은 하마스가 기습한 그다음 날인 10월 8일에 소형드론을 가자지구에 투입하여 가자지구 내부 하마스 병력 배치와 이동 상황, 민간인들의 거주 여부 등을 파악하였다. 그런 이후 드론 정찰 임무의 주축 부대인 이스라엘군 최정예 사이렛 매트칼(Sayeret Matkal), 제5515 부대(Unit 5515), 해군 사이렛 13 (Sayeret 13) 등과 연계하여 가자지구 전역에 숨어 있는 하마스 비밀 시설과 요인을 찾아내 철저히 파괴하였고 주민 속에 숨은 하마스 고위 간부를 효과적으로 제거하였다. 또한 이스라엘 특수부대가 정찰용으로 사용하는 엑스텐더 드론을 운용하여 건물 내부 또는 지하 시설에 무장한 적이 있는지 확인한 후 정밀유도폭탄 공격, 또는 다른 자폭 드론을 보내 소탕하였다. 하마스가 가자지구에 구축한 많은 비밀 군사 시설도 파괴하였다. 이스라엘군은 좁은 골목과 건물을 고해상도

광학·열 영상 카메라 장착 드론을 운용하여 이 잡듯이 뒤져서 2014년 이후 거의 업데이트되지 않은 가자지구 지하 터널 네트워크에 대한 정보를 수집하여 하마스의 비밀 땅굴 입구를 찾아내 발견하는 즉시 2천 파운드의 대형 폭탄으로 폭격해서 땅굴 자체를 무너뜨렸다. [43]

2.1.3. 드론 테러 사례

개인과 소규모 그룹이 드론을 테러의 도구로 사용하는 것은 이미 오래전부터 발생하여 왔다. 현재에도 헤즈볼라와 예멘의 후티 반군, 시리아의 ISIS가 드론을 사용해 감시와 정찰을 수행하는 것 외에도 상대방 군사 기지에 수류탄을 투하하는 등 공격적인 행동을 수행하고 있다. 그뿐만 아니라 베네수엘라 수도에서 열린 공개 야외 행사에서 드론이 대통령에게 가까이 접근할 수 있었다는 사실은 드론이 얼마나 사용하기 쉽게 방어하기가 어려운지를 말해준다. [44]

본 절에서는 총 6개의 테러 사례를 대인 테러 2개, 시설물 테러 4개로 구분하여 분석하겠다.

1) 대인 테러

가) 베네수엘라 대통령 드론 테러(2018년)

■ 테러 개요

2018년 8월 4일, 베네수엘라 마두로 대통령이 수도 카라카스에서 열린 국가 방위군 창설 81주년 행사에서 연설하던 도중 인근 상공에서 몇 차례의 폭발이 있었으며 이는 폭발물 장착 드론인 것으로 밝혀졌다. 중국 DJI사의 Matrix-600 드론 2대에 각각 1kg의 폭발물이 장착되었고, 반경 50m까지 폭

발력이 미쳤으며, 드론으로 국가원수를 암살하려는 역사상 첫 사건이었다.



그림 2-17. Matrix-600 드론
Figure 2-17. Matrix-600 Drone

(출처 : DJI 社)

■ 운용 사례 분석

베네수엘라 대통령 드론 테러에 사용한 드론은 민간 드론을 개조 및 무장하여 침투하는 양상을 보였다. 사용된 드론은 중국 DJI 社 민간 드론 Matrix-600 이며, 폭발물로 사용된 것은 C-4(Composition 4)로 중요시설을 파괴할 때 사용되는 군용 플라스틱 폭약으로 밝혀졌다. Matrix-600 드론은 우리나라에서도 많이 판매되어 교육용·농약 살포용으로 사용되고 있으며, 가격은 600만 원, 5km 밖에서도 무선조종이 가능하다. 카메라 장착 등 다목적으로 활용할 수 있으며, 블루투스나 와이파이를 쓸 때 사용하는 ISM (Industry Scientific Medical) 밴드 주파수 대역에서 사용할 수 있어 테러용으로 사용될 수 있다. 이처럼 민간 드론을 개조하여 폭탄 등 무장을 장착한 후 예상하지 못하는 시간과 경로로 침투 운용할 수 있음을 보여준 사례이다.

나) 미국, 이란의 솔레이마니 국방부 장관 드론 공격으로 제거(2020년)

■ 테러 개요

2020년 1월 3일, 이란의 혁명수비대 쿠드스군 사령관인 카셈 솔레이마니(Qasem Soleimani)⁹⁾와 그의 부하 등 10명을 미국의 MQ-9 무인공격기(Reaper, 저승사자)가 미사일을 발사하여 살해했다. 당시 솔레이마니는 레바논 혹은 시리아에서 바그다드에 도착하였고, 이란 지원을 받는 민병대 관계자들과 두 대의 차를 타고 바그다드 공항을 떠나던 중 드론 공격을 받았다. [45]



그림 2-18. MQ-9(리퍼) 드론
Figure 2-18. MQ-9(Reaper) Drone
(출처 : BBC News)

■ 운용 사례 분석

미국이 이란의 솔레이마니 국방부 장관을 드론 공격으로 제거한 사례는 다음 두 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 중·고 고도¹⁰⁾로 장기 체공 후

9) 솔레이마니(62세)는 이란에서 최고 지도자 아야톨라 알리 하메네이에 이어 두 번째로 영향력 있는 인물로, 21년간 이란의 혁명수비대 정예군인 쿠드스군을 이끌었던 영웅 대우를 받는 사령관이였다.

10) 무인항공기 운용고도에 따른 분류는 매우 다양한데 본 논문에서는 서일수·김용우(2021)가 제시한 저고도(150m)에서 성층권(50,000m)까지 5단계 분류를 제시한다. 이것은 미국 및 NATO 기준과 국내 KSW9000을 준용하여 정립한 것으로 초저고도는 0.15km 이하, 저고도는 1.5~6km, 중고도는 6~13.7km, 고고도는 13.7~17km, 성층권은 17~50km이다.(서일수·김용우, “드론봇 전투체계 발전 방안

운용하였다.

조선비즈 기사(2020. 1. 23)에 의하면 솔레이마니 제거 작전 시 리퍼 드론은 미국에서 위성 원격조종으로 이라크 바그다드 공항 상공에서 채공하다가 솔레이마니가 탑승한 두 대의 차량이 바그다드 공항을 떠날 때를 포착하여 화물 구역 근처에서 드론에 탑재된 여러 발의 미사일 공격으로 제거에 성공하였다. 이처럼 중·고 고도에서 장기 채공 후 기습공격을 할 수 있는 미군의 주요 드론에는 Predator(RQ-1B), Gray Eagle(RQ-1C) 등이 있으며 고도 약 7천~8천 미터 상공에서 약 20시간의 채공이 가능하다. 또한 현지 조종이 아닌 위성을 이용한 원격조종 방식으로 운용하였다. 드론 조종이 현지가 아닌 12,000km 거리에 있는 미국 서부 네바다주의 공군기지 안에 있는 조종실에서 이루어진 것이다. 미국 본토의 공군기지 조종실에서 명령 신호를 보내면 인공 위성을 통해 드론에 전달되는 원리로서, 리퍼 드론은 미국이 2001년부터 개발하여 활용 중이며 최대 15,000m 고도에서 28시간 장기 채공이 가능하다. 인공 위성에서 사용하는 광학카메라를 부착하고, 미사일과 폭탄을 장착하여 식별된 목표에 대해 정확하게 타격작전을 수행할 수 있다.

2) 시설물 테러

가) 사우디아라비아 유전 테러(2019년)

■ 테러 개요

2019년 9월 14일 오전 4시경, 사우디아라비아 아브카이크 석유단지와 쿠라이스 유전에 여러 대의 드론이 접근하여 순식간에 폭탄을 투하하여 불바다로 만들었다. 이 두 곳의 유전이 불 가동됨에 따라 세계 석유 공급량의 5%를 차지하는 하루 570만 배럴의 원유 생산이 중단되었다. 드론 공격의 주체임을 주

연구”, 한국 드론 혁신협회, 2021.)

장하는 예멘의 후티 반군¹¹⁾은 앞서 2018년 7월에도 사우디 국영 정유회사 아람코의 정유시설을 공격하였다. 후티 반군이 보유하고 있는 것으로 알려진 삼마드-1이라는 드론에 대해 한 군 관계자는 “같은 성능으로 무인기를 제작하는데 2천만 원도 넘지 않는 것으로 추산한다”라고 말했다. 후티 반군이 이번 아브카이크 생산시설 공격에 드론 10대를 동원했다고 알려졌다. 드론 10대(약 2억 원)를 투입하여 시행한 후티 반군의 공격과 1년에 국방예산 68조 원(세계 3위, 676억 달러)을 쓰는 사우디아라비아를 비교해 보면 3만 4,000배의 가성비를 보인다. 한편 아브카이크 단지가 예멘 국경에서 800km 떨어져 있어서 장거리를 날아갈 수 있는 고성능 드론을 사용한 것이라는 분석이 있다. 2019년 1월, 유엔은 후티 반군이 1천5백km의 비행 성능을 가진 ‘UAV-X’라는 드론을 보유하고 있다는 보고서를 낸 바가 있다. 미국 정보기관은 이란이 드론 전문 정비사들을 예멘에 파견하여 훈련을 시켜 왔고, 반전단체 팩스(PAX, 네덜란드에 소재) 또한 “고성능 드론을 저렴한 비용으로 생산하는 후티 반군의 기술력이 갈수록 좋아지고 있다”라고 후티 반군의 드론 기술력과 운용 능력이 점차 증가함에 대해 밝힌 바 있다. [46]

11) 후티 반군은 예멘의 무장 단체로 2004년부터 예멘 정부를 상대로 내전을 벌였으며 2015년 수도 사나를 장악하고 예멘 정부를 지방으로 밀어낸 이후 실질적인 통치 세력으로 자리 잡았다. 이슬람 종파 중에서 소수파인 시아파에 속하고, 시아파의 맹주로 알려진 이란으로부터 막대한 지원을 받고 있다.



그림 2-19. 삼마드-1 드론

Figure 2-19. Sammad-1 Drone

(출처 : 한국경제신문, '드론 테러' 현실이 되다...1대에 3~4
폭탄으로 핵심 시설 타격, 2019.09.16.)

■ 운용 사례 분석

사우디아라비아 유전 테러 시에 사용한 드론은 다음의 다섯 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 자동 항법 또는 위성 원격조종 방식으로 운용하였다. 드론이 이동한 거리가 1천km가 넘는 것으로 볼 때, 자동 항법이 아니라면 위성을 사용해 조종했을 것이다. [47] 장거리에서 드론을 이륙시켜 미리 비행 좌표를 입력해 놓는 자동 항법 시에는 재밍이나 스푸핑 등 드론을 조종하는 전파를 이용하여 드론을 무력화시키는 방법이 통하지 않게 되고, 드론을 위성으로 원격조종하여 취약한 시간과 장소로 기습 공격을 하면 이를 탐지·식별·방호하기가 쉽지 않을 것이다. 이뿐만 아니라 드론을 군집으로 운용하였다. 석유 시설 2곳에 드론 10대로 타격하는 데 성공했다. 사우디아라비아는 방공망 체계를 갖추기 위해 레이더 장비개발에 많은 투자를 했지만 결국 막지 못했다. 현재 테러에 사용되는 드론이 소형, 저공, 고속비행 양상을 보이기에 실질적인 탐지가 어려운 실정이다. 예멘 반군 대변인은 "폭격용 무인기가

레이더에 감지되지 않도록 다른 무인기들이 함께 비행하면서 전파교란 장치를 가동한 덕분에 적(사우디)의 대공 미사일 방어시스템이 무용지물이 됐다"라며 "정확한 정보를 근거로 폭격했다"라고 말했다. [48] 이러한 여러 대의 군집 형태로 침투하여 테러 또는 공격 시 대비하기가 쉽지 않을 것이며 테러와 공격수단으로 그 사용이 더욱 증가할 것으로 전망한다. 또한 전(全) 방향으로 침투할 수 있었다. 마이크 폼페이오 미 국무장관은 "이번 공격이 예멘에서 비롯됐다는 증거가 없다"며 이란이 주도적인 공격 세력이라고 몰아붙였지만, 일부 중동 언론들은 드론이 예멘 방향(남쪽)이 아니라 이라크 방향(북쪽)에서 날아왔다고 보도했고, 월스트리트저널은 "드론이 북쪽 이라크나 동쪽 이란에서 직접 날아왔을 수도 있다"라고 보도했다. 이란 외무부는 이란 배후설을 주장하는 미국에 대해 "헛된 비난"이라고 반박하기도 하였다. [49] 이처럼 드론의 침투경로는 수평으로는 360도 전 방향, 수직으로는 장애물을 벗어난 지표면 최저 고도로부터 고고도에 이르기까지 다양하게 침투할 수 있어 테러나 공격을 받는 입장에서는 침투 방향을 예측하기 어렵고 이에 대응하기가 어려워진다. 앞서 설명한 세 가지 드론 운용 방법에 더하여 민간 드론을 개조 및 무장하여 운용하였다. 야호야 사례야 예멘 반군 대변인은 "사우디 석유 시설 공격에 사용된 무인기는 우리가 자체 설계·제작한 3세대 기종이었으며, 가세프 무인기와 작전반경이 1천500~1천700km인 장거리 무인기 삼마드-3, 그리고 최근 개발한 제트엔진을 장착한 신형 무인기가 사용되었다"라고 주장했다. 또한 "이들 새로운 무인기엔 각각 4발의 유도폭탄이 실렸으며, 탄두는 분열식이어서 어떤 각도로도 표적을 공격할 수 있다"라고 설명했다. 삼마드-1은 제작하는데 2,000만 원을 넘지 않는 것으로 추산하며, 미국 정보기관은 이란이 드론 전문 정비사들을 예멘에 파견하여 드론 조립법, 운영 방법, 수리법 등에 대해 훈련을 시켜 온 것으로 보고 있다. 이처럼 민간 드론을 개조 및 무장하

여 군사용으로 사용하면 가성비가 좋고, 드론의 제원과 사용 주파수, 운용 방식 등이 알려지지 않아 상대방이 대응하기에 어려움을 줄 수 있게 된다. 또한 장거리 침투 후 공격하였다. 아브카이크 단지가 예멘 국경에서 800km 떨어져 있고, 유엔은 후티 반군이 1천5백km의 비행 성능을 가진 'UAV-X'라는 드론을 보유하고 있다는 보고서를 낸 바가 있다. 이번 공격에 사용된 무인기들은 후티 반군이 자체 설계·제작한 3세대 기종이었다. 즉 가세프 무인기, 장거리 삼마드-3 무인기, 그리고 최근 개발한 제트엔진을 장착한 신형 무인기가 사용됐다. [50]

나) 이란, 오만 근해 유조선에 드론 공격(2022년)

■ 테러 개요

2022년 11월 15일, 4만 2천t의 경유를 싣고 아르헨티나로 향하던 라이베리아 선적의 유조선 '퍼시픽 지르콘'호 유조선이 오만 인근 해상을 지날 때 이뤄진 무인기 공격의 주체로 미국과 이스라엘은 이란을 지목했다고 AFP, 월스트리트저널(WSJ) 등이 보도했다. 이 공격으로 선체 뒷부분에 구멍이 났지만, 승선한 선원은 모두 안전하고 선박 기능도 이상 없으며, 공격에 사용된 드론은 이란이 우크라이나전 사용을 위해 러시아에 팔고 있는 것과 같은 '샤헤드-136' 드론¹²⁾ 이라고 알려졌다. 그러나 이란은 공격을 수행했다는 주장과 관련해 아는 바가 없다며 부인했다. 이번 유조선 피습 사건은 걸프 해역을 둘러싼 서방과 이란의 긴장이 고조되는 가운데 발생한 것이다. [51]

■ 운용 사례 분석

이란이 오만 근해 유조선에 대한 드론 공격 시에 사용된 드론은 해안 인근

12) 이란이 개발한 HESA 샤헤드-136 자폭 드론. 이스라엘이 수출한 IAI 하피와 거의 같은 외관으로 IAI 하피를 복제한 것으로 보인다.

기반 시설과 해상선박을 공격하는 운용 양상을 나타내었다. 영국 위험 분석기업 베리스크 메이플크로프트의 중동·아프리카 전문가 토르키오른 솔트베트는 "핵 합의 복원을 둘러싼 서방과 이란의 외교가 교착에 빠지면서 중동 지역에서 선박과 에너지 기반 시설을 겨냥한 공격 위험이 증가하고 있다"라고 지적했다. [52] 해상에서 운항 또는 정박 중인 선박과 통상 해안 인근에 있는 원자력발전소 등 에너지 기반 시설을 타격 시 한발에 수십만~수백만 달러 하는 미사일 보다는 2만 달러 정도(샤헤드-136 기준)의 자폭 드론으로 공격 시 가성비가 좋으며, 해안에서 GPS 유도나 위성 원격조종 방식으로 2,500km 장거리까지 침투하여 목표물을 공격할 수 있음을 보여주는 사례이다.

다) 해외 불법 드론 운용(2014~2016년)

■ 테러 개요

알렉산더 솔로도프 외 3명(2017)은 아래와 같이 해외 불법 드론 운용 사례를 제시하고 있다. [52]

- (1) 2014년 가을: 프랑스에서 여러 미확인 UAV가 19개의 원자력발전소 중 13개 이상의 제한된 구역에서 조직적인 방식으로 발전소 상공을 동시에 비행했다. 이 사건으로 인해 프랑스 정부는 경계 태세에 돌입했으며 일부는 원자력발전소가 사실상 무방비 상태이므로 이 위협에 대해 폐쇄해야 한다고 제안했다. (Gaffey and Philips, 2015)
- (2) 2015년 1월: 워싱턴 DC에서 민간인 UAV가 백악관 울타리를 넘어 잔디밭에 불시착했다.(인명 피해나 재산 피해는 미발생) UAV 운영자는 정부 정보기관의 술에 취한 비번 직원이었고, UAV는 인기 있는 상용 쿼드콥터였다. (Schmidt and Shear, 2015)
- (3) 2015년 1월: UAE에서 두바이 국제공항의 항공교통이 레저용 UAV에

의해 55분 동안 정지되었다. 항공기나 승객에 대한 피해는 없었지만, 경제적 손실을 초래하는 심각한 혼란이었다. (The National, 2015)

- (4) 2016년 7월: 미국의 SRS(Savannah River Site)에서 8대의 UAV가 시설 보호 담당 전문 직원에 의해 발견되었다. UAV 비행의 이유와 누가 운영했는지 알 수 없었다. (Gardiner, 2016)

■ 운용 사례 분석

해외 불법 드론 운용 사례에서는 다음의 두 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 목표 인근지역으로 이동 후 불법 비행을 하였다. 타격하고자 하는 목표 인근까지 차량·도보 등 지상 또는 잠수함·함선 등 해상으로 침투한 후 드론에 폭탄 또는 화생방 물질을 탑재하여 공격 시 조종자를 식별할 수도 없고 근거리에서 이륙시켜 공격하면 대비할 시간도 짧아 방호에 어려움을 줄 수 있다. 또한 전(全) 방향으로 침투할 수 있었다. 원전을 포함한 국가 또는 군사 중요시설은 3 지대 개념으로 방호가 시행되지만, 지상 침투나 적 항공기 침투와는 다르게 드론은 공중공간을 이용하여 소형·저고도로 전(全) 방향에서 접근 침투가 가능하다. 이럴 때 방호기관은 대응 시간이 짧아 드론 침투에 대한 방호가 어려울 수 있다.

라) 국내 원전 불법 드론 침입(2017~2022)

■ 테러 개요

국내 원전 주변에서의 불법 드론 비행이 5년간(2017~2022년) 136건에 달했지만, 조종자를 파악하지 못하여 처벌 없이 종결한 경우가 87건으로 전체의 63.9%였으며, 조종자가 적발된 건수는 49건에 불과한 것으로 국회 국정감사 결과 드러났다. 원전별로는 고리원전이 98건으로 가장 많았고, 새울 원전이

30건, 한빛원전이 7건이었다. [53]

■ 운용 사례 분석

국내 원전 불법 침입 시에 사용된 드론은 다음의 두 가지 운용 양상으로 분석되었다. 먼저, 목표 인근지역으로 이동 후 불법 비행을 하였다. 위 사례를 기초하여 가능한 운용 양상을 가정해 볼 때 타격하고자 하는 목표 인근까지 차량이나 도보 등 지상으로 또는 잠수함이나 함선 등 해상으로 침투한 후 드론에 폭탄 또는 화생방 물질을 탑재하여 국가중요시설 또는 주요 인물 등을 테러 또는 공격 시 대비할 시간이 짧아 이에 대한 방호에 어려울 것이며, 특히 자체 제작하거나 민간 드론을 개조하였으면 조종자 식별 또한 위 사례처럼 조종자 확인 불가 사례가 증가할 것이다. 또한 전(全) 방향으로 침투할 수 있었다. 국가 및 군사 중요시설은 3 지대 방호개념에 따라 방호되는데 지상 침투나 적 항공기 침투와 다르게 소형화 드론이 360도 전(全) 방향에서 저고도로 침투하면 대응 시간이 짧고 기습공격의 효과가 있어서 침투·공격의 성공률은 증가하고, 방호·대응능력은 감소할 것이다.

2.2. 드론 임무별 운용 양상 분석을 통한 대응 방안 정립

드론이 출현한 이후 처음에는 주로 군사적으로 표적획득용과 정찰/감시 용으로 주로 사용되다가 후반기에는 복합 임무 드론(Multi Drone)으로 발전하였다. 운용 주체에 따라서 군사용과 민수용 드론으로 구분할 때 90% 이상이 군사용으로 활용 중이다. 한국 드론 혁신협회(2021)의 군사 분야 역할 분류는 아래 표 2-4와 같이 표적획득용, 정찰/감시용, 공격용, 기만용, 공격용, 전자전용 무인기로 구분하고 있다.

표 2-4. 드론의 군사 분야 역할 분류

Table 2-4. Classification of military roles of drones

분류	특성	대표 무인기
표적획득용	대공사격, 유도탄 사격, 함대 / 공대공 사격 훈련 무기 개발을 위한 시험평가 등에서 표적용으로 활용	BQM-34 Firebee
정찰/감시용	- 임무장비(EO / IR / SAR / MTI) 탑재센서 활용한 영상 정보 수집 임무수행 - 전장 감시 및 정찰, 표적 확인 / 위치정보 제공 및 전투피해평가(BDA) 등의 임무 수행	송골매, Searcher, RQ-4 Global Hawk, RQ-1 Predator, RQ-2 Pioneer
공격용	- 미사일 공격으로 대공무기, 적 지휘소, 전차 및 군수시설을 무력화 - 적 레이더에서 방사되는 전파를 감지, 레이더를 추적 파괴	MQ-1 Predator, MQ-9 Reaper
기만용	1회용 드론으로 적 방공망 위치식별을 위한 기만 작전 수행, 공격 편대군의 임무수행과 생존성을 증대시키는 역할 수행	AGM-160 MALD
공격용	공격용 무장 / 전자전 장비 장착 하 대공제압 및 중심표적 공격 임무수행, 향후 공대공 무기체계로 발전 가능	X-47B
전자전용	- 드론에 전자전 장비(ES/EA) 탑재, 통신 / 신호 정보 수집임무 수행 - 정찰용 드론에 임무 탑재장비를 교체하여 운용	RQ-4 Global Hawk

(출처 : 연구개발특구진흥재단, 유망시장 이슈 레포트(군용 드론), p. 3, 2021. [54] / 서일수·김용우, “드론봇 전투체계 발전 방안 연구”, 한국 드론 혁신협회, 2021. [55])

본 절에서는 여섯 가지 드론의 역할 중에서 전투 현장에서 주로 운용되는 정찰 임무, 공격 임무, 정찰 및 공격 임무 복합 수행 세 가지로 구분하여 임무별 드론 운용 양상을 정립하고자 한다.

앞서 2.1절 14개의 드론 전투사례 고찰을 통한 드론의 운용 양상을 정립하면 아래 표 2-5와 같다.

운용 양상은 연구자가 분석하여 정립하였고, 대응 방안은 여러 참고문헌을 기초로 연구 및 수립하였다.

표 2-5. 임무별 드론의 운용 양상(총 19개)

Table 2-5. Drone operation aspects established by mission (total 19)

임무	번호	드론 운용 양상	전투사례
정찰	R-1	방공 위협 취약지역 침투	L-3
	R-2	인구 밀집 지역 상공 침투	L-3
	R-3	중요시설 불법 비행	T-5
공격	A-1	적 위협 사전 무력화	W-1, W-3
	A-2	민간 드론 개조 및 무장 운용	L-1, L-3, W-4, T-1, T-3
	A-3	장거리 침투 공격	W-4, T-3
	A-4	단거리 목표물 정찰/공격	W-4
	A-5	목표 인근지역으로 이동 후 공격	W-4, T-6
	A-6	해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격	T-4
	A-7	타 무기체계와 연계 운용	W-3, W-5
정찰 + 공격 복합	C-1	유·무인기 통합 운용	W-1
	C-2	군집 운용	L-2, L-3, W-1, T-3
	C-3	자동 항법 또는 원격조종 방식 운용	W-2, T-2, T-3
	C-4	중·고 고도 장기 체공 후 운용	T-2
	C-5	정찰과 공격 임무 복합 운용	W-1, W-3, W-4
	C-6	전(全) 방향으로 침투 가능	T-3, T-5, T-6
	C-7	저렴한 드론의 활용성 증가	W-5
	C-8	도시작전에 운용	W-5
	C-9	지하 작전에 운용	W-5

* 정찰 : R(Reconnaissance), 공격 : A(Attack), 정찰+공격 복합 : C(Composite)

* 국지 분쟁 : L(Limited War), 전면전 : W(Total War), 테러 : T(Terrorism)

2.2.1. 정찰 임무 수행 드론

위 표 2-5에서 제시하였듯이 정찰 임무 수행 시에는 세 개의 드론 운용 양상으로 정립하였고, 세부 내용은 아래 표 2-6과 같다.

표 2-6. 정찰 임무 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안

Table 2-6. Comprehensive chart of operation patterns and countermeasures of drones performing reconnaissance missions

드론 운용 양상	대응 방안	
	방어 시	공격 시
R-1. 방공 위협 취약 지역 침투	- 아군 방공자산 은폐·엄폐 철저 및 통신보안 유지 - 소형드론탐지 가능 레이더 설치 강화 - 탐지 자산 능력 강화(AESA 레이더 지상 고정식 개발 등)	- 북한 지역으로의 최적 침투경로 사전 분석 - 장거리 비행 동력원 기술 향상
R-2. 인구 밀집 지역 상공 침투	- 하드킬(레이저포, 네트 드론, 직충돌 식 드론 등) - 소프트킬(재밍, 스푸핑 등) 기술 발전	- 북한 지역으로의 최적 침투경로 사전 분석 - 장거리 비행 동력원 기술 향상
R-3. 중요시설 불법 비행	- 통신 재밍 - 위성항법 재밍 / 스푸핑 - 조종권 탈취 - 지오펜싱	- 항법 및 항행 기술 발전 - 장거리 비행 동력원 기술 향상

1) 방공 위협 취약지역 침투

이라크전과 아제르바이잔-아르메니아전에서 사용된 방식으로 여러 첩보를 통해 확인된 방공 위협에 대해 포병, 공군자산 등을 사용하여 사전에 최대한 제거 후 드론이 침투함으로써 생존성을 높였다. 또한 북한이 여러 차례 남한지역에 드론을 침투시킬 때 아군의 TOD 설치지역 등 경계가 강한 지역은 최대한 회피하고 방공망이 취약한 지역으로 침투한 것을 볼 수 있었다.

이를 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 우리 방공자산이 적에게 노출되지 않도록 은폐와 엄폐 대책, 신호통신에 의한 위치 노출이 되지 않

도록 통신보안 유지 등의 적절한 조치를 해야 한다. 둘째, 소형드론을 탐지할 수 있는 국지방공레이더와 열 영상 TOD 등 현재 보유·운용 중인 장비와 2022년 12월 북한 무인기 침투를 계기로 국내 개발 또는 해외 도입을 통해 획득할 성능이 우수한 탐지 장비들을 취약한 적 침투 예상 지역에 우선 적으로 촘촘히 배치해야 할 것이다. 셋째, AESA 레이더를 항공기 이동식에서 지상 고정식으로 개발 운용하는 등 탐지 자산의 능력을 발전시키는 연구가 강화되어야 한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 지난 2022년 12월 북한의 무인기 침투 도발이 있고 난 이후 정부에서는 또다시 북한 무인기 침투 도발 시 북한의 동창리와 평양 등에 아군의 소형 또는 스텔스 무인기를 운용하겠다고 공포한 바 있는데 우리의 드론이 북한 지역으로 침투 소요가 발생할 때를 대비하여 최적의 침투경로 사전 분석 및 연구가 요구된다. 이는 지형공간정보를 이용하여 침투 지역 ‘지형 분석도’(VITD, Vector Product Interim Terrain Data)에 포함된 지형속성과 수치지고도 모형을 기반으로 다양한 경로 탐색 알고리즘을 적용하여 최적 침투경로를 분석하는 연구 [56]가 이미 진행된 바 있으며 이를 활용하는 방안을 검토할 수 있을 것이다. 둘째, 차세대 배터리와 고효율 스마트 엔진 기술 개발 등의 장시간 비행 동력원 기술 개발을 강화한다.

2) 인구 밀집 지역 상공 침투

북한 드론이 2014년 이후 성주기지, 청와대, 백령도 지역의 군 시설물 등에 대해 정찰하였고 특히 2022년도에는 5시간 동안이나 파주와 서울 등 인구 밀집 지역 상공으로 약 1km의 고도에 시속 100km 저속으로 비행하고 북한으로 복귀하였다. 이에 대해 우리 남한은 전투기와 헬기로 대응하였으나 민가 지역에 대한 낙탄 피해 등의 우려로 유효한 대응을 하지 못했다.

이를 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 향후 도심 지역 상공

지역에서 유사한 드론 침투 발생 시 첫째, 핀포인트식 레이저포로 격멸하거나, 그물 투하 드론과 직충돌 식 드론 등 운용 둘째, 재밍이나 스푸핑 방식의 적용으로 민간에게 피해를 주지 않고 도심 상공위에서 대응할 수 있어야 한다.

공격하는 입장에서는 첫째, 우리의 드론이 북한 지역으로 침투 소요가 발생할 때를 대비하여 최적의 침투경로 사전 분석 및 연구가 요구된다. 둘째, 차세대 배터리와 고효율 스마트 엔진 기술 개발 등의 장시간 비행 동력원 기술 개발을 강화한다.

3) 중요시설 불법 비행

드론 시설물 테러 사례를 살펴보면 중요지역의 특수성을 고려할 때 비록 민간의 실수나 무지로 인한 침범일지라도 가볍게 넘길 수 없는 불법 침투로서 철저한 대응이 요구된다. 원전과 같은 국가 중요 시설뿐만이 아니라 공군기지 등 군사 중요시설 등에 대한 기존의 방호계획을 살펴보면 1 지대는 경계 지대, 2 지대는 기지 울타리 외곽을 면하는 주 방어 지대, 3 지대는 핵심방어지대로서 총 3단계 방호로 구성되어 있으며 주로 지상부대 위주의 방호계획으로 되어 있다. [57] 따라서 불순분자의 드론 불법 침투 비행 시 이에 대한 방호가 미흡할 가능성이 있다.

이를 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, RF 스캐너로 드론이 사용하는 주파수를 알아내어 적 드론이 사용하는 통신 신호보다도 더 강력한 주파수의 전파를 발사하여 적 드론과 조종사의 통신을 무력화하는 통신 재밍 방식이 있다. 둘째, 통상 상업용 드론이 사용하는 위성항법 주파수(L1, 1.57GHz)를 교란하는 위성항법 재밍과 가짜 위성항법 신호를 발사하여 드론을 나포하거나 항로 이탈을 유도하는 스푸핑 방식이 있다. 셋째, 소형드론들이 사용하는 MAV LINK¹³⁾ 통신규약을 변조시켜서 드론의 조종을 방해 또는 조종

권한을 탈취해서 드론을 무력화하는 조종권 탈취 방식이 있다. 넷째, 위성항법을 이용하여 주요시설 지역을 금지구역으로 설정 및 불법 드론의 비행이 아예 되지 않도록 설정하는 기술인 지오펜싱 방식이 있다.

공격하는 입장에서는 첫째, 적 지역 중요시설 정찰 등 임무 수행을 위해 항법 및 항행 기술을 발전시킨다. 둘째, 차세대 배터리와 고효율 스마트 엔진 기술 개발 등의 장시간 비행 동력원 기술 개발을 강화한다.

2.2.2. 공격 임무 수행 드론

앞 표 2-5에서 제시하였듯이 공격 임무 수행 시에는 세 개의 임무 운용 양상으로 정립하였고, 세부 내용은 아래 표 2-7(운용 양상 A-1~A-3)과 표 2-8(운용 양상 A-4~A-7)과 같다.

먼저 운용 방안 A-1~A-3(표 2-7)에 대한 세부 설명이다.

13) Micro Air Vehicle Link : 리소스가 제한된 시스템과 대역폭이 제한된 통신을 위해 설계된 원격 측정 프로토콜

표 2-7. 공격 임무 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안

Table 2-7. Comprehensive chart of operation patterns and countermeasures of attack mission drones

드론 운용 양상	대응 방안	
	방어 시	공격 시
A-1. 적 위협 사전 무력화	- 탐지 수단 기술 개발 강화 - 주변 환경에 따라 탐지 장비 종류·대수 결정 및 상호 연동 - 조기 탐지 능력 강화	- 다양한 Decoy(기만기) 개발 및 운용 강화 - 드론 공격 이전 기만기 활용 교란 전술 발전
A-2. 민간 드론 개조 및 무장 운용	- 드론 인식 AI 알고리즘 등 활용으로 민간 드론식별 능력 구축 - 현재보다 더 발달 된 북한의 무인기 테러·공격 대비 강화 - 북한의 화생방 원격 투발 대비 강화	- 민간 드론 전문 동호회 평시 구성, 전시 드론부대로 전환 운용 - FPV 드론 적극 활용
A-3. 장거리 침투 공격	- 소형 드론탐지 가능한 레이더 주파수 사용 - 최소 탐지 속도 사전 점검 - 스캔 속도 1~2초 이내, 탐지율 90% 이상 - 회전형 레이더보다 전자 스캔 방식의 고정형 레이더 장점 활용	- 장거리 항법 능력 강화 (임무 장비 소형화·경량화) - 장거리 비행 동력원 기술 향상 - 탑재 무기 성능 강화

1) 적 위협 사전 무력화

아제르바이잔-아르메니아전에서 아제르바이잔 군은 보유한 AN-2기를 먼저 아르메니아 지역에 비행하여 방공망이 노출되게 한 후 노출된 적의 방공망을 사전에 무력화시키고 드론 본대를 제파식으로 침투시켜 생존성을 보장받으며 효율적인 공격을 할 수 있었다.

또한 다른 사례로 러시아 해군의 흑해함대 순양함 ‘모스크바’는 2022년 4월 14일 흑해 연안에서 우크라이나군의 공격으로 침몰했다. 우크라이나 남부의 항구도시 오데사에서 발사한 P-360 넵툰 대함 미사일에 의해 격침을 당한 것인데, 우크라이나는 미사일 발사 전 바이락타르 TB-2 드론을 여러 대 띄워 러시아 함정의 시선을 분산시키는 기만 작전을 구사하였고, 이것이 러시아의 주력

전투함을 구형 미사일로 잡는 데 이바지하였다. [24] 영국의 전략이론가 리텔하트는 “기만은 군사적 성공에 있어서 필수요소이다. 총 30개의 전쟁, 280회의 전역을 분석한 결과 기만을 사용하지 않고 성공한 전쟁은 단지 6회뿐이었다.”라고 기만 작전의 중요성을 강조했다.

이를 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 드론이 침투하는 것을 자세히 탐지하여 기만기인지 본대인지 구분할 수 있도록 레이더, RF 스캐너, EO/IR 등 탐지 수단의 기술 개발을 강화한다. 둘째, 상기 장비들을 적절히 상호 연동하여 운용할 때 최대의 효과를 가져올 수 있다. 예를 들어 건물의 크기와 배치, 해안에 인접 여부, 지형이 평지인지 산악인지 등을 고려하여 장비의 종류 및 대수를 정한다. 셋째, 조기 탐지를 위해 레이더와 라디오 주파수 스캔 탐색기를 잘 활용하여 가능한 장거리에서 침투 드론을 탐지할 수 있도록 하고, 가시 지역에서만 탐지가 가능한 레이더를 운용 시에는 방어 지역의 건물이나 구조물로 인해서 LOS(Line Of Sight)가 제한될 시 레이더의 설치 위치와 높이 및 설치 대수를 치밀하게 결정해야 한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 다양한 Decoy(기만기)를 개발하고 운용을 강화한다. 둘째, 드론의 본대 공격 이전에 기만기를 활용하여 적의 방공망을 교란하고 분산시키는 전술을 발전시킨다.

2) 민간 드론 개조 및 무장 운용

드론의 급격한 성장으로 획득과 개조가 쉬운 상용 드론을 활용하여 2014년 프랑스 13개 원전 불법 침입, 2015년 미국 백악관과 일본 총리 관저 테러 미수, 2018년 베네수엘라 대통령 테러 미수와 영국 게트윅 공항 드론 불법 침입, 2019년 사우디 원전 드론 테러 등 개조된 소형 상용 드론의 테러 활용이 증가하고 있다. [58]

이러한 민간 드론의 개조와 무장 운용에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입

장에서는 첫째, 드론의 전장 운용 사례를 분석하여 정찰드론을 활용한 핵심 및 고가치 표적에 대한 정찰 활동, 공격 드론을 이용한 자폭 공격 등 다양한 임무를 수행하기 위해 개조하고 있는 첩보를 사전에 획득하여 AI를 통한 사전 드론 인식 알고리즘을 구축하여 유사시 개조된 민간 드론을 식별할 수 있는 대비를 해야 한다. 둘째, 북한이 중국과 이란, 러시아의 장비, 교리, 전술을 전파받을 수 있으므로 현재의 북한 무인기 수준만으로 판단할 것이 아니라 더 발달된 무인기 테러 및 침투 공격 가능성을 염두에 두고 대비해야 한다. 셋째, 북한의 강점인 화생방 물질의 다중시설과 중요시설에 대한 원격 투발에 면밀히 대비해야 한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 우크라이나의 아에로로즈비드카와 같은 민간 드론 전문 동호회를 평시에 구성하고 활동하다가 전시에는 드론부대로 전환하여 운용하는 방안의 검토가 필요하다. 둘째, 우크라이나의 사례처럼 FPV 드론을 적극 활용하는 방안을 강구한다.

3) 장거리 침투 공격

우크라이나-러시아전에서 본 사례처럼 1천km~2천km 떨어진 적 후방지역의 전략 목표에 장거리 비행이 가능한 드론을 침투시켜 기습타격함으로써 적에게 심리적인 공포감을 부여할 수 있는 방식이다.

이를 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 소형 드론을 탐지하기 위해서 DJI社의 팬텀 4 피탐 면적(RCS)인 $0.01\text{m}^2(10\text{cm} \times 10\text{cm})$ 크기를 탐지할 수 있도록 Ku-Band와 X-Band를 사용하는 레이더를 사용한다. 둘째, 드론은 속도를 원하는 대로 조절할 수 있다. 만약 드론 침입자가 레이더가 설치된 사실을 미리 알고 매우 느린 속도로 침투한다면 방어를 실패할 수도 있을 것이다. 따라서 도입 전 최소 탐지 속도 검증 테스트가 필요하다. 셋째, 드론 감지 최대 거리는 제한되어 있으므로 1~2초 이내의 스캔 속도와 90% 이상의

검출률이 요구된다. 넷째, 회전 시 간격으로 인해 탐지가 제한될 수 있는 회전 레이더보다 전자적으로 스캔 되는 고정 레이더가 드론탐지에 더 효과적일 수 있다. 공격하는 입장에서는 첫째, 임무 장비의 소형화, 경량화를 통해 장거리 항행 능력을 강화하고, 둘째, 차세대 배터리와 고효율 스마트 엔진 기술 개발 등의 장시간 비행 동력원 기술 개발을 강화한다. 셋째, 탑재 무기의 경량화 ·AI 를 활용한 기술 발전으로 성능을 강화한다. [59]

다음은 운용 방안 A-4~A-7(표 2-8)에 대한 세부 설명이다.

표 2-8. 공격 임무 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안

Table 2-8. Comprehensive chart of operation patterns and countermeasures of attack mission drones

드론 운용 양상	대응 방안	
	방어 시	공격 시
A-4. 단거리 목표물 정찰/공격	- 레이더, 다양한 센서를 활용한 자폭 드론탐지 기술 발전 - 무인기 제어 소프트웨어를 이용한 격추 기술 적극 활용	- 다 무기체계와 연동 강화 운용 (유무인 통합체계, 공군기, 포병, 미사일 등)
A-5. 목표 인근지역으로 이동 후 공격	- 그물 공기충 사용 - 드론에 포획 그물 장착 포획법 - 독수리 이용 방식 - 전자충(재머) 사용 - 초소형 미사일 사용	- 가성비 있는 자폭 드론 공격 - FPV 드론 적극 활용 - 드론 이륙/공격지역의 거리를 좁혀서 적 반응 템포 거부
A-6. 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격	- 탐지 범위와 탐지 신뢰도 등 고려 장비 선택 - GPS Jammer 사용 - 물리적 보호 방법	- 특수작전부대 활용한 정찰과 화력 유도 - 적극적인 자폭 드론 활용
A-7. 타 무기체계와 연계 운용	- 적의 통신망 교란 또는 차단 대책 강구	- 통신 네트워크 기술 강화

4) 단거리 목표물 정찰/공격

우크라이나-러시아전에서 우크라이나는 미국이 지원한 스위치블레이드 드론으로 단거리 전장에 위치한 러시아의 전차와 장갑차 등 주요 장비를 파괴하였다. 또한 이스라엘이 개발한 '아이언 돔' 시스템을 살펴보면 레이더, 적외선 카메라, 다양한 센서 등을 활용하여 드론과 미사일, 박격포 등을 탐지해 제거하는 시스템으로 대형 자동화 포를 이용하여 자폭 드론을 격추한다. 미국의 '스카이넷' 시스템은 인공지능과 기계학습 기술을 활용하여 자폭 드론을 신속하게 탐지하고 제거하는 시스템으로 레이더, 적외선 카메라, 다양한 센서 등을 이용하여 자폭 드론을 탐지하고 무인기 제어 소프트웨어를 이용하여 격추한다. 중국은 전자전 시스템을 활용하여 자폭 드론을 발견하면 전자파를 발생시켜 제어하는 방식으로 대응하는데 전자파 발생기와 수신기를 이용하여 자폭 드론을 제어하는 방식으로 작동한다. 이를 종합하면 단거리 목표물에 대한 정찰과 공격에 대해 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 레이더, 적외선 카메라 및 다양한 센서를 활용한 자폭 드론탐지 기술을 발전시켜야 한다. 둘째, 인공지능과 기계학습 기술을 활용하거나 무인기 제어 소프트웨어를 이용한 격추 기술을 적극 활용한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 유·무인 통합체계, 공군기, 포병, 미사일 등 타 무기체계와 연동을 강화하여 운용한다.

5) 목표 인근지역으로 이동 후 공격

홍태현(2019)은 드론 테러의 예방 및 대응 절차는 현재 국가중요시설에서 실시하고 있는 상황 대응 절차(예방 활동 - 상황 인지 - 경보전파 - 대응)와 크게 다르지 않으나, 차이점은 상황 인지부터 대응 시간까지 시간이 짧다는 점과 총기를 사용 격추, 그물 활용 포획 방법 등이 효과적으로 드론을 제압하기 어렵다. 따라서 짧은 침투 시간에 대응할 수 있는 방공망 체계와 우수장비의 보강

이 필요하다고 강조하고 있다. [60]

격추 방법에는 하드킬(물리적인 방식)과 소프트킬(전자 장비나 전자 방호 시스템 사용 방식)이 있다.

이러한 목표 인근지역으로 이동 후 공격시에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 그물 공기총 사용 방법이 있다. 이 방법은 격추하려는 드론이 접근하여 사람이 맨눈으로 식별이 가능할 때까지 기다려야 하므로 대응 시간이 짧은 단점이 있다. 둘째, 드론에 포획 그물이 설치된 드론 사용 방법으로, 레이더로 드론의 위치가 탐지되면 드론을 대략적인 그 위치로 보낸 후 드론의 카메라 추적 기능을 이용해서 그물을 발사하거나 그물망에 걸리게 포획하는 방법이다. 셋째, 독수리 이용 방식은 독수리가 날아가서 드론을 발톱으로 직접 잡는 방식이다. 넷째, 전자총(재머)을 사용하는 방식은 경계병들이 사용한다면 효과적일 수 있으나 다른 레이더 등 탐지 장치와 연계가 되어 있지 않다면 사람이 드론을 직접 확인해야 하는 단점이 있다. 다섯째, 초소형 미사일로 격추하는 방법은 가성비가 좋지 않을 수 있다. 공격하는 입장에서는 첫째, 가성비 있는 자폭 드론의 공격이 근거리에서는 효과적일 수 있다. 둘째, 이륙과 공격지역의 거리를 최대한 좁혀서 적의 반응 템포를 거부하여 공포감을 조성하면 더 큰 효과를 거둘 수 있다.

6) 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격

2022년 11월에 이란이 오만 근해에서 유조선 ‘퍼시픽 지르콘’ 호를 자폭 드론 샤헤드-136(추정)을 사용하여 타격한 사례와 같이 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격시에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 드론 공격을 미리 탐지하기 위해서 레이더와 적외선 카메라 등 탐지 범위, 탐지 신뢰도 등을 고려하여 적절한 장비를 선택해야 한다. 예를 들면 미국 군에서 사용하는

AN/TPS-77 레이더는 200km 이상의 범위에서도 드론을 탐지할 수 있고, AN/TPY-2 레이더는 미국에서 개발된 고고도 탐지 레이더로 1,000km 이상에서도 드론을 탐지할 수 있다. 둘째, 전자전 방어 장비인 GPS Jammer로 드론의 GPS 신호를 방해하여 드론을 목표물에 접근하지 못하도록 한다. 셋째, 드론 공격에 대비하여 건물, 시설물, 차량 등을 보호할 수 있는 물리적 보호 방법, 예를 들어 철강 장벽, 바리케이드 등을 설치하여 드론의 충돌을 막을 수 있다. 공격하는 입장에서는 첫째, 적 지역에서 침투하여 작전을 수행하고 있는 특수 작전부대를 통해 적의 해안 인근 중요 기반 시설과 해상선박을 정찰 감시하고 화력 유도를 통해 목표물을 타격할 수 있다. 둘째, 획득한 목표물에 자폭 드론을 적극 활용한다면 실시간 효율적인 타격이 가능할 것이다.

7) 타 무기체계와 연계 운용

이스라엘이 엑스텐더와 같은 정찰용 드론을 가자지구에 투입하여 하마스 병력 배치와 이동 상황, 민간인 소재 여부 등을 파악한 후 이스라엘군과 연계하여 비밀리에 숨어 있는 하마스 시설과 요인들을 제거하였다. 이 때 연계하여 운용된 자산은 이스라엘 특수부대가 정찰용으로 사용하는 엑스텐더 드론, 정밀 유도폭탄 공격, 자폭 드론, 땅술 파괴용 대형 폭탄이 사용되었다.

이처럼 타 무기체계와의 연계에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 적의 통신망을 교란 또는 차단시켜 적 드론과 타 무기체계와의 연계를 불가하도록 한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 아군의 드론과 포병, 공군 폭격기, 다른 드론들과의 원활한 통신 네트워크 기술 발전이 필요하다.

2.2.3. 정찰과 공격 임무 복합 수행 드론

앞 표 2-13에서 제시하였듯이 정찰과 공격 임무 복합 수행 시에는 9개의 임무 운용 양상으로 정립하였고, 세부 내용은 아래 표 2-9(운용 양상 C-1~C-3), 표 2-10(운용 양상 C-4~C-6), 표 2-11(운용 양상 C-7~C-9)과 같다.

먼저 운용 방안 C-1~C-3(표 2-9)에 대한 세부 설명이다.

표 2-9. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안

Table 2-9. Comprehensive chart of operation patterns and countermeasures of drones performing reconnaissance and attack missions simultaneously

드론 운용 양상	대응 방안	
	방어 시	공격 시
C-1. 유·무인기 통합 운용	- 적 유·무인기 탐지 및 무력화 기술 발전	- 산학연 연계하 MUM-T 적극 운용 - 유인 무기체계의 확보 - 적 핵심 표적 등에 대한 기만기 사전 운용
C-2. 군집 운용	- 전자전으로 탐지기기 무력화 - 복합 장비 고도화 - 드론탐지율 높게 책정	- 기만 드론 또는 전자전으로 적 방공망 무력화 - 네트워크 기술, 상황 인식 기술, 소프트웨어 체계 기술 활용
C-3. 자동 항법 또는 원격조종 방식 운용	- 육안 식별법 - 전자 식별법	- 장시간 비행 동력원 기술 개발 강화 - 위성 기술 국산화 개발 강화

1) 유·무인기 통합 운용

이라크전에서 아파치헬기 작전 시 패배를 경험하고 헬기와 공군기 또는 무인기를 연계하여 운용하는 유·무인 통합 운용 전술을 발전시킨 미국은 AH-64 아파치 부대의 단독작전을 금지하고, 아파치 가디언에 MUM-T 데이터링크를 장착하여 다양한 무인기를 아파치가 침투하기에 앞서 작전지역에 대한 사전 수색 정찰 작전을 수행하였다. 실제 사례로 우리나라에 주둔 중인 주한미군 2사단은 아파치 가디언(AH-64E) 공격헬기와 2022년 2월에 한반도에 배치된 최신형 그

레이 이글(MQ-1C)-ER 무인기로 유무인 합동작전에 활용하고 있다.

이처럼 유·무인기 통합 운용에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 적의 유·무인기 통합 공격 시 이를 탐지 및 무력화시킬 수 있는 안티드론 방호체계와 기술을 발전시켜야 한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 산·학·연·군 연구 그룹을 결성하여 지상, 공중, 해상, 우주에서의 MUM-T (유·무인 통합체계)의 기술 개발을 강화하고 적극적인 운용을 추진하여야 한다. 둘째, 유무인 복합체계 개발의 전제 조건인 유인 무기체계를 적극 확보해야 한다. 무인기 연동 플랫폼은 자체 개발할 수 있는 국산 무기가 필수인데 현재 우리는 국산 전투기 KF-21과 LAH(경무장 헬기)와 같은 플랫폼이 있어서 유무인 복합체계 도입을 추진할 수 있었다. 셋째, 아군의 유·무인기가 공격하기 전에 무인기로 적 표적을 사전 정찰하면 생존성을 높이고 타격 치명성을 향상시킬 수 있다.

2) 군집 운용

미군은 지난 2016년 FA-18 전폭기 3대로 ‘페르덱스 마이크론 드론’ 103대를 투하해 벌떼공격을 구현한 바 있으며, 만일 이런 AI 기술이 장착된 수십·수백대의 전투형 드론이 침투한다고 가정한다면 참혹한 결과가 일어날 수 있을 것이다. 완전 자율 비행이 가능한 중소형 드론들의 군집 공격은 매우 위협적이다. 현재 고성능 드론의 추세는 3~5m 내외의 중소형 기체, 200km/h 이상의 속도, 500km 이상 장거리, 저고도(0.5~1.0 km)로 비행 가능, 영상 기반, 그리고 수십대 이상이 자율·군집 비행이 가능한 수준을 말한다. [61]

이처럼 군집 운용에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 레이더나 통신 신호를 추적해 파괴하는 전자전 기능으로 불법 드론의 탐지기기를 마비 혹은 파괴한다. 둘째, 레이더, 열화상, 영상 기반으로 운용되는 조기 탐지 장비들을 복합적으로 연계하고, 실시간 SW 플랫폼과 연동 한 후 기계학습 등이

적용되는 자동식별 기술을 통해 대응을 체계화한다. 셋째, 드론탐지율을 높게 책정하여 소형으로 고속기동하는 군집 드론을 조기에 탐지 식별 무력화해야 한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 공격 이전 기만 드론 운용이나 전자전(EMP 등)으로 사전 적의 방공망을 무력화한 이후 진입하여 피해를 최소화한다. 둘째, 네트워크 기술(에드혹 네트워크와 인프라 네트워크 기술), 상황 인식 기술(상황 인지 기술, 상황 이해 기술, 예측 기술), 소프트웨어 체계 기술(무인이동체 응용 SDK 기술)을 활용한다.

3) 자동 항법 또는 원격조종 방식 운용

근거리에서는 드론을 사람이 직접 조종하여 운용하지만, 장거리일 경우 항로 정보를 사전에 입력하여 자동 항법을 하거나 인공위성과 드론의 광학장비를 활용하여 드론 위치를 파악하면서 원격조종으로 운용할 수 있다. 예멘 후티 반군이 사용하는 “후티” 드론은 크기가 작아 대공 방어망에 걸리지 않아 중동 지역 미국 우방국들을 괴롭혀 왔는데 2018년 7월 UAE 아부다비 공항 공습과 그 이후로도 공군기지, 정유시설, 2019년 5월에는 미사일이 배치된 사우디 공항을 지속해서 공격하였다. [59]

드론식별은 비행하고 있는 드론 조종자를 파악하는 기술로서 육안식별과 전자 식별로 구분되며, 전자식별은 수동식별과 능동식별로 분류할 수 있다.

적의 드론이 자동 항법 또는 원격조종 방식으로 운용시에 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 육안 식별법으로 드론 본체에 드론 식별번호인 DIN(Drone Identification Number)을 부착하고, 분리나 위조 변조를 못 하게 하여 소유자 또는 조종자를 식별하는 방법이다. 둘째, 전자 식별법은 통신거리 내에서 비행하고 있는 드론의 드론 식별번호(DIN)나 조종자 식별번호 PIN(Personal Identification Number)를 식별하는 방법으로 수동 식별법과 능동 식별법이 있

다. 먼저, 수동 식별법은 비행 중인 드론이 주기적으로 발송하는 조종자 식별번호, 드론 식별번호, 4D(3D 고도와 좌표·시간도 포함), 방향, 속도, 이륙지 좌표 등의 정보들을 수동으로 식별하는 방법이다. 능동 식별법은 비행하고 있는 드론에 대하여 식별기로 드론 조종자 식별번호, 드론 식별번호, 비행 목적 등을 질의하고 그 응답 결과로 식별하는 방법이다. 공격하는 입장에서는 첫째, 장시간 비행이 가능한 전지나 엔진 등의 동력원 기술 개발을 강화하고, 둘째, 타국의 위성을 사용하지 않고 독자적인 드론 작전이 가능하도록 위성 기술의 국산화 개발을 강화해야 한다.

다음은 운용 방안 C-4~C-6(표 2-10)에 대한 세부 설명이다.

표 2-10. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안
Table 2-10. Comprehensive chart of operation patterns and countermeasures of drones performing reconnaissance and attack missions simultaneously

드론 운용 양상	대응 방안	
	방어 시	공격 시
C-4. 중·고 고도 장기 체공 후 운용	- 레이더·다양한 센서 탐지 대응 - 미사일 설치 운용 - 드론의 작전패턴 등 분석·예측 대응 기술 개발 - 자동화 포 설치	- 화력 자산 연계 타격 - 장시간 비행 동력원 기술 개발 강화
C-5. 정찰과 공격 임무 복합 운용	- 침투경로가 직선일 경우 공격 임무 - 침투 속도가 저속, 지역 선회 시 정찰 임무 - EO/IR 장비 부착물 통해 적 임무 판단	- 모듈화 기술 발전
C-6. 전(全) 방향으로 침투 가능	- 각 탐지 센서 복합 운용 - 주요시설에 사각 지역 없도록 촘촘히 설치 - 장비의 자동 연동 통합시스템 구축 - 불법 드론 레벨에 따른 기술 개발 - 민간 요소 활용, 적 정보획득 시스템 구축	- 적 방공망 사전 파악, 침투로 선정 - 스텔스 성능 기술 발전 - 군집 제파식 공격

4) 중·고 고도 장기 체공 후 운용

미국이 이란의 솔레이마니 국방부 장관을 이라크 바그다드 공항 상공의 리퍼 드론으로 타격할 때 미국 네바다주에서 원격 조종한 드론은 최대 고도 15km에서 28시간 장기 체공이 가능하고, 인공위성에서 사용하는 광학카메라와 미사일을 장착한 능력을 가진 드론이었다. 이제 과학의 발달은 지상 병력에 의해 정찰감시 정보를 수집하거나 주요 인물 또는 타격 목표 등을 공격하지 않아도 될 수 있는 무기의 출현을 가져왔다.

이러한 중·고 고도 장기 체공 후 운용 시에 이를 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 레이더와 다양한 센서를 활용하는 탐지 기술을 활용한다. 이를 통해, 드론의 위치와 상황을 파악하고, 대응을 준비할 수 있다. 둘째, 미사일 발사 공격을 한다. 이를 위해서는, 미사일의 정확한 제어 기술과 발사 시스템, 그리고 공중전 기술 등이 필요하다. 셋째, 인공지능과 머신러닝 기술을 활용하여, 드론의 움직임과 작전패턴 등을 분석하고 예측하는 대응 기술을 개발한다. 이를 통해, 드론의 작전을 사전에 파악하여 대응할 수 있다. 넷째, 적극적인 인공지능, 머신러닝, 로봇공학 등의 기술을 활용하여 대응 기술을 개발하고, 자동화 포를 설치하여 적의 드론을 격추한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 정찰 드론과 화력 자산(장거리 미사일, 공군 폭격기 등)을 연계하여 실시간 타격 시 효과를 높일 수 있다. 둘째, 장시간 비행이 가능한 전지나 엔진 등의 동력원 기술 개발을 강화한다.

5) 정찰과 공격 임무 복합 운용

이라크전과 우크라이나-러시아 전에서 보았듯이 TB-2 드론이 정찰을 통해 적 정보만 획득하거나 아니면 획득한 적 표적을 자체 보유 무장으로 타격하는 복합 임무를 수행하기도 하였다.

이처럼 정찰과 공격 임무 복합 운용 시에 이를 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 적 드론의 침투경로가 직선일 경우 공격 임무, 직선이 아니고 저고도로 지형을 따라 은밀히 접근한다면 정찰 임무로 판단할 수 있다. 둘째, 침투 속도가 한 목표물을 향해 고속일 경우 공격, 비교적 저속으로 일정한 지역을 선회 비행 시는 정찰 임무로 판단할 수 있다. 셋째, 임무 장비가 미사일 또는 유도탄, 폭탄일 경우 공격 임무, 주야간 카메라 등을 장착할 때는 정찰임무로 볼 수 있다. 위와 같은 적 드론의 비행 패턴을 사전 탐지 및 식별한다면 그에 대한 효과적인 대응을 할 수 있을 것이다. 공격하는 입장에서는 첫째, 정찰, 자폭, 통신 중계 등 모듈화 기술을 발전시키면 소수의 제한된 드론 기체를 보유하고도 더욱 융통성 있고 효율적인 작전이 가능할 것이다.

6) 전(全) 방향으로 침투 가능

드론의 종류, 크기, 운용고도와 속도, 수행 임무 등이 매우 다양하므로 사우디아라비아의 유전 테러와 국내 및 해외 원전 불법 침투 사례에서 보았듯이 드론이 수평으로는 360도 전체방향으로, 수직으로는 저고도에서 고고도까지 침투할 수 있어서 침투하는 방향을 판단하기가 쉽지 않은 실정이다.

이처럼 전(全) 방향으로 침투 시에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 각 탐지 센서의 종류에는 먼저 능동형에는 레이더, 수동형에는 RF(라디오 주파수) 스캐너 · EO/IR · 음향 · 복합센서가 있으며, 이들은 장·단점을 가지고 있고 여러 센서를 복합 운용하는 것이 더 효율적이다. 둘째, 여러 주요 시설에서 비록 전자 장비를 많이 운용한다 해도 서로 다른 환경과 여러 건물로 인하여 가시 지역의 제한이 많아서 상대적으로 음영지역이 많이 존재하게 되므로 원전이나 공항 등 중요시설에 레이더, 주파수 스캔 탐색기, 주야간 카메라를 사각 지역이 없도록 촘촘히 설치한다. 셋째, 탐지 장비, 추적 장비, 격퇴/격추

장비들이 자동 연동에 의한 신속한 대응이 되도록 통합시스템이 구축되어야 한다. 넷째, 불법 드론의 레벨에 따른 탐지·식별 기술 개발의 고도화가 요구된다. 다섯째, 민간 요소를 활용하여 적 부대이동과 은폐 및 엄폐된 지역의 적 부대를 발견하는 시스템 구축이 필요하다. 공격하는 입장에서는 첫째, 적 방공망을 사전에 파악하고 이를 고려한 침투로를 사전에 선정하여 유사시 사용한다. 둘째, 스텔스 성능 기술을 발전시킨다. 셋째, 군집으로 제과식 공격을 한다면 적의 방어력을 약화할 수 있다.

다음은 운용 방안 C-7~C-9(표 2-11)에 대한 세부 설명이다.

표 2-11. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상과 대응 방안
Table 2-11. Comprehensive chart of operation patterns and countermeasures of drones performing reconnaissance and attack missions simultaneously

드론 운용 양상	대응 방안	
	방어 시	공격 시
C-7. 저렴한 드론의 활용성 증가	- 재래식 기습작전 대비 방공 대공포(발칸 등) 활용	- 고성능 드론 개발과 저렴한 드론 복합 개발 운용 - 저렴한 소재의 부품을 개발하여 가성비 좋은 드론 대량 생산
C-8. 도시작전에 운용	- 건물 내부 도면 제작 상업용 드론의 기술을 국방용으로 개발	- 이스라엘의 도시작전에 운용하는 무기체계와 유사한 드론 개발
C-9. 지하 작전에 운용	- 터널 지형 촬영 및 지상 전송 민간 기술력을 국방용으로 개발	- 이스라엘의 지하 작전에 현재 운용하는 유사한 성능의 드론 개발

7) 저렴한 드론의 활용성 증가

우크라이나-러시아전에서 보듯이 전쟁은 소모전이다. 전쟁물자와 자원이 뒷받

침되지 않으면 지속적인 전투를 할 수 없다. 그래서 우크라이나는 서방 국가들의 지원을 계속 요구하고 있고 러시아도 북한과 이란의 지원을 받고 있다. 이러한 사례에서 보듯이 고가의 첨단 장비도 필요하지만, 저렴한 가격의 가성비 좋은 무기가 전시에 요구될 것이다. 우리도 북한 드론의 소형화·고도화·군집화 추세에 대응이 필요하다. 이스라엘과 하마스 전쟁에서 보듯이 개전초 하마스의 드론과 패러글라이더에 의해 이스라엘의 첨단무기 체계들이 제 기능을 제대로 하지 못한 것을 교훈 삼아 재래식 전력을 적극 활용하고, 대 드론 체계 대응 개념도 소프트킬 중심의 전력화보다는 기존 발칸을 원격통제 하 무인화 체계로 활용하여 소프트킬+하드킬의 체계통합으로 전력화된다면, 첨단무기 개발·획득에만 치중하여 재래식 기반 전력을 취약하게 만드는 실수를 범하지 않을 수 있을 것이다.

이처럼 저렴한 드론의 활용성 증가에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 재래식 기습작전을 대비하기 위해서 방공 대공포(발칸 등)를 활용한 원격통제 하 무인화 하드킬(화망사격) 체계를 구축해야 한다. 이는 병력감소에 따른 제한요소를 해소하고, 생존성 보장 대책이 가능한 유·무인 복합 대 드론 장비를 구축하는 방안이 된다. 공격하는 입장에서는 첫째, 고가의 기술력을 갖춘 고성능 드론을 개발함과 동시에 호주에서 제작하여 운용되는 종이 재질의 드론이나 제트엔진이 아닌 저가의 휘발유 엔진을 사용한 저렴한 단거리 자폭용 드론 등을 제작하여 상황에 맞게 효율적으로 운용한다. 둘째, 드론 기술력을 증대시켜서 저렴한 소재의 부품을 개발하여 가성비 좋은 드론을 대량 생산한다. [64]

8) 도시작전에 운용

전투 시에 방책을 결정하고 작전을 수립할 때 중요한 요소 중의 하나가 지형이다. 우리나라는 70%가 산악이지만 남한은 5개의 광역시를 비롯하여 곳곳에

많은 도시가 형성되어 있고 북한 또한 평양, 원산 등 도시가 형성되어 있어 도시작전은 필수적이 되었다. 도시작전에서는 피아 피해도 증가하기 때문에 그에 대한 대비가 필요하다.

이처럼 도시작전에 운용에 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 우리나라의 산업 분야의 드론 기술력 중에서 건물 내부 도면 제작을 위한 드론이 민간 상업용으로 현재 운용되고 있다. 이와 같은 민간 드론과 기술력을 국방 도시작전용 드론으로 개발한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 우리나라 상황과 같이 실제 전투를 염두에 두고 좁은 시가전에서 드론을 운용하는 양상을 보여주는 이스라엘이 도시작전에서 운용하는 무기체계, 예를 들면 엑스텐더 사의 소형 무인 드론과 소형 자폭 드론인 로템-L 드론 등의 무기체계와 유사한 드론을 우리도 자체 개발 생산하는 방안이 있다.

9) 지하 작전에 운용

이스라엘과 하마스와의 전쟁에서 이목을 끈 것은 하마스가 가자지구 지하에 구축한 500km에 이르는 땅굴과 이를 이용한 전투였다. 마치 베트남전에서 베트공이 펼친 작전을 생각나게 하였고, 우리 한반도에도 북한이 많은 땅굴을 구축해 놓았다는 점을 고려하면 우리에게도 이에 대한 대비가 필요함을 부인할 수 없다.

이처럼 지하 작전에 운용을 대응하는 방안은 먼저 방어하는 입장에서는 첫째, 우리나라의 민간 산업 분야의 기술력 중에서 AI 기술을 탑재하여 비행하면서 터널 지형을 파악하고, 촬영한 이미지를 지상으로 전송하는 민간 드론과 기술력을 국방 지하 작전용 드론으로 개발하는 방법을 적극 검토한다. 공격하는 입장에서는 첫째, 이스라엘의 지하 작전에 현재 운용하는 로보티칸 社의 반자율 드론 ‘루스터’와 같은 유사한 성능의 드론을 개발한다.

제3장 드론 무기화 기술 분석 및 소요 기술 선정

현재 진행형인 우크라이나-러시아 전쟁, 이스라엘-하마스 전쟁은 군사력과 이를 뒷받침하는 군사·과학·기술의 중요성을 실감하게 해주고 있다. 상용 드론, 상용 위성통신망, 위치정보 서비스 기술 등 첨단민간 기술의 활용과 자폭형 무인체계 활용, 사이버전 수행 등 기존 전장 영역의 경계와 작전 운용 개념을 와해시키는 기술적 진보를 목격하고 있다. 이에 따라, 미국 등 군사 선진국은 AI 기술에 기반한 군사적 운용 개념을 발전시키고 기술 확보 경쟁과 군사혁신을 앞다투어 추진하고 있다. 우리 군도 AI 기반 유무인 복합 전투체계 발전과 국방 AI 전략 추진 등 ‘국방혁신 4.0’ 추진으로 과학 기술 강군 육성에 매진하고 있다.

국방 드론의 효율적 운용과 기술 발전을 위한 드론의 무기화 소요 기술 선정 필요성을 두 가지로 제시하고자 한다.

첫째, 드론 무기화 소요 기술을 핵심기술에 반영시켜 드론 연구 개발의 기초 자료로 활용토록 하는 데 있다.

국방 기술 진흥연구소에서 3년마다 발간하는 ‘국방과학기술조사서’는 국방 기술 연구개발기획(핵심기술 포함)을 위한 참고 문서로서 국내외 국방 과학 기술 수준, 무기체계/기술 개발 현황 및 발전 추세, 미래 소요 기술에 대한 연구 개발 방향 등을 제시하는 문서이다. 또한 이를 국방부, 방위사업청, 각 군 등 군 관련 기관은 물론 국회 및 타 정부 부처, 산·학·연 등에 널리 제공하여, 최신 국방과학기술의 개발 현황을 공유하고 국방과학기술의 확보와 첨단전력 건설을 위한 공감대 형성의 보조 자료로 활용하고 있다. 2023 국방과학기술조사서는 총론과 10대 무기체계 분야를 각 장으로 하여 총 11장으로 구성되었으며, 일반 본(책자)으로 발간되었고, 10대 무기체계 분야 26개 무기체계에 대해 편성되었

으며, 이 중 3권 제5장 항공(10대 무기체계 분야)에 항공 무인체계(대표 무기체계 명, 대분류 3개 / 총 99개 중, 중분류 9개 / 총 242개 중) 분야가 수록되어 있다. [62] 이러한 문서에 본 연구에서 선정한 드론 소요 기술을 반영하여 향후 국방 드론 연구 개발의 기초자료로 활용하도록 하는 데 있다.

둘째, 효율적인 국방 연구·개발 예산을 운용하는 데 있다.

국가 예산 체계상 국방 연구 개발 사업 예산은 국방예산과 국가연구개발사업 예산에 각각 포함되어 관리되고 있으며, 방위사업청이 전체 예산의 97%, 국방부와 과학기술정보통신부 등 타 부처가 나머지 3%를 집행하고 있다. 방위사업청의 국방 연구 개발 사업은 무기체계 개발, 국방 기술 개발, 출연기관 지원으로 구분되며, 최근 5년간 정부 연구 개발 사업 예산 10.93%보다도 높은 연평균 13.59%로 빠르게 증가하였고 특히, 독자 국방기술력 확보에 투입되는 국방 기술 개발 사업 예산은 최근 5년간(2018년~2022년) 연평균 23.75%의 높은 증가율을 보이고 있으나, 제반 환경이 미비한 상태에서 급격한 증가는 목적 달성과 효율성 측면에서 개선의 필요성을 발생시키고 있다. 또한 미국 및 중국 등 주변국은 첨단기술 개발을 위해 신전략을 수립하고 기술 우선순위에 따른 투자를 집중하고 있는바, 우리나라의 국방 연구·개발 제도와 예산상 노력 또한 지속 가능한 체계를 갖추도록 발전되어야 한다. [63]

이번 장에서 정찰·공격 등 임무별 드론의 무기화 소요 기술을 도출하기 위해 아래 여섯 개 연구기관의 기술 동향에 대해 사전 검토하였다.

- ① “미래 국방 2030 기술 전략” [62]
- ② “유망시장 이슈 레포트(군용 드론)” [64]
- ③ “무인항공기 과학·기술·산업 분석” [65]
- ④ “무인기 기술 동향 브리프” [66]

⑤ “4차 산업혁명 기반 드론 산업(국내외 동향 연구보고서)” [67]

⑥ “무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵” [68]

위 보고서들의 특징을 간략히 비교해 보면 다음과 같다.

보고서 ①과 ②는 주로 드론의 운용과 발전 동향을 위주로 작성되었다. 보고서 ①에서는 드론의 군집 운용, 실시간 탐색 모드와 자율 비행 모드 등 프로그램된 비행 패턴, 듀얼 EO/IR 이미지 처리 센서, 도시 감시, 지형 지도 제작에 관한 연구 등 군집 드론과 산업용 드론 운용에 중점을 두고 작성되었다. 보고서 ②에서는 드론의 활용 분야(군사, 민간 분야 등)를 제시하고 단일 및 복합 임무 드론의 발전 양상을 소개하는 등 드론의 운용과 발전 동향을 기술하고 있다.

본 연구의 관심 대상인 국방 드론 발전을 위한 구체적인 핵심기술과 기술 동향에 관한 사항은 보고서 ③~⑥에서 주로 다루어진다. 좀 더 보고서별로 수록 내용을 살펴보면 보고서 ③에서는 무인항공기 시스템 및 핵심기술 현황, 비행 체, 탑재 장비, 자료 송수신 장비, 임무 계획 및 통제 장비 등 국내외 기술 발전 현황을 중점으로 연구하였다. 보고서 ④에서는 충돌 및 장애물 회피기술 연구 동향, 자율 주행, 추진 동력 기술, 탑재 장비/센서 기술, 데이터링크 기술, 기술 표준화 동향 등 드론 기술 동향을 중점적으로 소개하고 있다. 보고서 ⑤에서는 무인항공기의 핵심기술(비행 제어시스템, 추진 동력 기술, 탑재 장비 및 센서 기술, 자율 비행 및 충돌회피 기술, 데이터링크 기술) 연구 개발 동향을 제시하고 있으며 주요 전문 연구기관들의 기술 현황을 전반적으로 종합 정리하여 소개하고 있다. 보고서 ⑥에서는 무인 이동체별 핵심기술을 6개 분야로 나누어 분야별 국내·외 동향과 국내기술 수준 등을 소개하고 있다. 특히 최근 10년 동안의 논문·특허 분석, 정부 연구·개발 투자, 산·학·연 전문가를 대상으로

한 설문 조사 분석을 통해 작성된 향후 10년간의 6대 공통 핵심 기능 기술 플랫폼 개발 로드맵(과학 기술 정통부) 등의 내용을 구체적으로 잘 수록하고 있다.

본 장에서 “무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵”(무인이동체 미래선도 핵심기술 개발사업단, 2018)에서 제시한 6대 공통 핵심 기능 기술을 중심으로 3.1.에서는 드론 무기화와 관련되는 핵심기술¹⁴⁾과 요소기술¹⁵⁾에 대해서 분석하고, 3.2.에서는 드론 운용 양상별 국방 드론 연구 개발에 필요한 소요 기술을 선정하도록 하겠다.

3.1. 드론 무기화 기술 분석

무인항공기 시스템은 국가표준 KSW 9000¹⁶⁾에 따르면 무인항공기에 통제시스템과 지원 장비를 결합한 것을 의미한다. 임무 장비는 다음 그림 3-1에서 보듯이 무인항공기가 수행하는 임무와 관련된 EO/IR 카메라, 레이더, 라이다 등의 장비로 구성되며, 지상 통제 장비는 무인항공기의 비행 상태나 오작동을 감

14) 1) 국가 핵심기술이란 국내외 시장에서 차지하는 기술적·경제적 가치가 높거나 관련 산업의 성장 잠재력이 높아 해외로 유출되면 국가의 안전보장 및 국민경제의 발전에 중대한 악영향을 줄 우려가 있는 산업기술 (산업기술의 유출방지 및 보호에 관한 법률 제2조)

2) 핵심기술 : 합동군사전략목표기획서에 수록된 무기체계 또는 미래 무기체계의 국내 개발 또는 생산에 필요한 첨단기술로서 선진 외국에서 개발 완료되어 기술이전을 회피하거나 국가 안보 차원에서 반드시 확보가 요구되는 기술.(김미선, “국방 기술 기획을 위한 WBS 기반 기술 조사·분석 방법론의 효과분석: ‘A’ 미사일 무기체계 중심으로”, 한국산학기술학회 논문지 제21권 제12호, 2020.)

15) 요소기술 : 국내 미개발(국외도입)되었거나 국내 개발이 필요한 기술, 새로운 기술이거나 개발 완료된 무기체계 대비 ROC가 높은 수준으로 연구 개발이 필요한 기술, WBS 품목분석으로부터 국외도입 여부 확인하여 국내 이미 개발된 기술과의 성능 차이로 인해 국내 추가 개발이 필요한 기술.(김미선, “국방 기술 기획을 위한 WBS 기반 기술 조사·분석 방법론의 효과분석: ‘A’ 미사일 무기체계 중심으로”, 한국산학기술학회 논문지 제21권 제12호, 2020.)

16) 우리나라가 만든 세계 최초의 무인항공기 국가표준으로 산업통상자원부 국가기술표준원이 2016년 12월 29일 제정 고시한 것. 주요 내용은 무인항공기 관련 용어 52개를 요약한 것이며, 이륙중량에 따른 분류 등 6개 분류체계 확인, 기존 항공법 대비 무인항공기(UAV) 분류 확장 등이 포함되어 있음.

시하고 운용자가 지시 및 임무를 수행할 수 있도록 하는 지상에서 운용하는 장비이다. 데이터링크는 무인항공기와 지상 통제 장비 간의 통신을 담당하는 구성요소이며, 지원체계는 무인항공기의 유지, 수리, 관리를 포함하는 총괄 체계이다. [68]



그림 3-1. 무인항공기 시스템 구성요소

Figure 3-1. Unmanned aerial vehicle system components

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 8)

과기정통부는 다음 그림 3-2 “과기정통부의 국방 연구·개발 구상도”에서 보듯이 무인항공기의 유·무인 통합 전투성능을 위한 핵심 요소기술 도출을 위해 국방과 민간을 연계하는 노력을 하여 왔다. 2014~2028년 정책보고서는 관계부처와 산하기관 간 협력을 강화해 기술 정보를 교환하고, 부처 간 협업을 통해 상호 중복성을 해소하자는 내용을 담았다. 그 결과, 2018년 국방부와 과학기술정보통신부 간 과학 기술 기반 국방역량 혁신을 위한 업무협약이 체결됐다. 이에

이러한 노력의 결실로 2017년 12월 과기정통부는 한국연구재단, 한국항공우주 연구원과 함께 「4차 산업혁명 기술의 집약체, 무인이동체 기술혁신과 성장 10 개년 로드맵」을 작성하고 6대 공통 핵심 기능 기술을 도출하였다. 이는 육상, 해상, 공군 무인기가 공통 적으로 갖추어야 할 기술을 선정하였으며, 각 기술의 정의는 다음과 같다.

- ① 탐지 및 인식 : 센서를 통해 정보를 획득, 분석, 처리하는 기술
- ② 통신 : 조종기와 이동체, 이동체와 이동체 간의 정보 교환 기술
- ③ 자율지능(Autonomous Intelligence) : 인간의 개입 없이 상황을 인지하고 판단하고 처리하는 기술
- ④ 동력원·이동 : 에너지를 공급하여 작업에 옮기는 기술
- ⑤ 인간-이동체 인터페이스: 무인 이동체를 제어하고 감독하기 위한 인간과 무인 이동체 간의 통신 기술
- ⑥ 시스템 통합 : 자율지능 기반 무인이동체 시스템에 적합한 개발 프로세스, HW, SW 기술



그림 3-3. 드론의 구조
 Figure 3-3. Structure of drone
 (출처 : 한국항공우주연구원, 2016)

드론의 구성품과 기술 개발의 특징을 연계하여 보면 위 그림 3-3에서 보는 바와 같이 송수신기는 통신 기술, 모터·변속기·배터리는 동력원 및 이동 기술, 조종기는 인간-이동체 인터페이스 기술과 시스템 통합기술 부문에 각각 매칭될 수 있다. [69]

드론 관련 기술을 분석하기에 앞서 국내외 각종 무인항공기(UAV) 기술 로드맵에 기술 분류를 나열하고, 그중 유·무인 복합 전투에 필요한 기술을 중심으로 살펴본다. 미국 국방성(DoD)의 「Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013~2038」과 「동일 문서 FY2017~2042」, 미국 NASA의 「NASA

Technology Road maps / TA 4: Robotics and Autonomous Systems」, 미국 교통부(DoT)와 미 공군(USAF)의 「Unmanned Aircraft System(UAS) Service Demand 2015-2035」, 유럽의 Horizon 2020 Robotics의 「Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap」 및 한국 과기정통부의 「무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵」의 기술 체계를 비교하면 다음 표 3-1과 같다. 전반적으로 시스템 통합, 센서, 통신 네트워크, 자율지능, 인간-시스템(로봇, 이동 차량) 상호 작용이 강조되었다. 미 국방성 로드맵의 경우 2013년과 달리 2017년에는 기술 분류가 단순화됐지만, 인간-기계 협업이 새롭게 추가돼 유·무인 협업 기술이 민간·국방 모두에서 점점 중요해지고 있음을 알 수 있다. [69]

표 3-1. 국내·외 무인이동체 관련 기술로드맵 기술 분류 비교

Table 3-1. Comparison of technology roadmap technology classifications related to domestic and foreign unmanned vehicles

로드맵		기술분류	로드맵	기술분류
DoD, Unmanned Systems Integrated Roadmap	FY 2013 ~ 2038	• Interoperability and Modularity • Communication Systems , Spectrum and Resilience • Security • Persistent Resilience • Autonomy and Cognitive Behavior • Weaponry	DoT&USAF, Unmanned Aircraft System(UAS) Service Demand 2015-2035	• Airframe • Powerplant • Communication, Command and Control • Sensors • Information Technologies
	FY 2017 ~ 2042	• Interoperability • Autonomy • Network Security • Human-Machine Collaboration	EU Horizon 2020, Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap	• Systems Development • Human Robot Interaction • Mechatronics (Sensor/Actuator / Power/Communication /Materials/Controls) • Perception (Sensing/Interpretation) • Navigation • Cognition
NASA, NASA Technology Roadmaps / TA 4: Robotics and Autonomous Systems		• Sensing & Perception • Mobility • Manipulation • Human-System Interaction • System-Level Autonomy • Autonomous Rendezvous and Docking • System Engineering	과기정통부, 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵	• 탐지 및 인식 • 통신 • 자율지능 • 동력원·이동 • 인간·이동체 인터페이스 • 시스템통합

(출처 : 임승혁, “국방전략 기술 확보를 위한 정부 연구·개발 전략 연구; 무인기의 유무인 복합 전투 수행을 중심으로”, KISTEP, 2020.)

이제 3.1.1. 탐지 및 인식부터 “무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵”(2018)에서 제시한 6대 공통 핵심 기능 기술별로 드론 무기화와 관련되는 기술(핵심기술, 요소기술, 세부 기술)에 대해 분석하도록 하겠다.

3.1.1. 탐지 및 인식

탐지 및 인식(Sensing & Perception) 기술은 무인 이동체의 센서를 통해 외부 환경으로부터 다양한 데이터를 획득하고, 획득된 데이터를 무인 이동체에 사용하기에 적합하도록 처리하여 무인 이동체 자체와 외부 환경을 인식하는 기술이다.

이 기술은 드론이 자신의 위치를 인식하고 비행하는 데 가장 중요한 기술로 3개의 핵심기술(항행 및 항법 기술, 탐지 및 회피기술, 임무 장비 센서 기술)과 7개의 요소기술로 구성된다. 다음 표 3-2는 6대 공통 핵심 기능 기술 중 탐지 및 인식 기술에 대한 핵심기술, 요소기술, 세부 기술 구성이다. 본 절에서는 기술별 세부 기술에 관한 국내외 기술 동향과 기술 수준을 설명하였다.

표 3-2. 6대 공통 핵심 기능 기술(탐지 및 인식)

Table 3-2. Six common core functional technologies (detection and recognition)

핵심기술	요소기술	세부 기술
항법 및 항행 기술	위성항법 및 정밀도 향상 기술	- 위성항법 센서
	실내외 복합항법 기술	- 관성항법 센서 - WiFi/LTE 와 Beacon 등을 활용한 위치추정 기술
탐지 및 회피기술	일반적인 탐지 및 회피기술	- 라이다 센서 - 레이더 센서 - 초음파 센서
	통신 기반 탐지 및 회피기술	- ADS-B 기반 탐지 및 회피기술
임무 장비 센서 기술	감시 및 정찰 임무 센서	- EO/IR - SAR
	광학적 분석 센서	- 다중분광 센서 - 초분광 센서
	화학적 분석 센서	- 환경 감지 센서 (온도/습도 센서, 가스 센서 등)

1) 항법 및 항행 기술

항법 및 항행 기술은 무인이동체가 3차원 공간에서 자신의 자세 및 위치를 정밀하게 예측하기 위한 하드웨어와 데이터 처리 알고리즘으로 구성된다. 무인이동체 위치 데이터 획득을 위한 하드웨어는 위성항법 센서, 관성항법 센서뿐만 아니라, WiFi/LTE 등의 통신망, 비컨(Beacon) 통신장치의 네트워크 신호 세기 및 자기장 패턴 등을 이용한 위치추정 기술이 있다. 또한 보다 위치정보의 신뢰도와 정확도를 높이기 위하여, 여러 센서 장비를 복합적으로 활용한 위치추정 및 매핑기술 등의 알고리즘 기술도 주목받고 있는데, 본 항에서는 위성항법 정밀도 향상 기술과 실내외 복합항법 기술 동향에 대해 집중적으로 살펴 보았다.

가) 위성항법 정밀도 향상 기술

위성항법 신호를 활용하여 위치를 추정하는 위성항법 센서는 보통 실외에서 사용한다. 현재 다중 GNSS 신호를 통해 특정 위성항법 신호가 작동하지 않는 상황에서도 대체 위성항법을 사용하는 기술과 약 10m 정도의 오차를 줄이는 기술을 개발하고 있다. 위성항법 센서의 정확도를 1m 이내로 향상하기 위해 DGPS, SBAS, GBAS 등 위성항법 보완 기술이 개발되고 있으며, 결정고도 200피트 이상까지 정밀한 접근이 가능한 GBAS CAT(Category)-1 기술이 개발되고 있다. 이를 기반으로 50피트 이하의 정밀착륙이 가능한 CAT-II/III 기술 연구 및 제품 개발이 진행되고 있다. SBAS는 현재 미국, 유럽, 인도, 일본, 러시아 등에서 개발 및 운영 중이며, 대부분의 SBAS 시스템은 APV-I (Approach Procedures with Vertical Guidance) 성능을 제공한다. GPS 외에도 GLONASS, Beidou, Galileo, QZSS, IRNSS 등의 전역/지역 위성항법 시스템 신호를 단일 칩 셋에서 수신하는 수신기도 개발되고 있다.

현재 우리나라는 유럽 연합에서 진행 중인 갈릴레오 프로젝트에 참여해 위

성항법 핵심 원천기술 확보를 위한 국제공동연구를 진행하고 있다.

차세대 한국형 위성항법시스템에 적용할 수 있는 궤도 및 항법 신호 설계, 시뮬레이터 개발 및 위성항법 요소 성능 분석, 항법 신호 품질 모니터링 기술, 재밍 방지 기술, 네트워크 연동 위성항법 기술 등 요소기술을 연구하고 있다. GNSS만을 이용한 드론 비행 제어, 실시간 증강항법을 통한 항법 정확도 및 정밀도 향상 기술, 항법 신뢰성 확보 등 위성항법을 활용한 무인 이동체 항행 응용 기술에 대한 기초연구를 진행하고 있다.

나) 실내외 복합항법 기술

실내외 복합항법 용 관성항법 센서는 측정된 가속도 및 각가속도 정보를 계산하여 초기위치에서 이동 위치를 추정한다. 관성항법 센서 오류는 자이로스코프 및 가속도계 측정 오류와 지구 중력 모델의 영향을 받는다. 자이로스코프의 바이어스 안정성 기준이 0.01 deg/hr인 경우 시간당 1 NM의 위치추정 오류가 발생한다. 자이로스코프 대부분은 RLG(Ring Laser Gyroscope)를 사용하고 있으나 MEMS 자이로스코프로 대체되고 있으며, 정확도 향상을 위해 원자 간섭 효과를 이용한 자이로스코프 기술이 연구되고 있다. 가속도계의 경우 정전용량 감지 및 진동형 가속도계를 사용하며 바이어스 안정성은 수십 μg ~mg 범위이다.

MEMS 기반의 초소형 관성센서 모듈을 탑재한 제품이 개발되고 있으며, 현재는 칩셋을 수입하여 모듈을 제작하거나, 특정 성능의 응용을 목표로 하는 미세관성 센서를 개발하여 무인항공기 및 지상 차량 제어에 활용하고 있다. 유도무기 분야에서는 마이크로인피니티(Micro infinity), 유비트로닉스(Ubittronics), 한화(Hanwha) 등 기업들이 유도무기 및 무인기용 항법 센서 10°/hr MEMS 자이로와 30g/1mg MEMS 가속도계를 개발하고 있다.

Wi-Fi, LTE 등 통신망과 비콘 장비망의 신호 세기 정보와 수신신호 지연

시간을 활용하여 위치를 추정하는 연구가 진행되고 있다.

Wi-Fi 및 LTE 통신망의 액세스 포인트(AP)로부터 신호 세기가 가장 높은 지점을 찾아 특정 패킷의 왕복 시간을 계산하거나 알려진 신호 세기의 패턴을 추적하여 위치추정 방법을 사용하는 방법이 사용되고 있다. 공간의 내부 배치, 액세스 포인트의 디스패치 간격, 네트워크 지연시간 등에 따라 위치추정의 정확도가 크게 영향을 받기 때문에 반드시 고려해야 하는 문제점이 있다.

위성항법 신호를 사용할 수 없는 실내 공간에 대해서는 관성항법 센서, 네트워크, 라이다(LiDAR), 레이더, 초음파 센서 등 거리 센서를 활용한 측위 추정 기술에 관한 연구가 진행되고 있다.

국내에서는 카메라 영상과 LiDAR를 사용한다. 레이더 등 정밀 센서 데이터 융합 연구, 정밀 센서 데이터를 GPS 및 지리정보와 융합하는 방법 연구, 인공지능 기술 결합 연구 등을 진행하고 있다. 대학과 스타트업은 인공지능과 영상 기반 SLAM 기술을 사용하여 실시간 실내 위치 인식 기술을 개발 중이고, 임베디드 환경에 따라 실시간 작동을 목표로 하고 있다.

2) 탐지 및 회피기술

탐지 및 회피기술은 무인이동체가 3차원 공간에서 외부 물체의 위치와 움직임을 탐지하고 회피하는 데 필요한 하드웨어와 데이터 처리 알고리즘 기술로 구성된다. 일반 탐지 및 회피 센서 기술(라이다, 초음파, 레이더 등 거리 탐지 센서)과 통신 기반 탐지 및 회피기술(ADS-B 기반 탐지 및 회피기술 등)을 중점적으로 다룬다.

가) 일반적인 탐지 및 회피기술

일반 탐지 및 회피기술은 마이크로파, 광파, 초음파 등을 이용한 파형 및 측정 방식(삼각측량, 간섭계, 시간 지연 측정)에 따라 무인 이동체에 장착된

센서를 이용하여 장애물의 위치를 추적하는 기술이다. 이에 따라 다양한 유형의 탐지 및 회피 센서 종류가 구분된다.

(1) LIDAR 센서

250nm~11μm 파장 대역의 레이저 광원을 이용하여 방출된 레이저 펄스 신호의 반사시간이나 반사된 신호의 위상변화량을 측정하여 거리를 측정한다. 측정 범위는 LiDAR 시스템의 시야(FoV) 및 FoV 중첩 특성, 레이저 출력, 광학 시스템 성능에 따라 결정되며 감지 범위는 샘플링 속도에 따라 결정된다.

스캐닝 형 LIDAR의 경우 수평 방향으로 360도 이상의 스캐닝 각도를 가지지만, 수직 방향으로 스캐닝이 제한된다.

반도체 기반 라이더는 스캐닝 라이더와 달리 구동부 없이 광 위상배열(OPA)을 이용해 광 펄스의 위치를 조절할 수 있어 소형화할 수 있다. Quanergy 社の S3 LiDAR는 수평/수직 해상도가 120도인 것으로 알려졌으나 아직 상용화되지는 않았다.

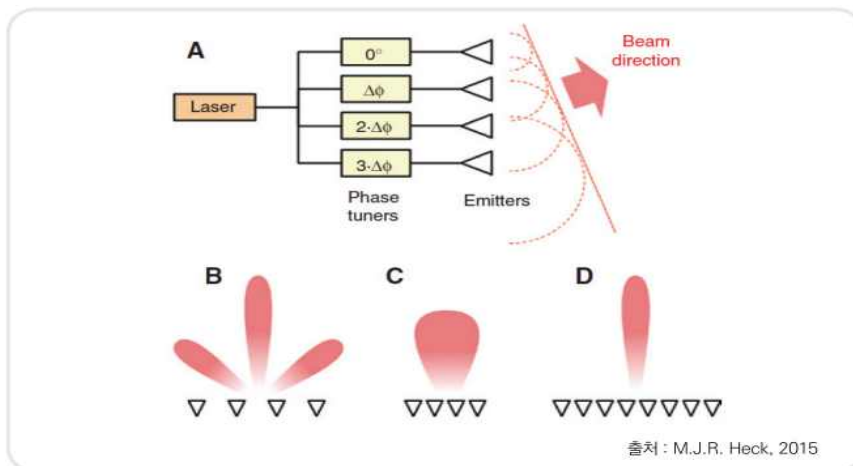


그림 3-4. Phase Array 기본원리

Figure 3-4. Phase Array Basic Principle

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 192)

국내에서도 LiDAR 센서를 무인 이동체에 탑재하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 기존 LiDAR보다 고성능, 소형화 장비개발을 목표로 하고 있다. 한국전자통신연구원, 전자부품연구원, 한국생산기술연구원 등 연구기관에서 센서 하드웨어 기술을 개발하고 있으며, 국내외 대학 및 스타트업이 무인항공기, 자율주행차 관련 대회에 참가하고 있다. LiDAR를 활용한 무인이동체 탐지 및 회피기술의 성능개선 연구가 진행되고 있다.

(2) 레이더 센서

10GHz~100GHz 주파수 대역의 전자파를 송신하고, 표적에서 반사 및 산란하는 신호의 왕복 시간을 기준으로 거리를 측정하며, 안테나의 지향성 특성을 통해 표적 물체와의 방위각을 측정한다. 레이더 센서는 레이저, 적외선, 가시광선 등의 광센서를 기반으로 한 거리 센서에 비해 안개, 눈, 비 등 기후변화에 대응할 수 있는 장점이 있지만 감지 거리와 감지 속도를 향상하기 위해 높은 신호 처리 성능이 필요하다.

단거리 레이더는 고 정밀도가 요구되기 때문에 24GHz, 79GHz 대역의 UWB(Ultra-Wide Band) 레이더가 개발되고 있으며, 장거리 레이더는 77GHz 대역의 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) 레이더가 사용되고 있다. 현재 UWB 레이더는 헬스케어 분야에 주로 활용되고 있으며, 무인이동체 분야에서는 기술적 미성숙으로 인해 FMCW 레이더가 주로 개발되고 있다. 레이더 기술과 관련해서는 자동차의 ADAS 분야와 후지쓰, ADC, 델프트, 보쉬트 등에서 활발한 연구가 진행되고 있으며, 텐소 등 제조사에서는 77GHz 대역의 레이더를 상업적으로 판매하고 있다.

공항, 선박, 헬리콥터용 레이더 국산화 등 다양한 국산화 연구 개발이 정부에서 주도하고 있으며, 자동차용 ADAS 분야에서 요구되는 기술과 다양한 플랫폼(선박, 회전익기)에 활용되는 기술이 무인이동체로 Spin-off 개발이 예상된다.

(3) 초음파 센서

20kHz 이상의 비가청 주파수 대역의 음파 펄스를 방사하고, 음파가 물체에 도달한 후 반사되는 반향 파 간의 시간차를 이용하여 거리를 측정한다. 초음파 센서는 광학 및 무선 거리 센서에 비해 감지 거리가 짧지만, 대상 물체와 표면 재질의 색상과 투명도에 관계없이 거리를 측정할 수 있다. 또한, 영상 및 무선 장비의 활용이 어려운 수중 환경에서도 활용도가 높다. 초음파 센서의 감지 범위는 약 2~10m이며 전송 주파수 특성, 습도, 온도 등에 영향을 받는다. 따라서 초음파 감쇠 효과가 최소인 저온, 저습 조건에서 사용하거나 온도와 습도를 측정하는 보정 방법이 필요하다. 저주파수 대역의 초음파를 이용할 때 센서 감지 범위 증가, 초음파 수신부의 감지 능력이 향상되어 낮은 세기의 반향 파에서도 거리정보 획득이 가능하다.

나) 통신 기반 탐지 및 회피기술

항공교통관제소와 항공기가 주기적으로 위치, 속도 등의 정보를 공유하는 ADS-B는 기존 레이더를 활용한 감시시스템보다 설치가 간단하고 쉽다는 장점이 있다. NASA는 표준 978MHz 및 1,090MHz 주파수 대역에서 ADS-B 메시지 프로토콜 방식을 이용한 무인기 탐지 및 회피기술을 개발했으며, MQ-9급 이카나(Ikhana) 무인기의 시험비행을 통해 FAA 인증 성능 적합도 시험을 진행했다. 2016년 4월 스타트업 Vigilant Aerospace System과 라이선스 계약을 체결했다.

국내에서도 소형무인항공기의 급속한 확산과 무인항공기의 증가로 인해 무인항공기에 대한 탐지 및 회피기술의 개발이 요구되고 있다. 한국항공우주연구원은 2012년부터 ADS-B Out 항공기 모니터링 및 시뮬레이션과 ADS-B를 활용한 무인항공기 위치추적 시험을 시행하였다. 또한 국토부 중심으로 소형 무인항공기 관제시스템 구축을 추진하고 있어서 이를 통해 무인이동체의 위

치정보 데이터베이스를 활용한 탐지 및 회피기술이 개발될 것으로 기대된다.

3) 임무 장비 센서 기술

임무 장비 센서는 무인이동체의 임무를 수행하는 데 사용되는 센서의 총칭으로, 무인이동체의 임무 성격에 따라 다양한 형태의 센서가 활용된다. 감시 및 정찰 임무용 센서(EO/IR, SAR 등), 광학 분석용 센서(다중 스펙트럼 센서, 초분광 센서 등), 화학 분석용 센서(환경 감지 센서 등)가 있다.

가) EO(전자광학) / IR(적외선)

가시광선, 적외선 등의 광파 신호를 감지, 처리하여 영상정보를 얻은 후, 대상물을 감지, 인식, 식별하는 센서이다. EO/IR 장비는 CCD/CIS 및 IR 이미지 센서의 기술이 발전함에 따라 소형화되고 전력 소모가 감소하고 있다. 현재 무인 이동체의 진동으로 화면 흔들림 및 왜곡을 방지하기 위한 짐벌 하드웨어 및 안정화 소프트웨어 기술을 개발하고 있다. 현재 무인 이동체용 영상 장비의 경우 짐벌과 EO/IR 센서를 통합하면 무게가 약 0.8~5kg 정도, 소비전력은 약 10~60W이다.

IR 카메라는 냉각식과 비 냉각식으로 구분된다. 냉각식은 해상도와 감도가 뛰어나지만, 비 냉각식 IR 센서는 MEMS 방식을 사용한다. EO용 CMOS 이미지 센서와 같은 추세에 따라 적외선 이미지 센서의 픽셀 크기는 25 μ m에서 17 μ m로 감소하고, 웨이퍼 크기는 6인치에서 8인치로 증가하고 있다.

국내에서는 EO/IR 장비가 주로 국방 및 위성 장비용으로 개발되었으며, 이를 민간 분야에 적용하기 위한 연구가 진행 중이다. IR 분야에서는 1988년부터 국방과학연구소에서 냉각식 탐지기를 중심으로 개발이 진행되고 있으며, 아이쓰리시스템이 주요 시제품 업체로 참여하고 있다. 비 냉각식 IR 센서의 경우 ETRI와 아이쓰리시스템이 50 μ m 피치 320x240급 검출기에서 17피치

640x480급 센서를 개발하고 있으며, 나노기술연구소는 8인치 a-Si용 표준 배치 공정을 개발하여 적외선 센서 공정 플랫폼이 확보되었다.

나) SAR

SAR(Synthetic Aperture Radar) 장비는 공중에서 레이더파를 순차적으로 조사한 뒤, 표적 물체에 반사된 레이더파를 합성해 영상을 생성하는 장비다. 기상 조건과 관계없이 주야간 작동이 가능하지만, 광센서에 비해 무겁고 전력 소모가 더 많은 문제가 있다. 고주파 RF 센서 부품과 고속 신호 처리 장비의 개발로 SAR 장비의 소형화, 경량화가 가능하며, 탑재 처리 및 안테나 기술의 발전으로 1m 이하의 해상도, 이동표적 식별, 실시간 신호 처리 기술이 구현된다.

국내 SAR 기술은 주로 국방 분야에 적용하기 위해 개발되었으며, 이를 민간에 적용하기 위한 연구도 진행되고 있다. 국산 SAR 장비는 2000년대 중반 국방과학연구소에서 1.5m급 항공기 탑재형 소형 SAR 장비(KOMSAR)를 개발했고, LIG넥스원은 0.3m급 NexSAR를 개발했으며, 대학 등 기관에서는 항공기용 SAR의 이미지 처리 성능을 향상하기 위해 현재 GPS/INS 융합 센서 기술 및 신호 처리 기술을 연구하고 있다.

다) 분광 센서

가시광선과 근적외선 파장 대역을 수백 개의 대역으로 나누어 각 스펙트럼 대역에서 방출되는 에너지를 별도로 감지한다. 분광센서는 파장의 개수에 따라 다중분광 센서와 초분광 센서로 구분된다. 다중 스펙트럼 센서는 주로 10미만의 제한된 파장 범위에서 지면에서 반사되거나 복사되는 에너지를 감지할 수 있으며, 지면에서 반사되거나 복사되는 에너지를 감지할 수 있다. 스펙트럼 센서는 여러 개의 연속적이고 좁은 스펙트럼 대역에서 방출되는 에너지를 감지할 수 있다. IMEC가 개발한 초미세 스펙트럼 필터는 560nm~1,000nm 사이에 100개의 스펙트럼 대역을 가지며, 필터 대역폭은 560nm에서

3nm, 1,000nm에서 20nm이며, 필터 투과율은 85%이며, 최대 프레임 레이트는 500 fp까지 가능하다.

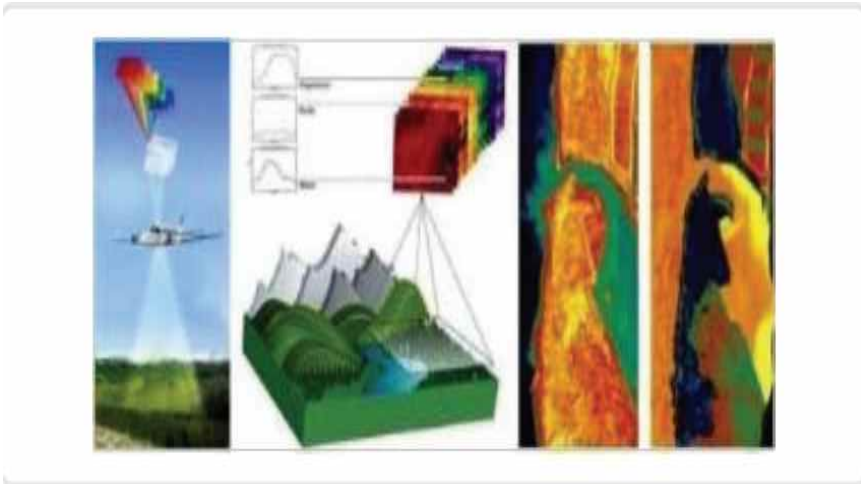


그림 3-5. 공중 무인이동체에 탑재된 초분광 카메라 응용(예시)

Figure 3-5. Example of hyper spectral camera application mounted on an aerial unmanned vehicle

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 197)

국내 업계에서는 CMOS 이미지 센서 기술과 나노 광학필터 어레이 기술을 융합해 스마트폰에 장착할 수 있는 크기와 가격대의 제품을 개발하고 있다.

라) 환경 감지 센서

수질, 대기 등에서의 환경 오염 물질이 인간과 생태계에 미치는 영향을 실시간 모니터링할 때 활용된다. 환경 감지 센서에는 온도/습도 센서, 가스/압력 센서, 먼지 및 자외선 센서, 수질 센서가 포함된다. 온습도 복합센서는 IC형 온도센서와 정전 용량형 습도 센서를 SiP나 SoC 형태로 통합한 것으로, 가격과 소형화 측면에서 유리한 SoC 방식이 주류를 이룰 것으로 예상된다. 가스

센서의 전도성 및 전기화학적 공식은 MEMS 마이크로 히터 도입 및 나노 감지 소재 도입을 통한 소형화 및 저전력 소비를 통해 더욱 민감해지고 있다. 복합센서로는 독일 보쉬 센서텍(Bosch Sensortec), 스위스 센시리오니(Sensirioni), 오스트리아 AMS 등이 있으며, 이들은 전 세계적으로 온도, 습도, 압력, 일산화탄소, 알코올, VOC 가스 등을 복합적으로 측정할 수 있는 센서 모듈을 개발하고 있다.

환경 감지 센서는 다음 표 3-3에서 보듯이 국내 많은 기업이 가스 감지 센서와 온습도 센서를 개발해 상용화하고 있다.

표 3-3. 환경탐지 센서 국내기술 동향/개발 업체 및 특징

Table 3-3. Environmental detection sensor domestic technology trends/ evelopers and characteristics

업체명	개발제품	특징
센텍코리아	반도체식 가스센서	알콜, LPG/LNG, VOC, CO 측정
이엘티센서	전기화학적 가스센서	O ₂ , CO, NO ₂ , H ₂ S, H ₂ 등을 측정
와이즈산전	MEMS형 가스센서	반도체식, 광학식, 전기화식 MEMS 센서개발
삼영에스앤씨	온습도센서, 먼지센서	정전용량 센싱신호처리 ROIC칩을 SiP 형태로 모듈화

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 201)

4) 국내기술 수준 분석

“무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018)” 자료에 따르면 관련 전문가 설문 결과, 탐지 및 인식 기술의 기술 수준을 5단계(기반 없음-학습-추격-선 두-선도)로 구분할 경우, 국내기술 역량은 학습과 추격 사이 수준인 약 65% 수준에 해당한다고 응답하였다. 기술 격차는 선도 국가인 미국에 대비하여 약 4년인 것으로 식별되었다.

전체적인 기술 수준은 항법 및 항법 기술과 탐지 및 회피기술은 유사하며, 임무 장비 성능개량 기술은 약 60% 수준의 기술 수준을 가지고 있다. 기술 격차는 미국과 약 3.8년, 유럽과 약 3년이다. 일본과 비교하면 약 2.2년 정도인데, 중국의 경우 일부 기술(실내외 겸용 내비게이션)에서는 기술 격차가 없다.

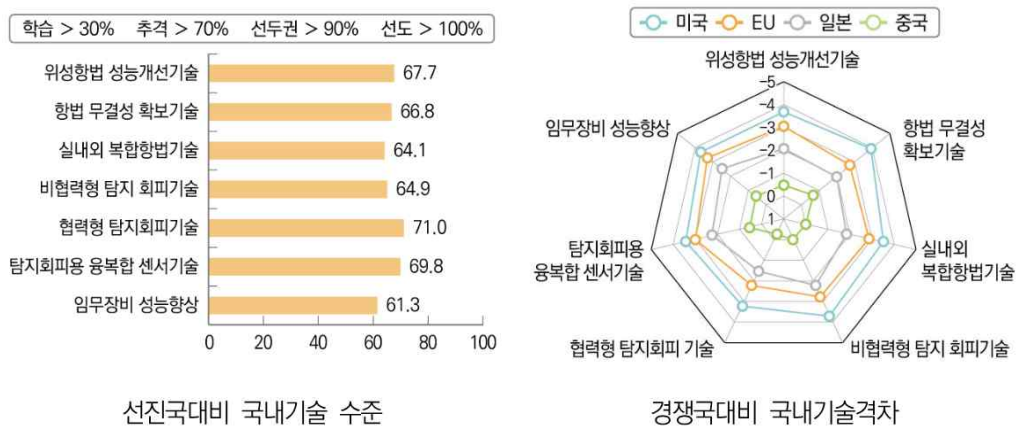


그림 3-6. 국내기술 수준 분석(탐지 및 인식 기술)

Figure 3-6. Domestic technology level analysis (detection and recognition technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 203)

위 분석 결과에 따르면 “임무 장비 성능향상 기술(감시 및 정찰 임무 센서, 광학적 분석 센서, 화학적 분석 센서)¹⁷⁾ 61.3%가 최저로 나타났으며 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 부여할 수 있을 것이다.

17) 임무 장비 성능향상 기술은 핵심기술에 속하며 하위 요소기술은 “감시 및 정찰 임무 센서, 광학적 분석 센서, 화학적 분석 센서”가 있다.

3.1.2. 통신

다음 그림 3-7에서 보듯이 무인이동체 통신 기술은 3개의 핵심기술(그림 중앙의 통신 미디어, 네트워크, 통신보안)과 7개의 요소기술로 구분할 수 있다.



그림 3-7. 통신 기술 개략도

Figure 3-7. Communication technology schematic diagram

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 210)

다음 표 3-4는 6대 공통 핵심 기능 기술 중 통신 기술에 대한 핵심기술, 요소 기술, 세부 기술 구성이다.

표 3-4. 6대 공통 핵심 기능 기술(통신)

Table 3-4. Six common core functional technologies (Communication)

핵심기술	요소기술	세부 기술
통신 미디어 기술	전파 통신 기술	- 3차원 채널 환경 무선통신 기술 - 다수 무인 이동체 동시 운용 무선통신 기술 - 무인 이동체용 안테나 기술 - 무인 이동체용 소형 경량 위성통신 시스템 기술
	수중통신 기술	- 통신거리 증대 기술 - 통신 속도 향상 기술 - 전송지연 개선 기술
	광통신 기술	- 무선 광통신(FSO, Free Space Optics) 기술 - 가시광무선통신(VLC, Visible Light Communication) 기술
네트워크 기술	애드혹 네트워크 기술	- FANET(Flying Ad Hoc Network) 기술
	인프라 네트워크 기술	- 무인이동체 간 통합 네트워크 운용 기술 - 공중 육상 무인이동체 간 통신 기술
통신보안 기술	통신 및 네트워크 보안 기술	- 드론과 센서 간 보안 통신 기술 - 제어용 통합 네트워크 보안기술
	불법행위 억제 기술	- 재밍 - 스푸핑

1) 통신 미디어 기술

세계전파통신회의(WRC) 등 표준화 기구에서는 무인이동체 관련 주파수 할당 필요성과 무인이동체에 대한 추가 주파수 분배 필요성이 논의되고 있다. 2012년 세계전파통신회의에서는 5.030~5.091GHz를 무인기 지상관제 전용으로 할당하였고, 960~1,164GHz는 기존 업무에 해로운 간섭을 일으키지 않는 범위 내에서 관제하는 데 사용하는 것으로 하였다. 2015년 세계전파통신회의에서는 위성을 이용하여 보이지 않는 영역의 무인항공기를 제어하기 위한 주파수(12.2~12.75GHz 대역, 29.5~30GHz 대역)가 국제적으로 보급되었다. 이 밖에도 미국

RTCA(Radio Technical Communication for Aeronautics)에서 실시하고 있는 무인기 지상관제용 960~1,164MHz 일부를 추가 공급하기 위한 연구와 무인기 지상관제용 통신 링크 표준 개발 등이 진행 중이다.

가) 전파 통신 기술

3D 채널 환경을 고려한 무선통신 기술, 다수의 무인이동체 동시 운용을 고려한 무선통신 기술, 무인이동체에 대한 최적 안테나 기술, 무인이동체를 위한 소형·경량 위성통신 시스템 기술 등이 있다.

나) 수중통신 기술

수중에서 운용되는 무인이동체의 활용 분야와 임무 영역을 확대하기 위해 통신거리를 늘리고, 통신 속도를 향상하며, 전송지연을 개선하는 기술이 있다.

다) 광통신 기술

무선 광통신(FSO, Free Space Optics) 기술은 무인비행체 임무 수행 시 영상 임무 장비 및 각종 센서로부터 생성되는 대용량 임무 데이터를 처리하고, 다양한 임무 환경에서 무인비행체의 활용도를 높이고, 특수 임무에서 무인비행체를 운용할 수 있게 하는 기술이다. 환경과 공간, 작동을 위한 가시광 통신(VLC) 기술이 있다.

2) 네트워크 기술

Ad Hoc 네트워크 기술과 인프라 네트워크 기술로 구성된다. 최적화된 Ad Hoc 네트워크 기술은 효율적인 임무 수행을 위해 다수의 무인이동체 간 협력을 기반으로 하며, 인프라 네트워크 기술은 다양한 통신 인프라와 다수의 무인이동체가 정보를 공유해 단일 통신 관제 영역을 넘어 확장된 임무를 가능하게 한다.

가) 애드혹 네트워크 기술

단일 무인이동체 임무를 수행할 때 제한됐던 임무 유형, 임무 횟수, 임무 수행 영역 등의 한계를 극복하기 위한 기술을 말한다. 여기에는 효율적인 임무 수행을 위한 다중 무인 체 간 협력을 기반으로 한 최적화된 Ad-hoc 네트워크 기술, 다양한 통신 인프라, 단일 통신 관제 영역을 넘어 임무 확장이 가능하도록 정보를 제공하는 인프라 네트워크 기술로 구성된다.

다수의 무인이동체 간 고신뢰성, 고가용성 운용을 지원하는 FANET(Flying Ad Hoc Network) 기술은 현재 조지아공대, 버클리대학교 등 학계를 중심으로 관련 테스트 네트워크의 연구 및 구축을 통해 기초실험을 진행하고 있으며, 미국에서 진행 중인 이 사업은 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration)이 주도하여 무인항공기가 미국 영공에 안정적으로 진입할 수 있도록 하는 NextGen(Next Generation Air Transportation Systems) 프로젝트를 통해 고신뢰성 제어 통신 기술을 개발하고 있다. 유럽은 민간 무인이동체 관련 정책 자문기관인 ERSO(유럽 연합 RPAS 운영그룹) 주도하에 무인이동체의 유럽 영공 진입을 통제하기 위한 통신 기술을 개발하고 있다.

무인이동체 미래선도 핵심기술 개발팀은 고속 이동과 토폴로지 변화에도 빠르고 안정적으로 동작하는 FANET(Flying Ad Hoc Network)을 연구하고 있으며, 인프라가 없는 환경에서도 무인이동체를 활용한 임시 네트워크 인프라를 개발하고 있다. 셀룰러 및 액세스로, 네트워크 연결을 통한 무선 기지국의 개념을 제시한다.

나) 인프라 네트워크 기술

최근 무인 이동체 간 협업 임무를 수행하기 위한 통합 네트워크 운영 기술 연구가 본격적으로 시작됐다. 미국 국방고등연구계획국(Defense Advanced Research Projects Agency)은 CODE(Collaborative Operations in Denied

Environment) 프로젝트를 통해 기존 무인이동체의 임무 능력을 확장하는 자동화 및 협업 알고리즘을 개발하고 있으며, 유럽 연합(EU)은 이를 통해 무인이동체 간 정보 교환 및 의사결정을 개발하고 있다. 플러리쉬 프로젝트, 자율 임무 수행을 위한 공중 무인체와 육상무인체 간 통신 기술을 개발하고 있다.

또한, 차세대 통신 기술을 기반으로 실시간 정보 교환, 대규모 무인이동체 지원, QoS 보장 기술 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 카네기 멜런대학교 사이 랩 모빌리티 연구센터에서는 드론의 이동통신 지원과 공중 이동통신 서비스 수신을 위한 전파 모델링 연구를 진행하고 있으며, 구글은 28GHz 초고주파 대역을 활용해 LTE보다 40배 속도에 달하는 5G 신호를, 무인항공기에서 지상으로 발사하는 프로젝트인 스카이벤더(Skybender)를 진행하고 있다.

KT는 재난 재해나 사람과 차량의 접근이 어려운 위험 지역이나 고립된 지역에서 통신 서비스를 제공하기 위해 기지국 핵심 장비를 드론에 부착하는 신개념 모바일 기지국을 시연하였고, LG전자는 3GPP의 LTE 기반 차량 간(V2V) 통신 기술(V2X)인 차량 대 차량(V2V), 차량 대 보행자(V2P), 차량 대 인프라(V2I)를 모두 활용한다.

상용 이동통신 네트워크를 이용하여 저고도 무인이동체에 대한 무선간섭 또는 간섭, 무인이동체 식별, 상호충돌방지, 비 가시비행, 장거리 자율 비행, 상용차를 이용한 지오펜스 대응 등을 지원하는 무인이동체 네트워크 인프라 상호 연동 기술 개발이 계속되고 있다.

3) 통신보안 기술

무인이동체의 안전한 운행을 위해 통신 해킹을 방지하는 통신 및 네트워크 보안 기술과 재밍(전파방해), 스푸핑 등 불법행위 억제 기술로 구성된다.

가) 통신 및 네트워크 보안 기술

미국에서는 무인이동체 관련 통신 및 네트워크 보안 기술이 개발되고 있지만, 체계적인 보안 해결책 개발은 부족한 실정이다. 미국 퍼듀대학교 연구진은 공개키 기술을 이용해 드론(Parrot의 AR 드론)과 센서 간 보안 통신을 구축하고 있다.

전자통신연구원, 한국과학기술원 등 연구기관과 학계에서는 보안 강화를 위한 기술 개발을 추진하고 있다. 한국전자통신연구원은 고신뢰성 다형 무인이동체 통신 및 보안 소프트웨어 기술 개발 사업의 일환으로 관제용 통합 네트워크 보안 기술을 개발하고 있으며, 고려대학교는 드론 전용 보안 메커니즘 및 영상정보를 개발하고 있다. 사이버 물리시스템(CPS) 관점에서의 유출, 대응 방법을 연구하고 있다.

나) 불법행위 억제 기술

무인 이동체에 대한 공격에 대비하기 위해 안티 스푸핑(Anti Spoofing) 등 다양한 안티드론 기술이 개발되고 있다. 안티드론 기술은 드론 등록, 지오펜스 기술, 드론 무력화 방법 등 다양한 방식으로 개발되고 있다. 미 육군은 모든 지휘관이 무인항공체계 위협에 대응하기 위해 임무 지휘, 탐지, 식별 및 방어를 위한 기술을 활용할 수 있도록 모든 전략 및 전술 기능을 통합하고 있다. Airbus의 Counter-UAV 시스템에는 레이더가 장착되어 있으며 적외선 카메라와 방향 측정 기술을 결합하여 드론을 식별하고 5~10km 이내의 드론에 대한 잠재적 위협을 평가하고 전파 방해 장치를 사용하여 대상 드론과 원격 운영자 간의 주파수 연결을 방해한다. 록히드마틴의 ICARUS는 전송된 이미지, 소리, 무선 주파수 센서를 기반으로 표적을 식별해 다양한 위협 환경에서도 무인기를 운용, 탐지, 식별하고, 무인기의 궤적을 추적해 무력화한다. 아마존은 드론이 GPS 신호를 잃을 때 태양이나 천체를 인식해 방향을 제어하

는 감지 기술과 메시 네트워크에서 신호의 무결성을 지속해서 탐지해 해킹과 재밍에 대비하는 기술을 특허로 출원했다.

국내 항 재밍 기술 연구의 하나로 제어신호 및 GPS 신호 증폭을 위한 하드웨어 및 안테나 기술 연구가 진행되고 있으나, 안티드론에 관한 기술 연구는 초기 단계이다.

4) 국내기술 수준 분석

‘무인이동체 기술혁신과 성장을 위한 10개년 로드맵(2018)’에 따르면, 국내 통신 기술 전문가를 대상으로 설문 조사한 결과, 국내 무인이동체 통신 기술 수준은

전반적으로 선진국 수준인 것으로 나타났다. 전파 통신 기술, 애드혹 네트워크 기술, 인프라 네트워크 기술 등의 역량을 보유하고 있다. 선도국 대비 약 70% 수준으로 선도국의 기술을 추적하는 단계에 있으며, 기타 기술은 선도 기술을 학습하는 과정에 있다. 기술 수준이 가장 낮은 것으로 조사된 수중통신 기술은 선진국 대비 약 40% 수준으로 기초연구가 완료됐다. 국내 무인이동체 통신 기술 격차는 경쟁국 대비 미국 3~4년, 유럽 2~3년, 일본 1~2년 수준으로 중국과 기술 격차는 거의 없는 것으로 보인다.

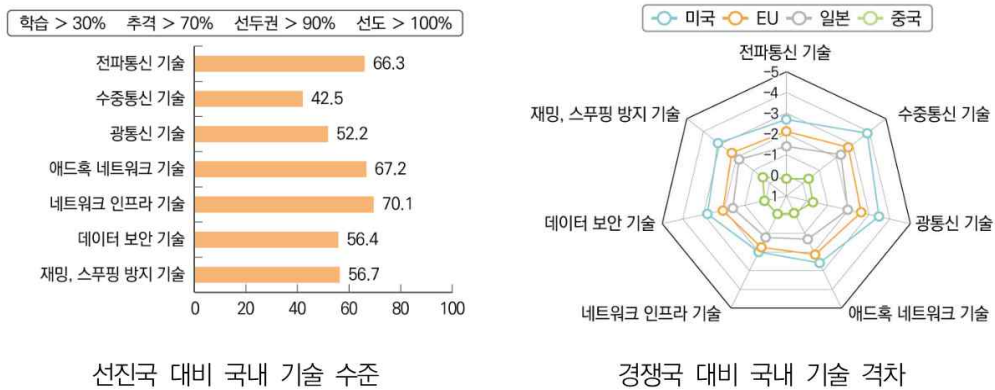


그림 3-8. 국내기술 수준 분석(통신 기술)

Figure 3-8. Domestic technology level analysis (communication technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 221)

위 분석 결과에 따르면 무인항공기 기술과 관련이 적은 수중통신 기술과 광통신 기술을 제외하면 선진국 대비 56%로 국내기술 수준이 가장 저조한 데이터 보안 기술(통신 및 네트워크 보안 기술) 56.4%, 재밍 스푸핑 방지 기술(불법행위 억제 기술) 56.7%¹⁸⁾가 최저로 나타났으며 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 부여할 수 있을 것이다.

3.1.3. 자율지능

자율지능 기술은 4개의 핵심기술(상황 인식, 자가 운영, 자가 건전성 관리, 지능 협업)과 10개의 요소기술로 구성된다.

다음 표 3-5는 6대 공통 핵심 기능 기술 중 자율지능 기술에 대한 핵심기술,

18) 차트 분석에서는 “데이터 보안 기술, 재밍 스푸핑 방지 기술”로 표현한 내용이 무인이동체 기술 혁신과 성장 10개년 로드맵(2018) 분석 내용에서는 “통신 및 네트워크 보안 기술, 불법행위 억제 기술”과 같은 기술임.

요소기술, 세부 기술 구성이다.

표 3-5. 6대 공통 핵심 기능 기술(자율지능)

Table 3-5. Six common core functional technologies (autonomous intelligence)

핵심기술	요소기술	세부 기술
상황 인식 기술	상황 인지 기술 (perception)	- 무인 이동체용 객체 검출 데이터 기반 상황 인지 시스템 구축 기술 - 다수/다중 센서 최적 구성 기술
	상황 이해 기술 (comprehension)	- 무인기의 영상정보 기반 충돌 회피기술 - 인식 정보 기반 상황 분류 기술
	예측 기술 (projection)	- 모델링이 불가능한 시스템 상황 예측 기술
자가 운영 기술	자율 임무 계획 기술	- 다중 임무 설정/할당 및 임무 평가 기술
	자율 유도제어 기술	- 자가 운영을 위한 자율 경로 계획 기술
자가 건전성 관리 기술	건전성 진단 기술	- 소리/진동 등 신호를 활용한 고장 진단 기술
	자가 치유 기술	- 자가 손상 치유를 위한 매니플레이션 기술
	손상 적응 기술	- 고장 대응 기술
지능 협업 기술	임무 분산 할당 기술	- 개체 특성을 고려한 임무 분산 할당 기술
	다수 무인이동체 운용 기술	- 협동 임무 중인 무인이동체 사이의 정보 교환 기술

1) 상황 인식 기술

자율지능에서 상황 인식은 센서 정보를 분석해 기계가 현재 어떤 작업을 하고 있는지 판단하는 기술이다. 센서로부터 데이터를 얻기 위한 인지, 정보의 처리와 분석을 통한 이해, 시스템과 환경의 변화 예측의 3단계로 나누어진다.

최근 딥러닝을 활용한 인지 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 특히 객체 검출과 음성인식 성공률이 크게 향상돼 음성인식 관련 제품은 상용화 단계에 있다. 현재까지 다양한 센서와 베이지안 필터링 및 신호 처리를 기반으로 한 측위 및 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 알고리즘이 실

내 및 실외 자율 주행에 적용되어 사용되고 있으며, 인식 기술의 향상을 활용한 무인항공기의 영상정보 기반 충돌 방지 기술이 활발히 연구되고 있다. 구글, 테슬라 등은 자율주행차에 딥러닝을 적용해 스스로 상황을 분류하고 제어하는 연구를 진행 중이다.

다음 그림 3-9에서 보듯이 네이버랩스는 로봇공학, 자율 주행, 인공지능 개발에 주력하고 있으며, 로봇공학 분야에서는 2017년 2월 실내 자율 주행 및 지도 제작 로봇인 M1을 공개했다. LiDAR 센서를 활용한 주변 환경 인식 기술은 2017 서울모터쇼에서 공개됐다.

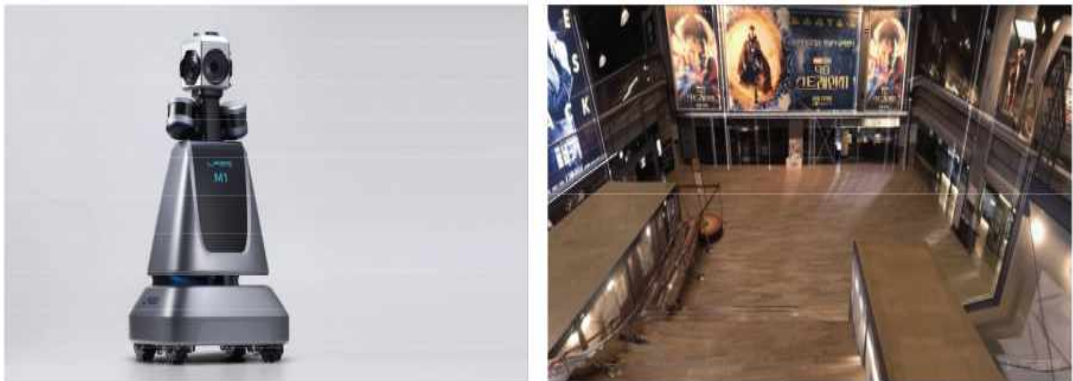


그림 3-9. 네이버랩스의 M1 로봇(좌), M1이 작성한 실내 지도(우)

Figure 3-9 Naver Labs' M1 robot (left), indoor map created by M1 (right)

(출처: Naver Labs, 2017. / 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 236)

네이버는 2016년 8월 인공지능 기반 번역기 파파고(Papago)를 공개했다. 2017년 4월 현재 한국어, 중국어, 영어, 스페인어, 프랑스어를 지원한다.

2) 자가 운영 기술

자가 운영이란 시스템이 인지한 상황에 따라 자체적으로 임무를 결정하고 필요한 작업을 수행하는 것을 의미한다. 성과를 모니터링 및 평가하고 후속 조치

를 결정하기 위한 일련의 프로세스도 포함된다.

아직 전 세계적으로 자율성 수준에 도달하지 못했다. 로봇, 자동차 등 많은 산업에서는 여전히 자동화를 통해 문제를 해결하고 있으며, 수많은 상황에 대해 사전에 작업 방법을 결정하여 계획과 스케줄링을 수행하고 있다. 이는 자율 지능을 갖춘 것처럼 보이지만, 새로운 상황이 발생하면 인간의 개입이 필요하므로 완전히 자율적이라고는 할 수 없다. 2015년 미국 국방고등연구계획국 로봇공학 챌린지에 참여한 팀들조차 완전한 자율 작동을 입증하지 못하고 인간 조작자가 개입해 로봇의 판단과 움직임을 보조한 바 있다. 미국의 고고도 무인 정찰기 글로벌호크도 지상 관제센터에서 정보를 수신하고 비행을 감독한다.

국내 자가 운영 분야는 아직 자율 주행 수준에 이르지 못한 상황으로, 쿼드콥터 영상 기반 착륙 기술, 학습 기반 제어 등 자가 운용을 위한 일부 요소기술이 개발되고 있다. 서울대학교(김현진 교수)는 매니플레이터로 작동하면서도 균형을 잃지 않고 외란에 강한 쿼드콥터 제어를 연구하고 있다.

3) 자가 건전성 관리 기술

자가 건전성 관리란 무인이동체의 각종 기능, 부품, 소프트웨어가 정상적으로 작동하는지를 모니터링하고, 모니터링 데이터를 종합하여 자체 상태를 진단하고 임무 수행 가능 여부, 지속 가능 여부 등을 판단하고, 나아가 A 시스템을 자체적으로 재구성하고, 수리하는 기술이다.

1990년대부터 헬리콥터의 오작동을 진단하기 위해 진동을 감지하고 부품 파손 여부를 판단하는 HUMS(Health & Usage Monitoring System)가 개발됐다. 최근에는 경험/모델/데이터를 활용하여 수명이 얼마나 남았는지 예측하는 고장 예측 및 건전성 관리 기술(PHM, Prognostics and Health Management)이 활발히 연구가 진행되고 있다. 중국 DJI는 멀티콥터의 프로펠러가 3개만 남아도

제어가 가능한 기술을 보유하고 있고, 미국은 모터 부하 특성과 전류를 측정해 고장을 예측·진단하는 기술을 보유하고 있다. 센서·배터리·전원 보드 등의 고장에 대한 예측과 진단이 실험실 수준에서 연구되고 있다. 자가 치유의 경우 기계적인 측면보다는 물질적인 측면에 많은 관심을 기울이고 있다. 최근 고분자 소재가 주목 받고 있으며, 스마트폰, 자동차 등에 적용이 기대되고 있다.

4) 지능 협업 기술

지능 협업은 여러 대의 무인 이동체가 서로 협력해 효율적으로 임무를 수행할 수 있도록 하는 기술이다. 여러 대의 무인 이동체를 중앙 집중식으로 제어할 수도 있고, 분산 제어를 통해 각각의 무인이동체가 상황을 판단하고 협력할 수도 있다.

자가 운영만으로는 실제 임무를 완벽하게 수행할 수 없는 경우가 많으므로 여러 대의 무인기가 함께 단일 임무를 수행하는 연구가 진행되고 있다. 지능형 협업 관련 기술로는 게임 이론, auction 알고리즘 기반의 분산 최적화 기법, 분산형 마르코프 의사결정 프로세스 등이 있다. 매사추세츠공과대학(조나단 하우 교수)에서는 다수의 무인항공기 분산 임무 수행에 관한 연구가 진행 중이고, 펜실베이니아 대학교(비제이 쿠마르 교수)에서는 자율 로봇을 사용하여 곤충과 새 떼와 같은 군집 임무 수행에 관한 연구를 진행하고 있다.

국내 지능 협업 연구는 입자 군집이나 행동 기반 등 고도의 추론이 필요 없는 규칙 기반 단순 협업에 주로 집중됐다.

입자 군집(Particle Swarm) 등 집단 지성, 게임 이론, 협업 제어, 분산 마르코프 기반 의사결정 등을 활용한 연구가 진행되고 있으나 이를 현실에 적용한 사례는 많지 않다.

5) 국내기술 수준 분석

‘무인이동체 기술혁신과 성장을 위한 10개년 로드맵(2018)’에 따르면 한국의 기술 역량은 선진국의 59.1% 수준이며, 미국과의 기술 격차는 3.3년으로 상황 인식 능력과 일부 자가 운영 기술이 시급히 필요한 것으로 나타났다. 현재 국내에서 사용할 수 있는 자율지능 기술을 적용하면 부품의 독자적인 생산이 가능할 것으로 보고 있지만, 세계 시장에서 경쟁할 수 있는 역량은 미흡한 실정이다.

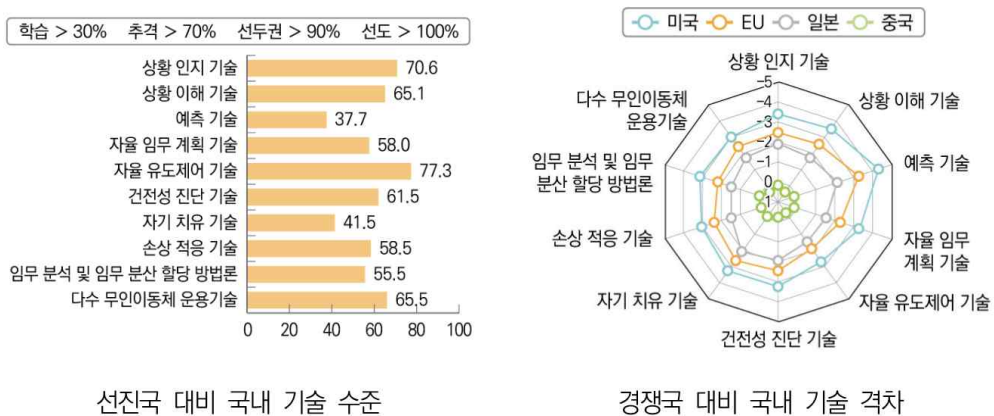


그림 3-10. 국내기술 수준 분석(자율지능 기술)

Figure 3-10. Domestic technology level analysis (autonomous intelligence technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 235)

위 분석 결과에 따르면 예측 기술 37.7%, 자기 치유 기술 41.5%가 최저로 나타났다으며 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 부여할 수 있을 것이다.

3.1.4. 동력원 및 이동

동력원 및 이동 기술은 2개의 핵심기술(동력원 기술, 이동 및 작업 기술)과 9개의 요소기술로 구분할 수 있다.

다음 표 3-6은 6대 공통 핵심 기능 기술 중 동력원 및 이동 기술에 대한 핵심기술, 요소기술, 세부 기술 구성이다.

표 3-6. 6대 공통 핵심 기능 기술(동력원 및 이동)

Table 3-6. Six common core functional technologies (Power source and Movement)

핵심기술	요소기술	세부 기술
동력원 기술	차세대 배터리 기술	- 리튬금속 전지 기술 - 리튬-황 전지 기술 - 리튬-공기전지 기술
	고효율 스마트 엔진 기술	- 3D프린팅 기반 소형 스마트 터빈엔진 기술 - 지능형 소형엔진 자가 진단 및 복구 기술
	경량·고효율 연료전지 기술	- 무인이동체 연료전지용 수소 공급장치 기술 - 장시간 운용 무인이동체를 위한 연료전지 시스템 기술
	태양전지 기술	- III-V 플렉시블 태양전지 기술
	하이브리드 동력원 기술	- 무인 이동체용 하이브리드 동력원 시스템 기술
	무선 충전 기술	- 무인항공기에 전력 송신 기술 - Kw급 광섬유 레이저 기술 - 원격 추적 기술 - 고효율 광전변환 수신기 기술
이동 및 작업 기술	에너지 관리 기술	- 무인 이동체용 배터리 상태 예측 및 정밀 제어 기술 - 무인이동체 규격/용도별 전원 시스템 최적화 및 배터리 적정규모 산정 기술
	이동장치 기술	- 수직이착륙 무인기용 고효율 분산 전기 추진형(DEP, Distributed Electric Propulsion) 추력 시스템 기술 - 저소음 덕티드 팬(Ducted Fan) 기술
	작업 장치 기술	- 소형 무인이동체 장착 경량-고토크 작업용 작동기 기술 - 인공근육형 유연·경량·고출력 구동기 기반의 소형 무인 이동체용 초경량 작동기 기술 - 이동중 표적의 포획 및 릴리스가 가능한 장치와 제어 기술

1) 동력원 기술

무인이동체에 적용되는 동력원은 차세대 배터리, 엔진, 연료전지, 태양전지, 다양한 동력원을 조합해 최적의 성능을 발휘하는 하이브리드 동력원 등으로 나눌 수 있다.

가) 차세대 배터리 기술

미국 IBM社에서, 일본은 올 재팬(All Japan) 프로젝트를 통해 차세대 이차전지에 대한 실질적인 지원이 이뤄지고 있지만 아직 상용화는 정체 상태다. 독일 바스프(BASF)社도 미국 중소기업 투자를 통해 관련 기술을 확보했지만 아직 상용화된 차세대 배터리를 출시하지 못했다.

리튬-황 전지는 리튬금속을 음극으로, 황을 양극으로 하고 그사이에 분리막을 두고 구성된다. 양극으로 사용되는 황의 전기 전도도가 낮고, 충·방전 시 형성되는 폴리 황화 리튬의 전해질 용해 및 셔틀링으로 인해 상용화가 어렵다. 토요타 자동차, SEEHO 등 제조사에서 개발 중인 전고체 배터리는 리튬금속을 음극으로 사용할 때 발생하는 불안정성을 고체 전해질을 사용해 해결해 리튬 음극의 안정성을 높이는 효과가 있다. 그러나 고체 전해질은 이온전도도가 낮고 수분 불안정성으로 인해 상용화가 어렵다.

리튬-공기전지는 리튬금속을 음극, 공기를 음극으로 하여 에너지밀도가 가장 높은 것으로 알려져 있으나, 사이클 특성 등 기본전지 특성이 좋지 않아 차세대 전지 중에 호환성이 가장 취약한 것으로 알려져 있다.

슈퍼커패시터는 배터리와 다소 다르지만, 출력 특성이 뛰어나기 때문에 다른 전원과 하이브리드 전원을 구성할 때 시너지 효과를 기대할 수 있다.

국내 배터리 연구는 대부분 스마트폰이나 전기차 등 소형 가전에 집중돼 있으며, 무인항공기용 배터리 개발은 수요가 적어 제한적이다. 전기 자동차에서는 국내 배터리 기술이 전체의 약 20%를 차지하고 있으며, 충·방전 기술

등 전력제어 기술, 전자 제동 기술 등이 뒤를 잇고 있다.

한국과학기술연구원과 한국에너지기술평가원을 중심으로 리튬-금속 전지, 리튬-황 전지, 리튬-공기전지에 대한 기초연구 지원을 시행하고 있으며, LG 화학은 지속적인 리튬-금속 및 리튬-황 전지 연구 개발을 진행하고 있다.

나) 고효율 스마트 엔진 기술

친환경 동력원에 대한 필요성이 대두되고 있지만, 현재 다른 동력원의 기술 발전 수준을 고려하면 향후 10년 이상은 가스터빈엔진과 내연기관이 무인이 동체의 주 동력원으로 사용이 예상된다. 따라서 친환경 동력원과 함께 현재 상용화되어 있는 터빈엔진 및 내연기관의 효율을 높일 수 있는 요소기술이 지속해서 개발되고 있다.

최근 복합 재료 및 금속 3D프린팅 기술은 미국과 유럽을 중심으로 발전하면서 유·무인 항공기 및 동력원은 물론 다양한 분야에 3D프린팅 기술이 적용되면서 개발 기간과 비용을 단축하는 한편, 고효율과 경량 동력원 개발이 활발히 추진되고 있다. GE는 세계 최초로 3D프린팅 항공 엔진 연료 노즐을 상용화했으며, ATP 프로그램을 통해 전체 부품의 35%를 3D프린팅으로 제작하는 향상된 성능의 엔진을 개발했다. 롤스로이스社, Siemens 등도 터빈엔진 부품에 3D프린팅 기술을 적용하는 연구를 진행하고 있다.

국내 가스터빈 엔진 및 내연기관 연구는 2000년대 이후 꾸준히 진행됐지만, 고신뢰성 엔진 시스템을 통합하여 무인항공기에 직접 적용하는 연구는 부족한 실정이다.

한국항공우주연구원, 한화테크윈, 뉴로스, 퍼스텍은 무인항공기에 적용할 수 있는 소형 가스터빈엔진 및 내연기관 관련 연구 개발을 진행하고 있으며, 시스템 성능시험 인프라를 구축 및 운영하고 있다.

과학기술정보통신부 무인이동체 핵심기술 개발 사업을 통해 한국항공우주

연구원이 주도해 고효율·경량 엔진 개발을 위해 3D프린팅 기술을 활용해 엔진 부품을 제작하는 연구 개발을 진행하고 있다.

다) 경량·고효율 연료전지 기술

자동차용 및 발전용 연료전지에 대한 많은 연구 개발이 이루어지고 있으며, 최근 무인이동체에 관한 관심이 높아지면서 경량화, 고효율 연료전지에 대한 투자 및 연구가 확대되고 있다. 무인항공기용 연료전지는 높은 에너지 효율, 저소음, 친환경적 특성을 고려하여 주로 개발되고 있다.

수소 발생 기술을 이용하여 순수한 수소를 저장할 수 있는 수소 저장 기술 개발과 함께 무인항공기에 적용하기 위한 화학적 수소화물 기반의 수소 저장/생성 기술 개발도 진행되고 있다. 탄화수소를 연료전지의 연료로 사용할 때는 연료 개질기를 이용하여 탈황, 개질, CO 제거 등의 단계를 거쳐 수소가 75% 이상, CO가 수십ppm 이하로 개질되어 연료전지에 공급되어야 하기에 무인이동체에는 적용하기가 어렵다.

수소 저장 기술에 관한 연구는 로켓 발사대에 수소를 공급하기 위해 오랫동안 추진됐으며, 지난 10년 동안 보잉과 미국 해군 연구소가 액화수소를 활용한 무인항공기를 개발해 왔다. 미국 보잉이 개발 중인 고도 20km 상공에서 일주일간 비행을 목표로 하는 고고도 정찰기 팬텀 아이(Phantom Eye)에 지름 2.4m의 구형 액화수소 탱크 2대가 탑재됐다. 미 해군연구소에서 개발 중인 중·저고도 정찰기인 론 타이거(Lon Tiger)에는 2013년에 액화 수소탱크로 변경하여 48시간 동안 비행했다.

KAIST는 2007년 수소화붕소나트륨(NaBH_4)을 혼합한 액체연료에서 수소를 추출해 국내 최초로 연료전지를 활용한 무인항공기 시험비행에 성공했고, 2012년 한국과학기술연구원(KIST)이 개발한 세계 최초의 연료전지 무인헬기 비행 시험(총 이륙중량 11kg)은 항공우주연구소가 2013년 NH_3BNH_3 수소 발

생기를 개발해 약 4시간 동안 비행 시험을 진행한 것이다.

차세대 군용전원 특화연구센터는 방위사업청이 국가연구개발사업으로 주관하고 한국에너지기술연구원이 출범한 소형 추진동력원 개발에 2014년까지 6년간 200억 원을 투자했다. 휴대용 전원, 차세대 그린 에너지, 미래 동력 핵심 기술로 구성된 에너지 절약형, 고효율 무기체계의 군용 동력원을 연구해 왔다. 무인이동체에 적용하기 위한 경량, 고효율 연료전지 시스템 연구가 산학연, 민군, 범정부 사업 분야에서 크고 작은 규모로 활발히 진행되고 있다.

수소 저장 및 공급 방식에 관해서는 많은 연구가 진행되어 현재 산업체에서 대량 생산하고 있으나, 수소연료전지 무인항공기에 대한 국내 수요가 없어 실용화는 전무한 실정이다.

라) 태양전지 기술

드론, 무인정찰기 등 민·군 무인체의 내구성 연장을 위한 태양전지 활용이 본격화되면서 관련 시장 규모도 커지고 있다.

해외에서는 미국과 일본을 중심으로 홍콩, 캐나다, 스위스를 비롯해 독일, 중국 등 다양한 소재를 활용한 플렉서블 태양전지 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 미국 마이크로링크 디바이스(Microlink Devices)는 III-V 화합물 반도체를 기반으로 태양전지를 박막화해 30% 이상의 고효율을 구현하는 플렉서블 태양전지를 개발하고 있다. 페이스북과 구글은 태양광 드론 개발사인 아센타이(Ascentai)와 타이탄 에어로스페이스(Titan Aerospace)를 각각 인수해 무인 이동체를 활용한 통신망을 제공하는 프로젝트를 진행 중이다.

국내 태양전지 분야는 2008년부터 박막형 유연 태양전지 연구에 주력해 왔다. 유선형 무인이동체에 적용이 가능한 다중접합 태양전지는 적용 분야가 제한되어 전량 해외 수입에 의존하고 있으며, 국내에서는 기초연구가 진행되고 있다.

마) 하이브리드 동력원 기술

엔진+배터리, 터빈엔진+태양전지+배터리, 연료전지+배터리, 배터리+슈퍼커패시터 등 다양한 하이브리드 동력원 조합에 관한 연구가 진행 중이다. 이 중 전기 추진 무인항공기용 엔진+배터리, 자율주행차용 수소연료전지+배터리 등에 관한 연구가 집중되고 있으며, 필요에 따라 태양전지도 포함될 수 있다. 무인 이동체용 연료전지+배터리 하이브리드 장치에 관한 연구는 2000년 초 미국과 유럽을 중심으로 시작되어 현재 무인 자동차, 무인항공기, 소형 무인 잠수정 등에 사용되고 있다. 국내에서는 정부출연연구기관과 대학에서 연료전지 하이브리드 무인 자동차를 개발하고 있다. 연구 개발 중이지만 아직 상용화 단계에는 이르지 못했다.

국내에서는 2000년대 초반부터 하이브리드 전기 자동차에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 일부 기술을 탑재한 전기 자동차가 이미 시판되고 있으나 무인비행체용 하이브리드 동력원은 상용화되지 못하고 있다.

한국항공우주연구원에서는 2001년부터 2005년까지 50m 규모의 성층권 무인 비행선 프로토타입(축소 시제기)을 위해 태양전지, 연료전지, 물 전해조로 구성된 하이브리드 동력원에 관한 연구가 진행됐다. 그러나 경제성이 부족해 2단계 사업으로 추진되지 않고 2010년부터 전기동력을 이용한 고고도 장기 체공 무인기(EAV, Electric Aerial Vehicle)에 대한 연구가 진행되고 있다.

다부처(산업통상자원부, 방사청, 기상청) 사업으로 복합추진시스템(태양전지+신재생 연료전지)을 적용하여 고도 16km 성층권에 24시간 이상 머물면서 기상관측과 통신 중계 등 다양한 임무를 수행하는 무인항공기 개발을 진행 중이나, 국내에서는 하이브리드 동력원용 발전기 일체형 엔진에 대한 연구 개발 사례가 없다. 소형무인기용 3~5kW 왕복엔진 생산, 9~40kW 항공용 발전기 개발 경험이 있지만 선진국에 비해 핵심 기술력이 부족하다.

바) 무선 충전 기술

해외 선진 연구기관을 중심으로 무인비행체에 무선으로 전력을 공급하는 무선 충전 시스템이 개발 중이거나 성공적으로 개발되고 있다. 이스케이프 다이나믹스(Escape Dynamics)社は 현재 마이크로파 주파수 대역의 비밍(Beaming)을 통해 10~100km 떨어진 무인비행체에 10~20W의 전력을 전송하는 데 성공했으며, 네바다대학교(University of Nevada)는 자기공명 방식을 이용해 실내 천장에서 천장까지 무선 전력 전송이 성공한 바 있다.

국내 무인항공기의 무선 에너지 전송 기술 개발은 초기 개념 제안 단계이다. 자기공명 및 자기 유도를 이용한 근거리 충전 기술은 스마트폰과 전자제품에 적용하기 위해 활발히 연구가 진행되고 있으나, 무인항공기에 전력을 전달하는 기술은 개발되지 않았다.

주로 무인이동체에 사용되는 유도전류를 이용한 무선 충전 방식은 수십 cm 이내에서만 충전할 수 있으며, 전송 거리가 더 긴 '전자기 반응 공명(ECR)' 기술도 전송 거리가 불과 몇 미터에 불과하다.

레이저를 이용한 원격 전력 전송을 위해서는 고효율 광전변환 수신기 기술, 고출력 레이저 기술, 원격 추적 및 조준 기술 등 핵심 요소기술 개발이 선행되어야 한다. 현재 kW급 광섬유 레이저 기술과 원격 추적 기술은 어느 정도 확보됐지만, 고효율 광전변환 수신기 기술은 아직 확보되지 않은 상태다.

사) 에너지 관리 기술

대부분의 이차전지 상태 예측 기술은 XEV 시장을 겨냥해 개발됐고, 전기차보다 더 정밀한 에너지 관리가 요구되는 무인항공기의 상태 예측 기술은 아직 개발되지 않았다. 파나소닉 EV 에너지社は 프리우스, 캠리, 렉서스 등 토요타 자동차 브랜드에 니켈수소 배터리 및 BMS를 적용한 경험이 있으며, 10년 이상 차량 시스템 평가 및 현장 테스트를 통해 BMS 최적화 기술을 개

발해 왔다.

동력원과 모빌리티 분야의 국내기술 수준은 선진국의 약 70% 수준으로 선진기술을 따라잡고 있으며, 배터리와 연료전지를 스마트폰, 전기차 등에 적용하기 위한 연구가 많이 진행되어 상대적으로 높은 수준이다. 태양전지와 엔진을 독자적으로 생산할 수 있는 산업 역량을 갖추고 있지만, 대부분 수입에 의존하고 있어 산업 역량이 낮다.

한국전기연구원은 정부 위탁 DSP 플랫폼을 활용한 BMS를 개발하고, 1kWh 확장형 ESS 표준 배터리 팩을 개발했다. AC 임피던스와 다양한 알고리즘을 활용한 수명 예측 기술을 개발할 수 있는 Active & Adaptive Cell Balancing 기술과 DSP(Digital Signal Processor) 기반 플랫폼을 개발하고 있다.

전기차 BMS(Battery Management System) 기술 분야에서는 캐피코, 파워로직스, 넷스콘텍, 레오모터스, 아이렌텍 社 등이 생산 및 개발에 참여하고 있다.

2) 이동 및 작업 기술

무인이동체의 임무 영역을 확대하기 위해서는 무인이동체의 이동과 작업 능력을 향상할 수 있는 기술 개발도 필요하다.

미국에서는 항공우주국의 ODM(On-demand Mobiling)과 국방고등연구계획국의 VTOL X-Plane 프로그램을 통해 유·무인 항공기의 수직 이착륙 및 고속비행을 위한 분산 전기 추진(DEP, Distributed Electric Propulsion) 연구가 활발히 진행되고 있다. 유럽에서는 우버 엘리베이트(Uber Elevate), 에어버스 A3(Airbus A3) 등 친환경 개인 교통수단으로 활용하기 위한 추진 장치 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 미국의 오로라(Aurora), 에어버스의 H160 프로젝트 등 저소음 덕트 팬에 관한 연구가 지속해서 진행되고 있으며, 승객을 수용할 수 있는 이동체용 저소음 덕트 팬에 관한 연구 및 상용화가 진행되고 있다.

작업 기술은 무인이동체가 주변 물체와의 물리적 상호 작용을 통해 임무를 수행할 수 있도록 하는 기술로, 다양한 형태의 작업 장치가 개발되고 있다.

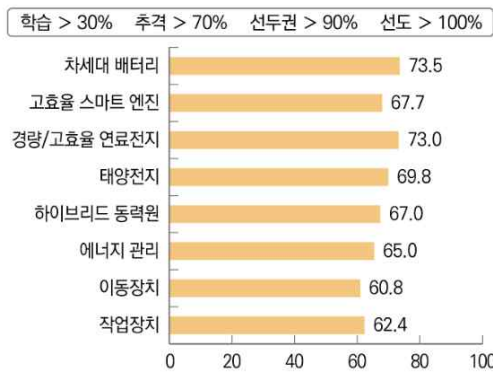
현재 연구되고 있는 대부분의 포획 장치는 표적 크기가 무인항공기 하부 몸체의 단면적으로 제한되어 있다. 무인항공기의 활용 범위를 확대하기 위해서는 표적의 부피와 형태에 제한받지 않는 전개 형 포획 장치의 개발이 필요하다.

국내에서는 산업용 또는 육상 무인이동체에 적용할 수 있는 모터를 이용한 중/대형 액추에이터(구동기) 연구가 집중되고 있다. 그러나 모터형 액추에이터는 감속기 등이 결합하여 구성되기 때문에 액추에이터의 부피가 크고 무거워서 무인항공기에 적용하기에는 어려움이 있다.

소형 무인 이동체용 액추에이터에 관한 연구는 이루어지지 않았으며, 적합한 경량/고출력 밀도 액추에이터에 관한 연구는 시작 단계에 있다. 해외에서는 소형 무인비행체 용 액추에이터가 상용화되었으나, 모터/기어 구동 방식만 개발되었으며, 소형 무인비행체에 장착할 수 있는 경량 액추에이터는 개발되지 않았다. 인공근육형 액추에이터에 관한 연구는 미국과 중국을 중심으로 활발히 이루어지고 있으나 아직 적용할 수 있는 수준의 결과는 없다.

3) 국내기술 수준 분석

‘무인이동체 기술혁신과 성장을 위한 10개년 로드맵(2018)’에 따르면 동력원과 이동 분야의 기술 수준은 선진국 대비 약 70% 수준으로 첨단기술을 따라잡고 있으며, 배터리와 연료전지는 스마트폰과 전기차에 사용된다. 이를 적용하기 위해 많은 연구가 이루어졌기 때문에 상대적으로 높은 수준이다. 태양전지와 엔진을 독자적으로 생산할 수 있는 산업 역량을 갖추고 있지만, 대부분 수입에 의존하고 있어 산업 역량이 낮다.



선진국 대비 국내 기술 수준



경쟁국 대비 국내 기술 격차

그림 3-11. 국내기술 수준 분석(동력원 및 이동 기술)

Figure 3-11. Domestic technology level analysis (power source and mobility technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 261)

위 분석 결과를 통해 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 분석한 결과 이동 장치 60.8%, 작업 장치 62.4%로 최하위로 나타났으며, 중요한 동력원 기술 중에서는 하이브리드 동력원 67.0%, 고효율 스마트 엔진 67.7%가 최저로 나타났다.

3.1.5. 인간-이동체 인터페이스

HMI 기술은 4개의 핵심기술(인간 친화적 사용자 인터페이스, 원격 운용 기술, 사용자 의도 추론 및 대응 기술, 협력 기술)과 8개의 요소기술로 구분할 수 있다.

다음 표 3-7은 6대 공통 핵심 기능 기술 중 인간-이동체 인터페이스 기술에 대한 핵심기술, 요소기술, 세부 기술 구성이다.

표 3-7. 6대 공통 핵심 기능 기술(인간-이동체 인터페이스)

Table 3-7. Six common core functional technologies (HMI : Human Machine Interface)

핵심기술	요소기술	세부 기술
인간 친화적 사용자 인터페이스 기술	가상환경/가상현실 기술	- 운용자를 위한 무인이동체 관점의 증강현실(AR) 구현 기술 - 다중 운용자에게 동시 지원할 수 있는 가상현실(VR)/증강현실(AR) 플랫폼 기술
	NUI(Natural User Interface) 기술	- 음성 및 제스처 인식을 통한 무인이동체 운용 기술 - 생체 정보(뇌파, 시선 등)를 활용한 무인이동체 운용 기술
원격 운용 기술	직접 운용 기술	- 운용자와 친화적인 필드형 멀티모달 원격조작·운용시스템 기술 - 운용자의 상황 인식 지원 기술
	감시제어 기술	- 감시제어 운용자의 피로도 및 과부하 완화 기술 - 복합 무인 시스템에서 운용자 지원 기술
사용자 의도 추론 및 대응 기술	운용자 의도 인식과 대응 기술	- 운용 상황을 고려한 운용자 의도 인식 및 추론 기술
	피드백 인터페이스	- 인간-무인이동체 상호교감을 위한 multi modality 기반 인터페이스 기술
협력 기술	상호 작용 아키텍처 및 성능지표 개발 기술	- 무인이동체와 운용자 간 협력 운용을 위한 성능지표 및 모델링 개발 기술
	HMI 상호신뢰성 기술	- 무인이동체와 운용자 간 신뢰성 측정 지표 및 정량화 기술

아래 표는 HMI(Human-Machine Interface, 인간-이동체 인터페이스) 레벨을 나타낸다. 여기서 제시하는 HMI 레벨은 무인이동체와 인간(운용자)의 상호 작용 정도에 따른 역할 구분을 의미하는 것으로서 H-Level 1은 무인이동체에 사람은 조종 명령을 내리고 이동체는 단순히 수행하는 초보 단계지만 H-Level 3

은 인간과 무인이동체가 서로 협력하여 임무를 수행하는 단계로서 더 발전된 단계임을 알 수 있다.

표 3-8. HMI(Human-Machine Interface, 인간-이동체 인터페이스) 레벨
Table 3-8. Human-Machine Interface (HMI) Level

단계	정의	설명
H-Level 1	Human as operator 무인이동체에 사람이 조종 명령을 내리고 이동체는 이를 단순히 수행하기만 하는 단계	사람으로부터 이동체로의 단방향 작용만 있고 이동체는 단순한 상태 정보를 전달하는 것 외에 영향을 미치지 못한다.
H-Level 2	Human as supervisor 무인이동체가 주어진 기동과 임무를 사람의 허락 하에 스스로 수행하고, 사람이 이를 감독하는 단계	무인이동체가 자율적으로 임무를 수행하는 과정에서 기동 방식의 선택지를 사람에게 제공함으로써 수동적인 영향을 미친다.
H-Level 3	Human machine teaming 인간과 무인이동체가 서로 협력하여 임무를 수행하는 단계	무인이동체가 임무 달성을 위해 최적의 운영 방법을 판단하여 행동함에 있어서, 인간과 능동적인 상호작용을 한다. 인간과 기계모두 최고의 효율을 내는 단계다.

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 275)

1) 인간 친화적 사용자 인터페이스 기술

인간 친화적인 사용자 인터페이스는 기존 인터페이스보다 훨씬 직접적이고 자연스럽게 무인 이동체를 제어할 수 있는 기술이다.

가) 가상환경/가상현실 기술

증강현실 기술은 입력된 영상 데이터를 활용하거나, 무인항공기에 카메라를 탑재해 무선 네트워크를 활용해 원격 상황 정보를 인간에게 실시간으로 제공하는 기술이다. 현재는 증강현실 기술을 이용해 단순한 정보 제공에 활용하고

있지만, 기술이 발전할수록 특허권 확보를 위한 경쟁이 예상된다. 중국 DJI는 2016년 2월 '무인항공기를 이용한 가상관광 시스템 및 방법' 특허를 등록했다. 레이싱 드론에 주로 사용되는 1인칭 시점(FPV) 기술은 증강현실 기술 일부를 적용하는 초기 단계다.

가상현실 기술은 무인비행체 제어를 위한 가상공간을 재구성하여 데이터 분석, 시각화, 제어에 활용될 수 있다. 개인이 여러 대의 무인기를 제어해야 하는 경우, 자동화되어 있다고 하더라도 다수의 영상 채널을 전환하여 확인해야 하며, 이 방식은 무인기 집단을 운용할 때 모니터링, 관제, 협업이 어렵다.

한국산업기술대학교 게임공학과는 비행 유형별 소형 모션 플랫폼 설계 프로젝트를 통하여 드론이 촬영한 영상에 따라 사람이 앉은 의자가 움직이는 가상현실 체험에서 영상과 인간의 움직임이 분리되어 발생하는 현기증을 없애기 위한 연구를 진행하였다.

기존의 명령이나 그래픽을 기반으로 무인이동체 기동을 위한 인터페이스는 구현할 수 있는 수준이다. 1인칭 시점 기술로는 이를 경주용 드론에 적용해 상용 제품을 판매하는 바이로봇(Virobot) 社 해외 제품이 시장에서 강세를 보인다.

나) NUI 기술

사람과 무인 이동체 사이의 빠르고 직관적인 상호 작용을 위해서는 음성인식, 동작 인식, 뇌 신호 인터페이스 등 자연스러운 사용자 인터페이스(NUI)가 필요하다. 시선 인식 기술은 기기를 통해 사람의 눈 움직임을 추적하는 기술이다. 2014년 코펜하겐 IT 대학의 Pervasive Interaction Technology Lab에서 사람의 시선을 인식하고 드론의 일부 움직임(위치, 고도, 회전, 속도)을 제어하는 데 성공했다. 음성인식 기술은 구글의 어시스턴트나 아이폰의 시리 등 사람의 음성 명령을 인식해 스마트폰이나 사물인터넷 기기에서 원하는 기능

을 수행하는 기술이다. 제스처 인식 기술은 카메라 센서, 적외선 센서 등을 이용해 사용자의 신체 움직임을 감지하고 이를 가상공간에 구현하는 기술이다. 2015년 마드리드 공과 대학 컴퓨터 비전 그룹은 손의 움직임을 인식해 드론을 제어하고 드론에 미리 정해진 마커를 설정하고 드론의 동작 모드를 인식해 변경하는 기술도 선보였다. 지난 2016년 플로리다대학교 인간 경험 연구소에서는 머리에 헤드셋을 착용해 뇌파를 감지한 후 이 신호를 이용해 드론을 조종하는 뇌파인식 기술을 선보였고, 미국 국방고등연구계획국에서는 기계의 뇌와 인간의 신경계. 연결을 위한 인터페이스를 개발 중이다.

사용자 행동과 생체정보를 활용한 인터페이스 연구도 진행 중이다. 음성·제스처 인식의 경우 기술 자체는 상용화 단계지만, 무인이동체에 적용되기까지는 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 뇌파인식 분야는 미국이나 유럽에 비해 연구 초기 단계이다.

2) 원격 운용 기술

원거리에서 무인 이동체를 운용할 때 발생하는 문제를 해결하는 기술로 직접 운용 기술과 감시·제어 기술이 포함된다.

가) 직접 운용 기술

현재 HMI 분야에서는 초보자도 쉽게 무인이동체를 조종할 수 있도록 편의성을 높이는 연구가 확대되고 있다. 이를 위해 무인이동체 운용 시 사용성을 극대화하는 조종 인터페이스에 관한 연구가 지속해서 진행되고 있다. 특히 모바일 컴퓨터와 원격 RF 컨트롤러를 결합한 리모컨 제품은 실시간 모니터링과 간단한 조작 방식을 통해 조작 편의성을 높이고 있다. 패럿의 스카이 컨트롤러는 태블릿과 PC 등 기기와 연결하면 무인비행체의 위치와 영상을 즉각 확인할 수 있으며, DJI의 인스파이어 컨트롤러 역시 모바일 컴퓨터와 결합해

무인비행체를 운용하면서 실시간에 무인항공기 위치 및 고도, 속도 등의 비행 정보를 확인할 수 있다.

기존 형상을 변형하는 인체공학적인 설계 기술을 접목한 조종기의 개발로 무인항공기를 더 직관적이고 간단하게 조종할 수 있게 됐다. JJRC 社の 드론에 탑재된 G-Sensor Controller는 버튼을 누른 상태에서 손의 간단한 움직임만으로 무인항공기를 조종할 수 있게 해준다.

국내에서는 무인비행체 원격 운용에 관한 연구가 지속해서 진행됐지만, 군용 무인항공기나 원격조종차량(RPV) 운용을 위한 기술 개발에 중점을 두고 있다. 민간용 무인항공기 원격조종 기술은 아직 원격조종기를 이용한 운용 수준에 머물고 있다.

아주대학교 산업공학과에서는 군용 무인항공기의 원격 운용을 위해 운용자의 상황 인식을 고려한 GCS 설계에 관한 연구가 진행되고 있으며[75], 국내 스타트업 기업인 Thisise Engineering 社가 개발한 Shift는 한 손 조작 기능을 구현한 컨트롤러로 엄지 손가락에 특수 링을 착용하고 컨트롤러를 쥐면 한 손으로 무인항공기를 조종할 수 있다.

나) 감시제어 기술

무인이동체의 자율성이 높아짐에 따라 운영자가 직접 제어하기보다는 감독하는 경우가 늘어나고 있다. 따라서 무인이동체 운용 시 발생할 수 있는 안전 문제를 예방하는 방안도 HMI 분야에서 연구되어야 한다. 원격 운용 시 발생하는 임무 대기 및 통신 지연시간의 영향, 운용자의 상황 인식 등 개인차에 따른 성능 편차 등 원격 운용 환경의 어려움을 보완할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 특히, 운용자의 피로를 방지하기 위해 학계 및 연구기관에서 다양한 GCS(Ground Control Station) 관련 연구가 진행되고 있다.

경상대학교, 충남대학교, 국민대학교와 공동으로 '여러 무인항공기 운용자의

임무 과부하를 최소화하기 위한 HMI 기술'을 연구하고 있다. 기존 다수의 무인항공기 운용자의 임무 과부하 측정 및 모델링에 관한 선행연구를 비교 분석하고 그 결과를 제시한다. 이를 기반으로 시선 정보와 심박수 등을 활용하여 메타 지표인 미션 과부하를 추정, 개발하는 기술이다.

3) 사용자 의도 추론 및 대응 기술

조종기나 지상통제소(GCS)에서 전달된 명령을 무인항공기가 더 명확하고 조종사의 의도에 맞게 해석하고 응답하는 기술을 말한다.

무인이동체는 운전자의 행동과 의도를 분석, 학습하여 적절하게 대응하여 오작동을 방지하며, 상호 운용이 가능하고 사용하기 쉬운 하드웨어 및 소프트웨어 기술이 개발되고 있다. 애리조나주립대학교 인간지향 로봇공학 및 제어 연구실은 다수의 무인항공기의 집단적 행동과 인간 인지 사이의 관계를 분석하여 brain-swarm 인터페이스를 구축하고 있다.

4) 협력 기술

다수의 무인이동체와 사람 간의 효율적인 협력을 위한 기술이다.

무인체계는 운용자의 의도를 파악하지 못하는 한계와 운용자의 상태나 상황 인식을 모르는 등의 한계점을 극복하기 위해 단일 유인/무인 시스템보다 유·무인 체계 복합팀인 MUMT(Manned-Unmanned Teaming)에 관한 연구가 진행되고 있다. 국내외 연구진은 다수의 무인이동체를 제어하는 기술을 활발히 연구하고 있다. 펜실베이니아 대학교는 실내 환경에서 마이크로 UAV를 활용한 군집 비행을 연구하고 있으며, 미 해군 대학원과 CRUSER는 군집 무인 비행 인터페이스를 연구하고 있다.

5) 국내기술 수준 분석

‘무인이동체 기술혁신과 성장을 위한 10개년 로드맵(2018)’에 따르면, 인간-차량 인터페이스 분야 국내기술 수준은 선진국 대비 54.2%, 미국과의 기술 격차는 2.9%로 나타났다. 이는 기초연구 수행 단계에 있음을 보여준다. 현재는 다른 분야에 비해 필요성과 시급성이 낮은 것으로 보이지만, 쉽고 안전한 조작에 대한 인식이 확산하면서 앞으로는 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

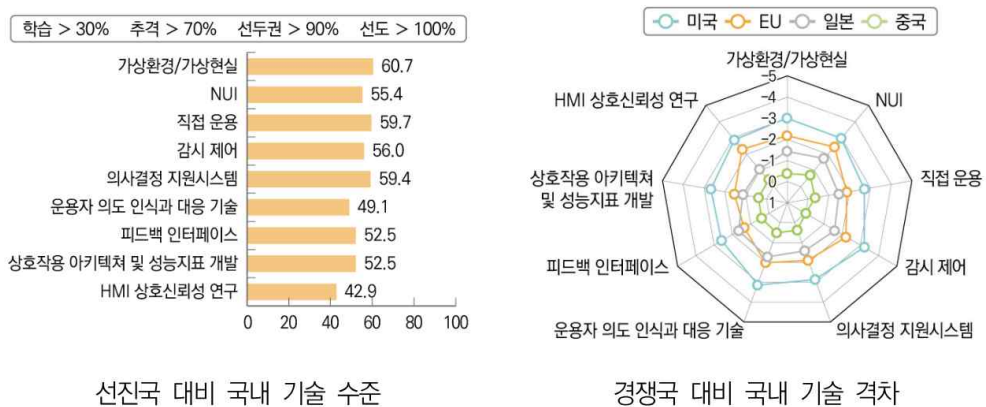


그림 3-12. 국내기술 수준 분석(인간-이동체 인터페이스 기술)

Figure 3-12. Domestic technology level analysis (human-vehicle interface technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 280)

위 분석 결과에 따르면 HMI 상호신뢰성 연구 42.9%, 운용자 의도 인식과 대응 기술 49.1%가 최저로 나타났으며 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 부여할 수 있을 것이다.

3.1.6. 시스템 통합

시스템 통합 기술에는 3개의 핵심기술(개발 체계 기술, 소프트웨어 체계 기술,

하드웨어 체계 기술)과 8개의 요소기술로 구분할 수 있다.

다음 표 3-9는 6대 공통 핵심 기능 기술 중 시스템 통합 기술에 대한 핵심기술, 요소기술, 세부 기술 구성이다.

표 3-9. 6대 공통 핵심 기능 기술(시스템 통합)

Table 3-9. Six common core functional technologies (System Integration)

핵심기술	요소기술	세부 기술
개발 체계 기술	개발 프로세스 수립 기술	- 자율지능 무인이동체 개발을 위한 개발 프로세스 정립 및 최적의 체계 공학 기술
	프로세스 단계별 도구 개발 기술	- 불확실성을 고려한 설계 및 의사결정 기법 개발 기술 - HILS(Hardware in the Loop Simulation) 기술 - PILS (Processor in the Loop Simulation) 기술
소프트웨어 체계 기술	무인이동체 소프트웨어 플랫폼 기술	- 무인이동체 안전 운용을 위한 OS 기술 - 무인이동체 응용을 위한 고성능 OS 기술 - 무인이동체 소프트웨어 플랫폼을 위한 보안기술
	무인이동체 응용소프트웨어 개발 지원 기술	- 무인이동체 응용 SDK 기술 - 응용소프트웨어 검증 및 시험 기술 - 무인이동체 응용소프트웨어 개발도구 기술
하드웨어 체계 기술	다기능 구조 기술	- 구조 일체형 전지 기술 - 전자부품 일체형 구조 기술 - 센서 및 작동기 일체형 구조 기술
	신개념 재료 및 구조 기술	- 다변형 복합 재료 기술 - 모핑 기술
	자율 진단 및 자가 치유 구조 기술	- 실시간 구조 안전 자율 진단 기술 - 자가 손상 탐지 및 치유 융합구조 기술
	맞춤형 제작 기술	- 다기능 복합 재료 구조 최적 설계 S/W 개발 기술

1) 개발 체계 기술

차세대 무인이동체는 과거의 기계적인 업무를 소프트웨어로 대체하고 자율지능의 적용이 강화되고 있다. 또한, 무인이동체의 특성상 임무 목적에 따른 맞춤

형 개발이 필수적이기 때문에 다품종 소량 생산이 중요한 생산방식이 될 것이다. 따라서 기존의 항공기, 지상 차량, 선박 등의 개발 시스템과 차별화된 자율 지능형 무인이동체 개발 시스템을 구축할 필요가 있다.

무인비행체 개발에 있어서 개발 체계 기술은 개발 프로세스를 구축하고 최적화하는 기술과 개발 과정에서 필요한 설계, 해석, 테스트 평가 도구를 개발하는 기술로 구성된다.

가) 개발 프로세스 수립 기술

자율지능형 무인이동체의 등장으로 기존의 개발 프로세스를 개선할 필요가 있으나, 본격적으로 적용되기까지는 시간이 걸릴 것으로 예상된다.

미국 국방부는 자율지능을 탑재한 무인이동체를 개발하기 위해 기존 반응형 'V' 모델을 모듈형 '-' 모델로 개편했다. MIT 산하 시스템 아키텍처 연구소는 이해관계자의 요구사항을 추적하고 우선순위 목표를 제공하기 위해 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration)의 시스템 엔지니어링 절차를 준수하는 정량적 이해관계자 분석 방법인 'Stakeholder Value Network'를 개발했다.

국내에서는 전통적인 'V' 모델 방식에 따라 육상, 해상, 공중 무인체를 개발하고 있다. 자율지능이 강화된 차세대 무인비행체 개발에 적합한 새로운 개발 프로세스에 관한 연구는 아직 진행되지 않고 있다. 그러나 국내 무인비행체 개발 기술은 세계 7위로 세계적 수준의 기술력을 보유하고 있어 향후 자율 주행 지능형 무인비행체 개발 프로세스를 구축하기에는 충분한 역량을 갖추고 있다고 판단된다.

나) 프로세스 단계별 Tool 개발 기술

무인비행체 개발 과정에 적용하기 위해 시뮬레이션과 소프트웨어 기술을 중심으로 단계별 기술을 개발하고 있다. 시뮬레이션 기술을 통해 수학적으로

나 물리적으로 정밀하게 구현되는 가상공간 플랫폼이 개발되면서 현실 환경에서 무인비행체의 자율 이동과 임무 수행을 테스트할 수 있는 기반이 마련되고 있다. 특히, 실제 환경에서 확인하기 어려운 상황이나 극도로 반복적인 테스트를 수행할 수 있으며, 수년간의 실제 테스트를 통해 확보해야 할 데이터를 수개월 내에 수집할 수 있을 것으로 기대된다.

미국 국방부가 자율지능형 무인이동체가 왜 의사결정을 하는지 구체적인 정보를 제공하는 ‘설명할 수 있는 인공지능(Explainable Artificial Intelligence)’ 기술을 개발 중이다.

국내 무인기 개발 기술은 시스템 수준에서 세계 7위 수준이며, 이 과정에서 관련 경험과 기술이 확보되었기 때문에 시험평가 및 인증과 관련된 일부 기술에서는 세계를 선도하고 있는 것으로 보인다. 무인비행체 성능 검증을 위한 국내 HILS(Hardware in the Loop Simulation)와 PILS(Processor in the Loop Simulation) 기술¹⁹⁾은 향후 자율지능이 강화된 차세대 무인비행체 설계 및 개발 과정에 적용될 시뮬레이션 기술과 연관성이 높다.

2) 소프트웨어 체계 기술

소프트웨어 체계 기술은 소프트웨어를 개발할 때 더 적은 시간과 비용으로 고성능, 신뢰성, 안전성을 확보하는 시스템 개발 기술이다.

다음 그림과 같이 무인이동체 소프트웨어 플랫폼 기술은 무인이동체 응용소프트웨어의 실행 환경을 구축하는 기술로 계층적인 플랫폼 구성이 가능하다.

19) PILS는 무인항공기나 인공위성, 또는 자동차 등의 시스템 개발에서의 중요한 검증 도구로 사용되고 있다. 실시간(Real-Time)으로 각각의 연산을 수행할 수 있는 프로세서들을 사용하여 시스템을 구성하는 각 모듈을 모델링하고 실제 운용 환경과 유사한 환경에서 시뮬레이션하여 시스템을 평가하는 방법이다. 이로써 시스템의 성능 및 신뢰성 검증이 가능하며 각각의 주변 프로세서들을 하나의 주 프로세서에 연동시킴으로써 가상으로 전체 하드웨어의 유기적인 동작 상태를 시뮬레이션할 수 있다.(출처 : 안정은 등 6명, “ 딥러닝을 이용한 비정상 비행 상태 예측 모델 검증을 위한 PILS 환경 구축”, 한국항공우주학회 2023 춘계학술대회 논문집, 2023.)

무인비행체 응용소프트웨어 개발지원 기술에는 응용소프트웨어 개발을 위한 SDK(Software Development Kit) 관련 기술, 무인비행체 응용소프트웨어 개발 도구 기술, 응용소프트웨어 검증/시뮬레이션 기술 등이 포함된다.

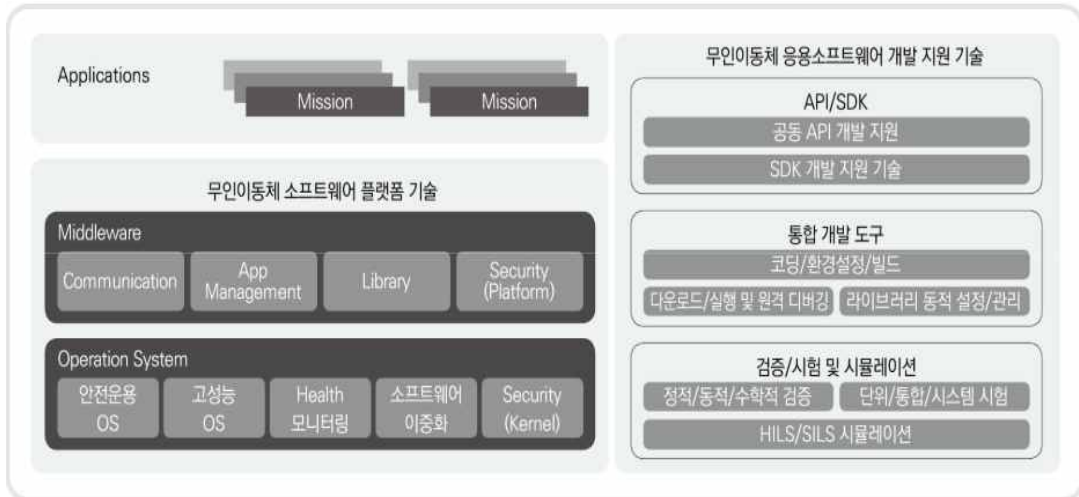


그림 3-13. 소프트웨어 체계 기술의 구성

Figure 3-13. Composition of software system technology

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 303)

가) 무인이동체 소프트웨어 플랫폼 기술

무인이동체 응용소프트웨어가 하드웨어나 시스템 소프트웨어(운영체제)와 독립적으로 구동되는 환경을 말하며, 이를 위한 안전 운행/고성능 OS 및 미들웨어와 관련된 기술을 포함한다.

무인이동체 제어를 위한 실시간 OS 기술은 국내외 소프트웨어 개발 업체 및 연구 그룹에서 개발되고 있으며, 개발된 OS는 상용화되어 무인이동체에 적용되고 있다. Qplus-AIR는 한국전자통신연구원에서 개발한 시/공간 분할 기술을 기반으로 실시간, 높은 신뢰성을 제공하는 운영체제이다.

드론 코드(Drone Code)는 무인 항공기용 개방형 하드웨어/소프트웨어를 개발하기 위한 글로벌 오픈소스 프로젝트이다. 통신, 비행 코드, 지상관제, 비행 제어 하드웨어, 시뮬레이터, 개발자 API 등에 대한 하위 프로젝트가 있다. MAVLink는 초소형 무인 항공기용 경량 통신 프로토콜로 무인항공기와 지상 관제국 간의 통신에 사용되고, ROS 기반 응용소프트웨어와 연동을 할 수 있다. PX4 Pro Autopilot은 무인항공기를 위한 오픈소스 자동 조종 시스템으로 다양한 유형의 무인항공기에 대한 비행 제어 알고리즘 및 내비게이션을 제공한다. Q Ground Control은 드론 코드 프로젝트를 위한 기준 지상 관제소이며 무인항공기의 펌웨어 설치/구성/조정 및 무인항공기의 비행경로 계획을 제공한다.

국내 소프트웨어 플랫폼 기술 개발은 주로 산업통상자원부, 전자통신연구원 등 정부 부처와 연구기관이 주도하고 있다. 한국전자통신연구원이 개발한 무인 이동체용 소프트웨어 플랫폼인 QPlus-AIR는 시공간 분할 기능을 통해 하나의 애플리케이션에서 발생한 오류가 다른 애플리케이션에 영향을 미치지 않도록 하여 전체 시스템의 신뢰성을 향상했다.

한국전자통신연구원이 개발한 QPlus-HYPER 기술은 무인이동체 애플리케이션을 위한 고성능, 고신뢰성 OS를 동시에 운용할 수 있는 기술로 임무 처리, 영상처리, 통신 등 애플리케이션 실행에 적합한 환경을 제공한다.

국내 무인이동체 시스템을 위한 소프트웨어 플랫폼 보안기술은 초기 단계이다. 무인이동체 시스템과 유사한 시스템인 스마트카를 개발하는 국내 자동차 제조사들이 스마트카 보안 위협 대응 기술 개발을 진행하고 있다.

나) 무인이동체 응용소프트웨어 개발지원 기술

무인이동체 응용소프트웨어 개발 지원기술에는 개발자 관점에서 소프트웨어를 개발하는 데 필요한 SDK, 검증 기술, 시뮬레이션 기술, 통합 개발도구

등이 포함된다. SDK에는 응용소프트웨어 개발을 위한 라이브러리와 관련 문서가 포함되어 있으며, 검증 기술에는 시스템이 요구사항을 만족하는지 확인하는 정형 검증 기법 등 관련 기술이 모두 포함되어 있다. 시뮬레이션 기술은 실제 하드웨어 기반 테스트에 걸리는 시간과 비용을 줄이기 위한 기술로 모델을 이용한 시뮬레이션 과정을 통해 소프트웨어 오류를 검출하고 성능을 예측하는 기술이며, 개발도구(툴)은 개발 효율성을 높이기 위하여 사용자 UI/UX를 고려한 개발도구 관련 기술을 말한다.

무인이동체 소프트웨어 아키텍처 기술은 무인이동체 관제 소프트웨어 모듈의 재사용성과 휴대성을 높이기 위해 OS-미들웨어 애플리케이션을 위한 소프트웨어를 구성하고 시스템 소프트웨어와 구성요소 소프트웨어 간의 인터페이스, 시스템 간 인터페이스를 표준화한다.

드론 코드의 하위 프로젝트인 드론 키트(Drone Kit)는 3D Robotics에서 지원하며 드론 응용소프트웨어 개발을 위한 SDK 및 관련 API 라이브러리를 제공한다. Drone Kit-Python은 드론 항공기에 장착되는 소프트웨어 개발 도구이고, Drone Kit-Cloud는 웹 애플리케이션을 통해 웹 서비스를 구축하는데 사용되는 소프트웨어 개발 도구이다. Drone Kit-Android는 모바일 기기 환경에서 동작하는 지상관제 응용소프트웨어를 개발하기 위한 도구이다.

한국전자통신연구원은 무인이동체와 유사한 시스템인 신뢰 보안 모듈 기반 스마트단말기 보안 핵심기술 개발 과제를 수행했다.

소프트웨어 검사 및 정형 검증에 관한 많은 연구가 진행됐지만, 무인이동체 환경에서 동작하는 응용소프트웨어에 최적화된 검사 및 정형 검증 기법에 관한 연구는 아직 상용화 단계에 이르지 못했다.

무인항공기 개발 과정에서 비행 제어 소프트웨어의 성능과 안전성을 검증하기 위해 HILS 기법을 활용한 연구가 국방과학연구소와 한국항공우주연구

원을 중심으로 진행되고 있다. 최근 세종대학교에서는 유인항공기와 무인항공기가 공존하는 상황에서 충돌에 관한 연구를 진행하고 있다. 회피를 위한 시뮬레이션 엔진을 구축하기 위한 연구가 수행되었다.

3) 하드웨어 체계 기술

하드웨어 체계는 임무 맞춤형 무인비행체 구현 및 성능향상을 위해 신개념 구조물, 재료, 복잡한 형상 제조 방법 등을 개발하는 기술이다.

구조적 경량화, 효율성 증대, 구조적 안전성 향상을 위해 차세대 무인비행체에 적용할 수 있는 구조 및 소재 기술은 다음과 같이 4가지로 구분할 수 있다.

가) 다기능 구조 기술

시스템의 무게와 부피를 줄이기 위해 구조물, 센서, 액추에이터, 안테나 등을 통합하는 개념이다. 그 효과는 1990년대 후반 미국 항공우주국의 우주 탐사 프로그램인 새천년 프로그램 딥 스페이스 1(New Millennium Program Deep Space 1)을 통해 검증됐다. 다음 그림 3-14에서 보듯이 샌드위치 패널 내부에 배터리나 전자부품을 집적한 다기능 구조와 적층 복합구조물 내부에 안테나 등 통신 모듈을 삽입하는 다기능 구조이다. 최근 구조재료로 널리 적용되는 복합 재료의 전기 전도 특성을 개선하기 위해 탄소나노튜브를 이용한 다기능 복합구조물에 관한 연구가 진행되고 있다.

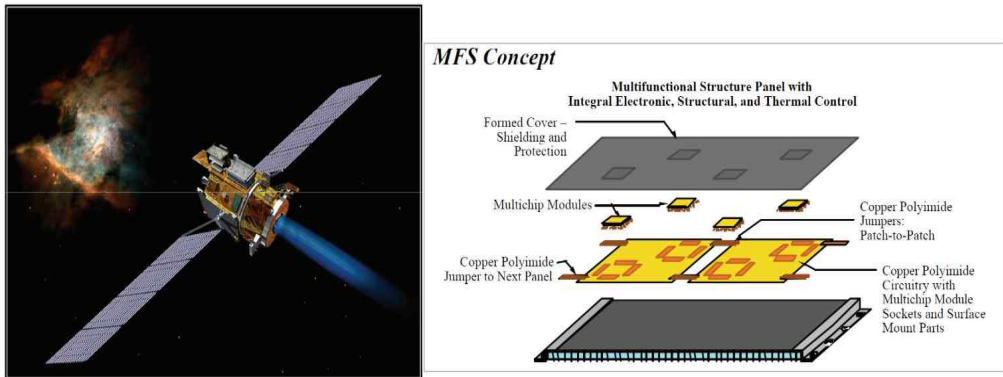


그림 3-14. Deep space 1과 이에 적용된 다기능 구조 패널

Figure 3-14. Deep space 1 and its applied multi-functional structural panel

(출처 : [좌] Lockheed Martin 社, 2000. / [우] 무인이동체 기술혁신과 성장
10개년 로드맵(2018), p. 317)

구조 전지는 미국에서 처음 제안된 개념으로, 2010년까지 약 20년 동안 방위산업용 우주선, 우주 조각품, 초소형 항공기에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행됐다. 기존 전기화학 장치가 단일 기능으로 에너지 저장만 수행하는데 비하여, 구조 전지는 에너지 저장 및 하중 지지와 같은 두 가지 이상의 기능을 수행할 수 있어서 효율성이 높다. 미국 스탠퍼드대 연구팀은 전기화학적 에너지를 저장하는 것 외에 기계적 하중을 지지하고 구조적 건전성을 유지하는 SHM(Structural Health Monitoring) 기술을 연구하고 있다.

국내 구조 전지에 관한 연구는 2010년부터 KAIST에서 진행됐다. 주요 연구는 하중을 지지할 수 있는 구조 전지의 적층 구조, 유전체층, 복합케이스 개발을 통해 기계적, 전기적 성능을 극대화하는 것이다. 적층 구조는 에너지 저장 기능을 가지며, 적층 구조의 불연속적인 부분을 없애거나 최소화한 형상

설계가 특징이다.

국내 구조 전지 기술 연구는 미국이나 유럽에 비해 훨씬 늦게 시작됐지만, 탄소섬유 기반 단위 셀 규모에서는 선진국과 동등하거나 앞서 있다.

나) 신개념 재료 및 구조 기술

모핑 기술은 외부의 힘으로 형태가 변하고 변형되는 시스템을 유기적으로 포함하는 기술이다. 최근에는 모핑에 적합한 실리콘, 폴리우레탄 등의 유연한 소재를 이용한 복합 재료가 개발되고 있다. 모핑 기술은 고성능 비행이 요구되는 군용 항공기에 널리 적용되고 있으며, 대규모 모핑 기술은 항공기뿐만 아니라 자동차에도 적용되고 있다. Flex foil은 Flexsys, 미국 항공우주국, 공군 연구소가 공동으로 개발한 새로운 모핑 날개 시스템이다. Gulf stream III 비즈니스 제트기와 Bell 222 헬리콥터에서 테스트 되고 있으며 BMW의 콘셉트카 GINA에 사용되는 유연하면서도 방수가 되는 폴리우레탄 시스템이다. 코팅된 모핑 섬유가 적용되고 있다.

모핑 기술의 경우, 액추에이터나 형상기억합금을 이용한 생체모방 기술에 대한 기초연구가 국내 여러 대학에서 진행되고 있다. 그러나 생체모방을 위한 모핑용 복합 재료의 개발 수준은 아직 낮으며, 관련 응용 분야의 개발도 정체되어 있다. 모핑용 복합소재 기술이 개발되고 관련 모핑 응용 기술이 적용된다면 새로운 산업적 가치가 창출될 것으로 기대된다.

다) 자율 진단 및 자가 치유 구조 기술

무인이동체 등 대형 복합구조물의 손상 진단 및 예후에는 공정 중 수행할 수 있는 in-process NDT&E(Non-Destructive Testing & Evaluation)와 운영 중 수행할 수 있는 In-situ NDT & E 및 SHM 기술 개발이 주를 이루고 있다. 복합재 이동 항공기 기체의 유지보수에는 큰 비용과 시간이 소요되기 때문에 이러한 비용을 절감하려는 시도가 진행되고 있으며, 이를 위해 인공지능

이나 로봇을 기반으로 한 완전 자동화 시스템의 개발이 고려되고 있다.

자가 치유 구조는 구조재료에 함유된 외인적 치유 물질을 이용하는 방법과 외부 자극을 통한 내인성 자가 치유 방법으로 나눌 수 있다. 2006년 이후 관련 논문이 지속해서 증가하고 있으며, 유럽과 미국에서는 분자 수준의 자가 치유 시스템부터 자가 치유 시스템 개발 등 대규모 산업에 이르기까지 상당한 연구비와 시설 투자가 이루어지고 있다. 자가 치유 콘크리트를 위한 복원 물질을 마이크로캡슐이나 혈관 망을 통해 재료 내부에 적용하고, 자가 복원력을 갖는 모르타르와 자가 치유 고분자, 세라믹, 금속 등 연구 복합 재료를 이용한 블록형 자가 치유 구조 적용 연구를 진행하고 있다.

국내에서도 In-situ/In-service 복합 재구조 진단에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내 군용기 부분 자동화 기술은 이미 세계적으로 인정받고 있으며, 인공지능 기반 영상인식 알고리즘을 통해 자율구조 진단 기술이 개발되고 있다. 부분 자동화된 NDT & E 기술과 인공지능 기반 영상인식 알고리즘의 통합을 통해 완전히 자동화된 무인이동체 자율 진단 시스템을 구현하면 기체의 다운타임을 줄이고 운영 비용을 절감할 수 있어 차세대 무인이동체의 효율적인 운영, 유지보수와 수리를 할 수 있을 것이다.

자가 치유 구조에 대해서는 국내 연구 성과가 거의 없고, 해외 선진국과의 기술 격차도 점점 벌어지고 있다. 그러나 자가 치유 고분자 소재를 적용한 복합구조물 분야에서는 기술 선도국과의 기술 격차가 크지 않아 항공우주, 자동차, 무인이동체 등의 구조물에 대한 수요는 계속 증가할 것으로 예상된다. 따라서 집중적인 투자와 효율적인 연구를 통해 경쟁력 있는 기술을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

라) 맞춤형 제작 기술

적층 가공(Additive Manufacturing)으로 알려진 3D프린팅 기술은 일반적인

절단 가공 방법으로는 구현할 수 없는 복잡한 형상의 구축과 구조물의 수리 및 보강에 응용할 수 있는 방법이다. 유럽, 미국 등 해외 주요 선진국들이 기술 개발을 주도하고 있으며, 장비 시장은 미국, 일본, 유럽, 이스라엘, 중국 등이 주도하고 있고, 장비 기술을 보유한 기업들이 소재 기술도 보유하고 있다. 주요 응용 분야로는 자동차, 항공, 의료, 전자 등이 있으며, 새로운 활용 분야로 확대하기 위해 신 원천기술 개발에 집중적인 투자를 하고 있다. 최근에는 금속, 고분자 플라스틱뿐만 아니라 섬유 강화 복합 재료와 이를 이용한 고강성, 고강도 구조 부품을 활용한 3D 프린터 개발과 더불어 제조업에 적합한 로봇 기반 3D프린팅 기술 개발도 활발하다. 대형 복합구조물 및 복잡한 형상의 부품까지 진행하고 있다. 또한 미국 오로라 플라이트 사이언스(Aurora Flight Sciences)는 3D프린팅을 통해 80% 제작한 소형 제트기의 비행 테스트를 성공적으로 진행했다.

국내 수준은 선진국에 비해 기술 경쟁력이 부족하지만 조선, 항공, 자동차 분야 등 수요산업과의 연계를 통해 성장 가능성이 있는 것으로 평가된다.

임무 맞춤형 무인이동체 구조물 개발에 3D프린팅 제조 기술을 적용해 국내 3D프린팅 장비 분야와 무인이동체 분야 동시 성장이 기대된다.

4) 국내기술 수준 분석

‘무인이동체 기술혁신과 성장을 위한 10개년 로드맵(2018)’에 따르면, 개발 체계와 관련된 국내기술 수준은 자율 주행 지능형 무인이동체 개발 프로세스의 필요성이 인식되고 논의가 진행되는 단계이다. 수립 전략을 기획하고 구체화하는 단계에 진입한 미국을 따라잡는 단계다. 그러나 국내 무인항공기 시스템 개발 경험과 높은 수준으로 인해 일부 시험평가 및 인증 관련 기술은 선도적인 수준인 것으로 분석됐다.

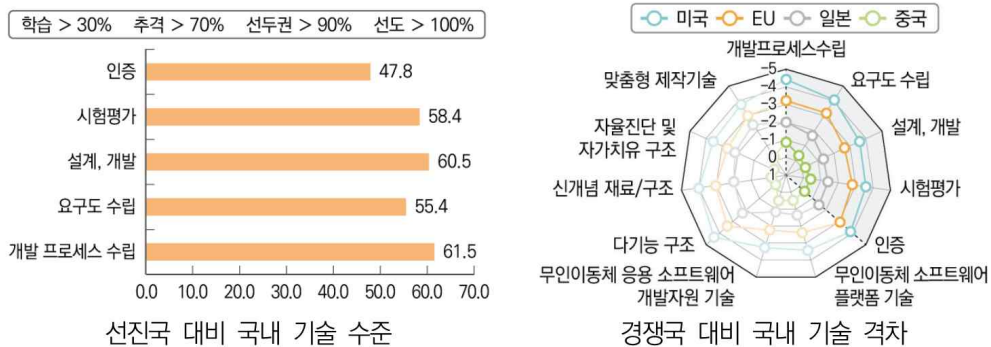


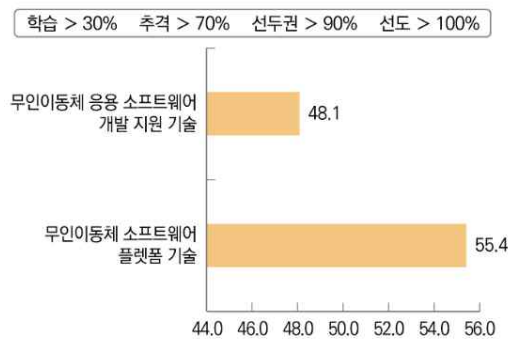
그림 3-15. 국내기술 수준 분석(개발 체계 기술)

Figure 3-15. Domestic technology level analysis (development system technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 294)

위 분석 결과에 따르면 인증 47.8%, 요구도 수립 55.4%가 최저로 나타났으며 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 부여할 수 있을 것이다.

시스템 개발 소프트웨어 체계와 관련된 전반적인 기술 역량은 선진국 수준의 약 50% 수준이다. 소프트웨어 플랫폼 기술 중 무인이동체의 안전한 운용을 위한 OS 기술은 세계 수준의 60% 수준으로 평가되나, 그 외 기술은 기술 선두국인 미국과 3~4년 정도의 기술 격차를 보인다.



선진국 대비 국내 기술 수준



경쟁국 대비 국내 기술 격차

그림 3-16. 국내기술 수준 분석(소프트웨어 체계 기술)

Figure 3-16. Domestic technology level analysis (software system technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 309)

위 분석 결과에 따르면 무인이동체 응용소프트웨어 개발지원 기술 48.1%가 최저로 나타났으며 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 부여할 수 있을 것이다.

하드웨어 체계 관련 요소기술에 대한 국내기술 수준 조사 결과, 다기능 구조 기술 중 일부 기술은 선도적인 기술을 보유하고 있으나 대부분 학술 수준에 머물고 있다. 기술 선도국과 비교하면 약 4년 정도의 기술 격차가 있는 것으로 나타났다.

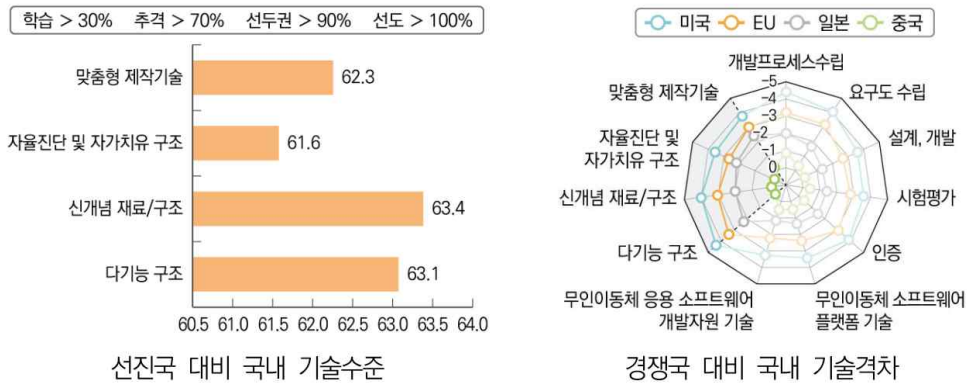


그림 3-17. 국내기술 수준 분석(하드웨어 체계 기술)

Figure 3-17. Domestic technology level analysis (hardware system technology)

(출처 : 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018), p. 321)

위 분석 결과에 따르면 자율 진단 및 자가 치유 구조 61.6%, 다기능 구조 63.1%가 최저로 나타났으며 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위를 부여할 수 있을 것이다.

3.2. 드론 무기화 소요 기술 선정

이번 절에서는 2.2 드론 임무별 운용 양상 분석을 통한 대응 방안 정립의 결과와 3.1 드론 무기화 기술 분석을 토대로 “무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(2018)” 연구보고서[68]에서의 6대 공통 핵심 기능 기술 중 국방 드론 발전을 위해 향후 연구 개발 시 필요한 소요 기술을 선정하여 제시하고자 한다. 위 연구보고서에서 제시하고 있는 기술은 최근 10년간 논문·특허 등 분석, 정부 연구·개발 투자, 산·학·연 전문가 대상 설문조사 분석을 통해 작성된 향후

10년간의 공통 핵심 기능 기술이다.

먼저 앞 2.2절에서 정립한 드론의 운용 양상을 정찰 임무, 공격 임무, 복합 임무로 구분하여 각 임무를 수행하는 드론의 소요 기술을 선정하겠다.

3.2.1. 정찰 임무 수행 드론의 소요 기술

정찰 임무 드론의 운용 양상은 "R-1. 방공 위협 취약 지역 침투" 등 3개로 정립하였다. 운용 양상은 적의 드론이 침투 공격 시 방어하는 입장과 우리가 같은 양상으로 적 지역으로 공격하는 입장으로 나뉠 수 있으므로 한 개의 드론 운용 양상별로 "방어 시"와 "공격 시" 두 가지로 구분하여 소요 기술을 선정하도록 하였다. 표 3-10 "세부 설명"란의 숫자는 선정한 소요 기술과 관련이 되는 3.1 드론 무기화 기술 분석에서의 "항" 번호이다.

표 3-10. 정찰 임무 수행 드론의 운용 양상별 소요 기술

Table 3-10. Required technology for each operation aspect of drones performing reconnaissance missions

드론 운용 양상	소요 기술		세부 설명
	방어 시	공격 시	
R-1. 방공 위협 취약 지역 침투	a. 통신보안 기술 b. 탐지 및 회피기술 c. 임무 장비 기술	d. 자가 운영 기술 e. 동력원 기술	3.1.2-3) 3.1.1-2) 3.1.1-3)
			3.1.3-2) 3.1.4-1)
R-2. 인구 밀집 지역 상공 침투	a. 원격 운용 기술 b. 통신보안 기술 c. 탐지 및 회피기술 d. 임무 장비 기술	e. 자가 운영 기술 f. 동력원 기술	3.1.5-2) 3.1.2-3) 3.1.1-2) 3.1.1-3)
			3.1.3-2) 3.1.4-1)
R-3. 중요시설 불법 비행	a. 통신보안 기술	b. 항법 및 항행 기술 c. 동력원 기술	3.1.2-3)
			3.1.1-1) 3.1.4-1)

표에서 방공 위협 취약지역 침투(R-1)와 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 5개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

1) 통신보안 기술(R-1-a) : 적이 아군의 방공 위협 취약지역으로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 아군 방공자산 은폐·엄폐 철저 및 통신보안 유지를 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 통신 및 네트워크 보안기술과 제밍 스푸핑 방지 기술이 있다.

2) 탐지 및 회피기술(R-1-b) : 적이 아군의 방공 위협 취약지역으로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 레이더, 초음파 센서 등으로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이더 센서 기술 등이 있다.

3) 임무 장비 기술(R-1-c) : 적이 아군의 방공 위협 취약지역으로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 소형드론 탐지 가능 레이더 설치 강화와 탐지 자산 능력 강화(AESA 레이더 항공기 이동식에서 지상 고정식으로 개발 운용 등)를 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 무인 이동체용 EO/IR 센서의 소형·경량·저전력화 기술과 소형 무인이동체 탑재를 위한 경량-저전력 SAR 기술이 있다.

4) 자가 운영 기술(R-1-d) : 아군이 방공 위협 취약지역으로 적 지역으로 침투 공격 시에 필요한 핵심기술로서 북한 지역으로의 최적 침투경로 사전 분석을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 자율 임무 계획 기술과 자율 유도제어 기술이 있다.

5) 동력원 기술(R-1-e) : 아군이 방공 위협 취약지역으로 적 지역으로 침투 공격 시에 필요한 핵심기술로서 장거리 비행 동력원 기술 향상을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 차세대 배터리, 고효율 스마트 엔진, 경량/고효율 연료

전지, 태양전지, 하이 브리드 동력원, 에너지 관리 등이 있다.

표에서 인구 밀집 지역 상공 침투(R-2)와 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 6개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

6) 원격 운용 기술(R-2-a) : 적이 아군의 인구 밀집 지역 상공으로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 하드킬(레이저포, 네트 드론, 직충돌식 드론 등)을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 직접 운용 기술과 감시제어 기술이 있다.

7) 통신보안 기술(R-2-b) : 적이 아군의 인구 밀집 지역 상공으로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 소프트킬 기술 발전을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 통신 및 네트워크 보안기술과 재밍 스푸핑 방지 기술이 있다.

8) 탐지 및 회피기술(R-2-c) : 적이 아군의 인구 밀집 지역 상공으로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 레이더, 초음파 센서 등으로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이다 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

9) 임무 장비 기술(R-2-d) : 적이 아군의 인구 밀집 지역 상공으로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 EO/IR 센서 기술과 SAR 기술이 있다.

10) 자가 운영 기술(R-2-e) : 아군이 적의 인구 밀집 지역 상공으로 침투 공격 시에 필요한 핵심기술로서 북한 지역으로의 최적 침투경로 사전 분석을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 자율 임무 계획 기술과 자율 유도제어 기술이 있다.

11) 동력원 기술(R-2-f) : 아군이 적의 인구 밀집 지역 상공으로 침투 공격

시에 필요한 핵심기술로서 장거리 비행 동력원 기술 향상을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 차세대 배터리, 고효율 스마트 엔진, 경량/고효율 연료전지, 태양전지, 하이 브리드 동력원, 에너지 관리 등이 있다.

표에서 중요시설 불법 비행(R-3)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 3개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

12) 통신보안 기술(R-3-a) : 적이 아군의 중요시설로 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 통신 및 네트워크 보안기술과 재밍 스푸핑 방지 기술이 있다.

13) 항법 및 항행(R-3-b) : 아군이 적의 중요시설 정찰/공격 등의 목적으로 침투 시에 필요한 핵심기술로서 요소기술에는 위성항법 정밀도 향상 기술과 항법 무결성 확보 기술이 있다.

14) 동력원 기술(R-3-c) : 아군이 적의 중요시설 정찰/공격 등의 목적으로 침투 시에 필요한 핵심기술로서 장거리 비행 동력원 기술 향상을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 차세대 배터리, 고효율 스마트 엔진, 경량/고효율 연료전지, 태양전지, 하이 브리드 동력원, 에너지 관리 등이 있다.

3.2.2. 공격 임무 수행 드론의 소요 기술

공격 임무 드론의 운용 양상은 “A-1. 적 위협 사전 무력화” 등 7개로 정립하였다. 운용 양상은 적의 드론이 침투 공격 시 방어하는 입장과 우리가 같은 양상으로 적 지역으로 공격하는 입장으로 나눌 수 있으므로 한 개의 드론 운용 양상별로 “방어 시”와 “공격 시” 두 가지로 구분하여 소요 기술을 선정하도록 하겠다. 표 3-11 “세부 설명”란의 숫자는 선정한 소요 기술과 관련이 되는 3.1

드론 무기화 기술 분석에서의 “항” 번호이다.

표 3-11. 공격 임무 수행 드론의 운용 양상별 소요 기술

Table 3-11. Required technology for each operation aspect of drones performing attack missions

드론 운용 양상	소요 기술		세부 설명
	방어 시	공격 시	
A-1. 적 위협 사전 무력화	a. 네트워크 기술	b. 네트워크 기술	3.1.2-2)
			3.1.2-2)
A-2. 민간 드론 개조 및 무장 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술	c. 인간 친화적 사용자 인터페이스 기술	3.1.1-2)
			3.1.1-3)
A-3. 장거리 침투 공격	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술	c. 항법 및 항행 d. 자가 운영 기술 e. 동력원 기술	3.1.5-1
			3.1.1-2)
A-4. 단거리 목표물 정찰 / 공격	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술	c. 네트워크 기술	3.1.1-3)
			3.1.2-2)
A-5. 목표 인근지역으로 이동 후 공격	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술	d. 항법 및 항행 e. 인간 친화적 사용자 인터페이스	3.1.1-2)
			3.1.1-3)
A-6. 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술	d. 자가 운영 기술	3.1.2-3)
			3.1.3-2)
A-7. 타 무기체계와 연계 운용	a. 통신보안 기술	b. 네트워크 기술	3.1.2-3
			3.1.2-2)

표에서 적 위협 사전 무력화(A-1)와 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 2개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

1) 네트워크 기술(A-1-a) : 적이 아군의 위협을 사전에 무력화하고 침투 공격

시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로, 조기에 탐지 수단 기술 강화와 상호 연동, 주변 환경에 따른 탐지 장비 종류 및 대수 결정을 위해 필요한 기술이며 요소기술에는 인프라 네트워크 기술이 있다.

2) 네트워크 기술(A-1-b) : 아군이 적의 위협을 사전에 무력화하고 침투 공격 시 이에 대해 필요한 핵심기술로, 드론 공격 이전에 기만기를 활용하여 적 교란 능력을 발전시키기 위한 요소기술에는 애드혹 네트워크 기술이 있다.

표에서 민간 드론 개조 및 무장 운용(A-2)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 3개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

3) 탐지 및 회피기술(A-2-a) : 적이 민간 드론을 개조 및 무장하여 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로, 레이더·초음파 센서 등으로 침투하는 적 드론을 탐지하기 위한 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이더 센서 기술 등이 있다.

4) 임무 장비 기술(A-2-b) : 적이 민간 드론을 개조 및 무장하여 침투 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로, 적의 개조된 민간 드론식별 능력향상 등이 요구되며 이를 위해 필요한 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

5) 인간 친화적 사용자 인터페이스 기술(A-2-c) : 아군이 민간 드론을 개조 및 무장하여 침투 공격 시에 필요한 핵심기술로, 아에로로즈비드카와 같은 민간 드론 전문 동호회를 평시에도 국가적 차원에서 조직적으로 구성 및 활동하고 전시에는 드론부대로 전환하여 운용하도록 하고, 특히 FPV 드론 기술을 적극 활용하기 위한 요소기술에는 운용자를 위한 무인이동체 관점 AR 구현 기술과 다중 운용자에게 동시 지원이 가능한 VR/AR 플랫폼 기술인 가상환경/가상

현실 기술, 음성 및 제스처 인식을 통한 무인이동체 운용 기술과 생체 정보(뇌파, 시선 등)를 활용한 무인이동체 운용 기술인 NUI(Natural User Interface) 기술이 있다.

표에서 장거리 침투 후 공격(A-3)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 5개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

6) 탐지 및 회피기술(A-3-a) : 적이 장거리 침투 후 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 레이더, 초음파 센서 등으로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이더 센서 기술 등이 있다.

7) 임무 장비 기술(A-3-b) : 적이 장거리 침투 후 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 이를 위해 필요한 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

8) 항법 및 항행 기술(A-3-c) : 아군이 장거리 침투 후 공격에 필요한 핵심기술로, 요소기술에는 위성항법 정밀도 향상 기술, 실내외 복합항법 기술 등이 있다.

9) 자가 운영 기술(A-3-d) : 아군이 장거리 침투 후 공격에 필요한 핵심기술로 침투 시 장거리 항법 능력을 강화하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 자율 임무 계획 기술과 자율 유도제어 기술이 있다.

10) 동력원 기술(A-3-e) : 아군이 장거리 침투 후 공격에 필요한 핵심기술로 장거리 비행 동력원 기술 향상을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 차세대 배터리, 고효율 스마트 엔진, 경량/고효율 연료전지, 태양전지, 하이 브리드 동력원, 에너지 관리 등이 있다.

표에서 단거리 목표물 정찰 / 공격(A-4)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 3개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

11) 탐지 및 회피기술(A-4-a) : 적이 아군의 단거리 목표물 정찰/공격 시에 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 레이더, 초음파 센서 등으로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 레이다 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

12) 임무 장비 기술(A-4-b) : 적이 아군의 단거리 목표물 정찰/공격 시에 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 레이더, 적외선 카메라 및 다양한 센서를 활용한 적의 자폭 드론을 사전에 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

13) 네트워크 기술(A-4-c) : 아군이 적의 단거리 목표물 정찰/공격 시에 필요한 핵심기술로 공격 시 타 무기체계와 연동 강화(유무인 통합체계, 공군기, 포병, 미사일 등)를 위해 필요한 요소기술에는 애드혹 네트워크와 인프라 네트워크 기술이 있다.

표에서 목표 인근지역으로 이동 후 공격(A-5)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 5개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

14) 통신보안 기술(A-5-a) : 적이 아군의 목표 인근지역으로 이동 후 공격 시에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 적을 무력화하기 위해서 전자총(재머) 사용 등 전자적 무력화 방법을 사용할 때 필요한 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

15) 탐지 및 회피기술(A-5-b) : 적이 아군의 목표 인근지역으로 이동 후 공

격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 레이더, 초음파 센서 등으로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

16) 임무 장비 기술(A-5-c) : 적이 아군의 목표 인근지역으로 이동 후 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 EO/IR 센서 기술과 SAR 기술이 있다.

17) 항법 및 항행 기술(A-5-d) : 아군이 적의 목표 인근지역으로 이동 후 공격 시 필요한 핵심기술로 필요한 요소기술에는 위성항법 정밀도 향상 기술과 실내외 복합항법 기술이 있다.

18) 인간 친화적 사용자 인터페이스 기술(A-5-e) : 아군이 적의 목표 인근지역으로 이동 후 공격 시 필요한 핵심기술로 적의 목표 인근지역으로 이동 후 비가시권 지역에서 FPV 드론 기술을 활용하는 데 필요한 기술이다. 요소기술에는 운용자를 위한 무인이동체 관점 AR 구현 기술과 다중 운용자에게 동시 지원이 가능한 VR/AR 플랫폼 기술인 가상환경/가상현실 기술, 음성 및 제스처 인식을 통한 무인이동체 운용 기술과 생체 정보(뇌파, 시선 등)를 활용한 무인이동체 운용 기술인 NUI(Natural User Interface) 기술이 있다.

표에서 해안 인근 기반 시설 및 해상 선박 공격(A-6)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 4개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

19) 탐지 및 회피기술(A-6-a) : 적이 아군의 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

20) 임무 장비 기술(A-6-b) : 적이 아군의 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 공격하는 적 드론을 사전에 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

21) 통신보안 기술(A-6-c) : 적이 아군의 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 공격하는 적 드론을 전자충(재머) 사용 등 전자적 무력화 방법을 사용할 때 필요한 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

22) 자가 운영 기술(A-6-d) : 아군이 적의 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격 시 필요한 핵심기술로 아군의 특수 작전 부대가 정찰 이후 획득한 표적에 대해 아군의 자폭 드론 등을 유도 공격할 때 필요한 기술이며, 요소기술에는 자율 임무 계획 기술과 자율 유도제어 기술이 있다.

표에서 타 무기체계와 연계 운용(A-7)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 2개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

23) 통신보안 기술(A-7-a) : 적이 타 무기체계(포병, 미사일, 공군 등)와 연계하여 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 전자적 무력화 방안을 사용하여 적 드론과 타 무기체계와의 연계를 차단하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

24) 네트워크 기술(A-7-b) : 아군이 타 무기체계(포병, 미사일, 공군 등)와 연계하여 공격 시 필요한 핵심기술로 드론·유도폭탄·포병·공군 폭격기·다른 드론들과의 원활한 통신 네트워크 기술 강화를 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 애드혹 네트워크 기술과 인프라 네트워크 기술이 있다.

3.2.3. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 소요 기술

정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상은 "C-1. 유·무인기 통합 운용" 등 9개로 정립하였다. 운용 양상은 적의 드론이 침투 공격 시 방어하는 입장과 우리가 같은 양상으로 적 지역으로 공격하는 입장으로 나뉘 수 있으므로 한 개의 드론 운용 양상별로 "방어 시"와 "공격 시" 두 가지로 구분하여 소요 기술을 선정하도록 하겠다. 표 3-12 "세부 설명"란의 숫자는 선정한 소요 기술과 관련이 되는 3.1 드론 무기화 기술 분석에서의 "항" 번호이다.

표 3-12. 정찰 및 공격 임무 복합 수행 드론의 운용 양상별 소요 기술
Table 3-12. Required technology for each operation aspect of drones performing reconnaissance and attack missions simultaneously

드론 운용 양상	소요 기술		세부 설명
	방어 시	공격 시	
C-1. 유·무인기 통합 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안	d. 원격 운용 기술 e. 지능 협업 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3) 3.1.2-3)
			3.1.5-2) 3.1.3-4)
C-2. 군집 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술	c. 네트워크 기술 d. 상황 인식 기술 e. 소프트웨어 체계 기술 f. 협력 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3)
			3.1.2-2) 3.1.3-1) 3.1.6-2) 3.1.5-4)
C-3. 자동 항법 또는 원격조종 방식 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술	c. 동력원 기술 d. 항법 및 항행	3.1.1-2) 3.1.1-3)
			3.1.4-1) 3.1.1-1)
C-4. 중·고 고도 장기 체공 후 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술	d. 네트워크 기술 e. 동력원 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3) 3.1.2-3)
			3.1.2-2) 3.1.4-1)
C-5. 정찰과 공격 임무 복합 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술.	d. 하드웨어 체계 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3) 3.1.2-3)
			3.1.6-3)
C-6. 전(全) 방향으로 침투 가능	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술	d. 이동 및 작업 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3) 3.1.2-3)
			3.1.4-2)
C-7. 저렴한 드론의 활용성 증가	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술	d. 개발 체계 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3) 3.1.2-3)
			3.1.6-1)
C-8. 도시작전에 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술	d. 지능 협업 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3) 3.1.2-3)
			3.1.3-4)
C-9. 지하 작전에 운용	a. 탐지 및 회피기술 b. 임무 장비 기술 c. 통신보안 기술	d. 자가 운영 기술 e. 항법 및 항행 기술	3.1.1-2) 3.1.1-3) 3.1.2-3)
			3.1.3-2) 3.1.1-1)

표에서 유·무인기 통합 운용(C-1)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 5개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

1) 탐지 및 회피기술(C-1-a) : 적이 유·무인기를 통합하여 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 요소기술에는 레이다 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

2) 임무 장비(C-1-b) : 적이 유·무인기를 통합하여 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

3) 통신보안(C-1-c) : 적이 유·무인기를 통합하여 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 전자충(재머) 사용 등 전자적 무력화 방법을 사용할 때 필요한 기술이며, 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

4) 원격 운용 기술(C-1-d) : 아군이 유·무인기 통합 운용하에 공격 시 필요한 핵심기술로 무인기 탐지 및 제어 기술 발전과 적 핵심 및 고가치 표적에 대한 무인 정찰드론 사전 운용 등을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 직접 운용 기술과 감시제어 기술이 있다.

5) 지능 협업(C-1-e) : 아군이 유·무인기 통합 운용하에 공격 시 필요한 핵심 기술로 MUM-T(유·무인 통합체계)로 운용을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 임무 분석 및 임무 분산 할당 기술과 다수 무인이동체 운용 기술이 있다.

표에서 군집 운용(C-2)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 6개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

6) 탐지 및 회피기술(C-2-a) : 적이 드론을 군집 운용 시 이에 대한 방어에

필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이더 센서 기술 등이 있다.

7) 임무 장비(C-2-b) : 적이 드론을 군집 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 공격하는 드론들을 탐지하는 데 필요한 기술로서, 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

8) 네트워크 기술(C-2-c) : 아군이 드론을 군집 운용 공격 시 이에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 애드혹 네트워크와 인프라 네트워크 기술이 있다.

9) 상황 인식 기술(C-2-d) : 아군이 드론을 군집 운용 공격 시 이에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 상황 인지 기술, 상황 이해 기술, 예측 기술이 있다.

10) 소프트웨어 체계 기술(C-2-e) : 아군이 드론을 군집 운용 공격 시 이에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 무인이동체 응용 소프트웨어 개발 지원 기술 중 군집 미션에 필요한 미션 응용 API와 이를 지원하는 SDK 개발 및 관련 기술인 무인이동체 응용 SDK 기술이 있다.

11) 협력 기술(C-2-f) : 아군이 드론을 군집 운용 공격 시 이에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 상호 작용 아키텍처 및 성능지표 개발 기술과 HMI 상호 신뢰성 연구 개발 기술이 있다.

표에서 자동 항법 또는 원격조종 방식 운용(C-3)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 4개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

12) 탐지 및 회피기술(C-3-a) : 적이 자동 항법 또는 원격조종 방식으로 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이더 센서 기술 등이 있다.

13) 임무 장비(C-3-b) : 적이 자동 항법 또는 원격조종 방식으로 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론들을 탐지하는 데 필요한 기술로서, 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

14) 동력원 기술(C-3-c) : 아군이 자동 항법 또는 원격조종 방식으로 공격 시 필요한 핵심기술로 요소기술에는 차세대 배터리, 고효율 스마트 엔진, 경량/고효율 연료전지, 태양전지, 하이 브리드 동력원, 에너지 관리 등이 있다.

15) 항법 및 항행(C-3-d) : 아군이 자동 항법 또는 원격조종 방식으로 공격 시 필요한 핵심기술로 요소기술에는 위성항법 정밀도 향상 기술과 항법 무결성 확보 기술, 실내외 복합항법 기술이 있다.

표에서 중·고 고도 장기 체공 후 운용(C-4)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 5개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

16) 탐지 및 회피기술(C-4-a) : 적이 중·고 고도 장기 체공 후 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

17) 임무 장비(C-4-b) : 적이 중·고 고도 장기 체공 후 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론들을 탐지하는 데 필요한 기술로서, 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

18) 통신보안 기술(C-4-c) : 적이 중·고 고도 장기 체공 후 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

19) 네트워크 기술(C-4-d) : 아군이 중·고 고도 장기 체공 후 운용 시 필요한 핵심기술로 드론·유도폭탄·포병·공군 폭격기·다른 드론들과의 원활한 통신 네트워크 기술 강화를 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 애드혹 네트워크와 인

프라 네트워크 기술이 있다.

20) 동력원 기술(C-4-e) : 아군이 중·고 고도 장기 체공 후 운용 시 필요한 핵심기술로 요소기술에는 차세대 배터리, 고효율 스마트 엔진, 경량/고효율 연료전지, 태양전지, 하이 브리드 동력원, 에너지 관리 등이 있다.

표에서 정찰과 공격 임무 복합 운용(C-5)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 4개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

21) 탐지 및 회피기술(C-5-a) : 적이 자신들의 드론을 정찰과 공격 임무 복합 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이더 센서 기술 등이 있다.

22) 임무 장비(C-5-b) : 적이 자신들의 드론을 정찰과 공격 임무 복합 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

23) 통신보안 기술(C-5-c) : 적이 자신들의 드론을 정찰과 공격 임무 복합 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

24) 하드웨어 체계 기술(C-5-d) : 아군의 드론을 정찰과 공격 임무 복합 운용 시 필요한 핵심기술로 아군 드론의 모듈화 기술 발전(정찰, 자폭, 통신 중계 등)을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 다기능 구조 기술, 신개념 재료/구조 기술, 자율 진단 및 자가 치유 구조, 맞춤형 제작 기술이 있다.

표에서 전(全) 방향으로 침투 가능(C-6)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이

총 4개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

25) 탐지 및 회피기술(C-6-a) : 적이 전(全) 방향으로 침투할 수 있어 침투 방향을 판단하기가 곤란할 때 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

26) 임무 장비(C-6-b) : 적이 전(全) 방향으로 침투할 수 있어 침투 방향을 판단하기가 곤란할 때 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

27) 통신보안 기술(C-6-b) : 적이 전(全) 방향으로 침투할 수 있어 침투 방향을 판단하기가 곤란할 때 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 제밍·스푸핑 기술이 있다.

28) 이동 및 작업 기술(C-6-d) : 아군이 전(全) 방향으로 침투할 수 있어 침투 방향을 판단하기가 곤란하도록 공격 시 필요한 핵심기술로 요소기술에는 Quiet Ducted Fan 기술, 수직이착륙 무인기용 고효율 분산 전기 추진형 추력 시스템 기술 등의 이동장치 기술이 있다.

표에서 저렴한 드론의 활용성 증가(C-7)와 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 4개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

29) 탐지 및 회피기술(C-7-a) : 적이 저렴한 가성비 있는 다수의 많은 드론으로 아군을 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 세부 기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

30) 임무 장비(C-7-b) : 적이 저렴한 가성비 있는 다수의 많은 드론으로 아군을 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

31) 통신보안 기술(C-7-c) : 적이 저렴한 가성비 있는 다수의 많은 드론으로 아군을 공격 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

32) 개발 체계 기술(C-7-d) : 아군이 저렴한 가성비 있는 드론 사용을 많이 사용하여 공격 시 필요한 핵심기술로 종이 재질 드론이나 저가의 휘발유 엔진을 사용한 저렴한 드론이나 소재의 부품을 개발하여 가성비 좋은 드론을 대량 생산하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 경제성을 고려한 형상, 성능 영향성 평가 및 설계 최적화 기술 등의 설계·개발 기술이 있다.

표에서 도시작전에 운용(C-8)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 4개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

33) 탐지 및 회피기술(C-8-a) : 적이 드론을 도시작전에 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

34) 임무 장비(C-8-b) : 적이 드론을 도시작전에 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 침투하는 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

35) 통신보안 기술(C-8-c) : 적이 드론을 도시작전에 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 이를 무력화하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 재밍·스푸핑 기술이 있다.

36) 지능 협업 기술(C-8-d) : 아군이 드론을 도시작전에 운용하여 공격 시 필요한 핵심기술로 산업 분야의 건물 내부 도면 제작을 위한 민간 상업용 드론의 기술력을 국방 도시작전용 드론으로 개발하고, 이스라엘의 도시작전에 운용하는 무기체계, 예를 들면 엑스텐더 사의 소형 무인 드론과 소형 자폭 드론인 로템-L 드론 등의 무기체계와 유사한 드론 개발을 위해 필요한 기술이며, 요소기술에는 다수의 무인이동체를 이용한 신속한 3차원 복합정보지도 작성 기술 개발 등의 내용이 포함된 임무 분석 및 임무 분산 할당 기술이 있다.

표에서 지하 작전에 운용(C-9)과 관련한 소요 기술은 다음과 같이 총 5개 기술이 있으며, 세부 기술은 앞 표 “세부 설명”에서 표시한 “항”의 설명을 참조하면 된다.

37) 탐지 및 회피기술(C-9-a) : 적이 드론을 지하 작전에 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 적 드론을 탐지하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 레이더 센서, 초음파 센서, 라이다 센서 기술 등이 있다.

38) 임무 장비(C-9-b) : 적이 드론을 지하 작전에 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 세부 기술에는 EO/IR 센서 기술, SAR 기술 등이 있다.

39) 통신보안 기술(C-9-c) : 적이 드론을 지하 작전에 운용 시 이에 대한 방어에 필요한 핵심기술로 요소기술에는 제밍·스푸핑 기술이 있다.

40) 자가 운영 기술(C-9-d) : 아군이 드론을 지하 작전에 운용하여 공격 시 필요한 핵심기술로 이스라엘의 지하 작전에 현재 운용하는 로보티칸 社의 반자율 드론 ‘루스터’와 같은 유사한 성능의 드론을 개발하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 자율 경로 기술과 무인이동체 자가 운영을 위한 충돌 감지 및 회피기술 등의 자율 유도 기술이 있다.

41) 항법 및 항행 기술(C-9-e) : 아군이 드론을 지하 작전에 운용하여 공격

시 필요한 핵심기술로 AI 기술을 탑재하여 비행하면서 터널 지형을 파악하고, 촬영한 이미지를 지상으로 전송하는 민간 드론 기술력을 국방 지하 작전용 드론으로 개발하는 데 필요한 기술이며, 요소기술에는 가혹 환경(위성항법 성능 불량, 비 가시, 투과형 장애물)에서의 무인이동체 운용을 위한 실시간 3차원 공간정보 구축 및 위치추정 기술 등의 실내외 복합항법 기술이 있다.

3.2.4. 소요 기술의 중요도 및 시급성 분석과 활용 방안

드론 운용 양상별 소요 기술을 분석하여 다음 표 3-13과 3-14로 정리하였다. 총 19개로 정립한 드론의 임무별 운용 양상에 요구되는 소요 기술은 총 79개이었고, 이중 중복되는 기술을 제외하고 16개의 소요 기술로 압축하였다.

이러한 산출 결과를 토대로 소요 기술 개발의 중요도 우선순위를 두 가지 측면에서 분석하겠다.

첫째는 6대 공통 핵심 기능 기술별 분포를 분석하여 중요도를 도출하고, 우선 순위별로 현재의 주요 동향과 국내 수준 그리고 향후 관심을 가지고 기술 개발을 해야 할 중점 사항들을 “무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵”(2018)을 참고하여 제시하고자 한다. 둘째는 드론의 운용 양상이 적용된 소요 기술의 개별 현황을 분석하여 중요도를 도출하고, 개별 기술별로 국내 수준 그리고 향후 관심을 가지고 기술 개발을 해야 할 중점 사항들을 “무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵”(2018)을 참고하여 1~4 순위 위주로 제시하겠다.

표 3-13. 드론 운용 양상별 소요 기술
Table 3-13. Required technology for each drone operation aspect 단위 : 개

드론의 임무	드론 운용 양상	소요 기술	
		전체	중복 제외
정찰	3	14	7
공격	7	24	2
정찰+공격 복합	9	41	7
누계	19	79	16

표 3-14. 소요 기술 현황(중복 제외 / 총 16개)
Table 3-14. Status of required technologies (excluding duplicates / total 16)

6대 공통 핵심 기능 기술	소요 기술	비고(소요 기술이 운용된 전투사례)	수량
1. 탐지 및 인식	1. 항법 및 항행 기술	R-3, A-3, A-5, C-3, C-9	5
	2. 탐지 및 회피기술	R-2, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, C-1~C-9	15
	3. 임무 장비 기술	R-1, R-2, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, C-1~C-9	16
2. 통신	2. 네트워크 기술	A-1, A-4, A-7, C-2, C-4	5
	3. 통신보안 기술	R-1, R-2, A-5, A-6, A-7, C-1, C-4~C-9	12
3. 자율지능	1. 상황 인식 기술	C-2	1
	2. 자가 운영 기술	R-1, R-2, A-3, A-6, C-9	5
	4. 지능 협업 기술	C-1, C-8	2
4. 동력원 및 이동	1. 동력원 기술	R-1, R-2, R-3, A-3, C-3, C-4	6
	2. 이동 및 작업 기술	C-6	1
5. 인간-이동체 인터페이스	1. 인간 친화적 사용자 인터페이스 기술	A-2, A-5	2
	2. 원격 운용 기술	R-2, C-1	2
	4. 협력 기술	C-2	1
6. 시스템 통합	1. 개발 체계 기술	C-7	1
	2. 소프트웨어 체계 기술	C-2	1
	3. 하드웨어 체계 기술	C-5	1

* R(Reconnaissance) : 정찰, A(Attack) : 공격, C(Composite) : 정찰+공격 복합

1) 6대 공통 핵심 기능 기술별 중요도 분석

6대 공통 핵심 기술별 소요 기술이 운용된 전투사례를 빈도별로 분석하면 다음 그림과 같다. 순위별로 분석하면 탐지 및 인식-통신-자율지능-동력원 및 이동-인간 및 이동체 인터페이스-시스템 통합 순으로 나타났으며 이는 전장에서 많이 적용된 전투사례의 분석 결과이므로 중요도 우선순위로 적절하다고 판단하였다.

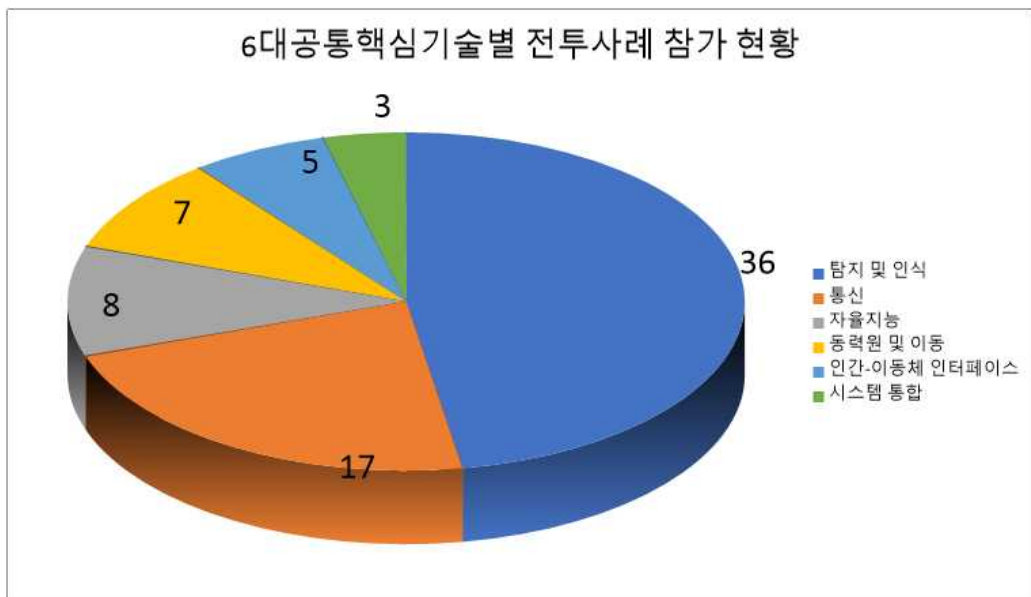


그림 3-18. 6대 공통 핵심 기술별 전투사례 참가 현황

Figure 3-18. Status of combat case participation by 6 common core technologies

먼저 탐지·인식 기술은 센서를 통해 다양한 외부 환경 정보를 획득, 분석, 처리하는 기술이다. 스마트폰 센서 등 기존 연구 결과를 무인이동체에 적용하기 위한 연구가 진행 중이다. 최근 연구·개발 투자가 급증해 2016년에는 전체의 22%를 차지한다. 국내기술 수준은 최고 기술을 보유한 국가 대비 66.5%로, 기술 격차는 약 3.7년이다. 앞으로는 실내, 지하, 수중 등 위성항법을 사용할 수 없는 가혹한 환경, 위성항법 및 통신망 성능 저하, 비가시성, 유리, 거울 등 광

학적으로 투명한 장애물 등이 예상된다.

네트워크 신호강도, 자기장 패턴 등 다양한 신호정보를 관성항법 기술과 연계한 센서로 무인 이동체의 위치를 추정하는 관성 복합항법 센서, 다중 위성항법 신호 수신 알고리즘과 재밍 신호 분류 기술 개발을 통해 위성항법이 가능한 공간에서 위치추정 정확도를 높이는 것이 필요하다. 또한, 기존 장애물 감지 센서(라이다 등)의 소형화, 경량화, 저전력 소모 연구와 다양한 센서 간 융복합을 통한 해상도 등 성능향상에 중점을 두어야 한다.

통신 기술은 조종기-이동체, 이동체-이동체 간 정보 교환을 위한 기술로, 운용 안전성 향상 기술, 불법 이용 억제 기술 등 국내외 기술 개발이 활발한 분야로 2016년 전체 무인이동체 분야 연구·개발의 9%를 차지한다. 국내기술 수준은 최고 기술을 보유하고 있는 국가 대비 58.8%로, 기술 격차는 약 3년 정도이다. 앞으로는 무선통신을 사용할 수 없는 수중에서 무인체를 운용하기 위한 수중통신과 대용량 데이터를 송수신하기 위한 광통신 기술을 개발할 예정이며, 기존 무선통신 기술의 경우 다수의 무인체를 제어하는 기술을 개발할 예정이다. 소출력 신호로 다수의 무인이동체를 제어하기 위한 비면허 대역 무선통신 기술 등 개발 방해 전파 신호²⁰⁾에 대응하고, 무단 무인이동체의 운행을 방지하기 위한 전파방해 및 다중 전파방해 기술 개발을 통한 통신보안 확충에 중점을 두어야 한다.

자율지능 기술은 인간의 개입 없이 스스로 상황을 인지하고 판단하고 처리하는 기술이다. 인공지능 기반 무인이동체 지능 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재 국내에서는 자율주행차를 중심으로 연구가 진행 중으로, 2016년 전체 연구·개발의 7.5%를 차지한다. 국내기술 수준은 최고 수준인 국가 대비 59.1%이며, 기술 격차는 약 3.3년이다. 앞으로는 영상과 음성 기반의 머신러닝과 센서

20) 재밍(jamming)이라 부르며 무인이동체에 강한 전파를 보내어 제어를 불가능하게 하거나 조종사의 통제권을 벗어나 의도치 않은 곳으로 이동하게 하는 행위를 의미한다.

데이터 융합을 통해 3차원 공간 내 외부 사물의 위치나 상황에 대한 인식률이 높아질 것이다. 이동 경로를 최적화하는 자율 이동 기술과 무인이동체 자체가 주어진 임무의 종류와 중요도, 우선순위를 결정하는 기술 개발에 중점을 두어야 한다. 장기적으로는 부품 고장을 독립적으로 진단하는 기술 개발과 다수의 무인이동체 간 협업 기술을 통해 지능 수준을 향상해야 한다.

동력원 및 이동 기술은 시스템에 에너지를 공급하고 임무 위치로 이동하여 작업하는 기술이다. 꾸준히 연구가 진행됐지만 본격적인 상용화는 이뤄지지 못했다. 2016년 정부 연구·개발 투자액은 전체의 10.3%를 차지한다. 기술 최고 국가 대비 국내기술 수준은 67.5%, 기술 격차는 약 4.2년이다. 앞으로는 가동시간 연장을 위해 배터리(리튬금속, 리튬-황, 완전 고체 이차전지), 엔진, 연료전지, 태양전지 등 다양한 상용에너지 기술이 활용될 예정이며, 무인이동체에 최적화 되고, 3D프린팅을 활용한 소형화 및 경량화 연구도 지원되어야 한다. 이차전지, 엔진, 신재생에너지 융합 등 하이브리드 시스템과 친환경 분산 추진 시스템 개발을 통한 운용 효율성 향상에 중점을 두어야 한다.

인간-이동체 인터페이스 기술은 무인이동체를 제어하고 감독하기 위한 인간과 무인이동체 간의 통신 기술이다. 전 세계적으로 상용화된 기술은 거의 없으며, 2016년 연구·개발 투자 비중은 4.5%로 6개 공통 기술군 중 가장 낮았다. 국내 수준은 최고 기술을 보유한 국가 대비 기술 수준이 54.2%로, 기술 격차는 약 2.9년이다. 앞으로는 AR/VR 기반의 원격조작 시스템, 음성/제스처 등 보다 직관적인 제어 방식을 개발해 작업자의 실수와 피로를 최소화할 예정이다. 그리고 장기적으로는 뇌파, 시선 등 생체 신호를 기반으로 한 제어 알고리즘 개발에 중점을 두어야 한다. 일방적인 명령 체계를 넘어 인간과 무인이동체 간의 통신을 위해서는 시각, 청각, 촉각 등 다양한 방법을 결합한 상호 통신 기술이 개발되어야 하며, 무인이동체의 상태를 취합하여 운용자에게 효과적으로 전달

하기 위한 SW 프레임워크 개발로 협력 운용성을 확보해야 한다.

시스템 통합기술은 자율지능 기반 무인이동체 시스템에 적합한 개발 프로세스를 구축하고 임무에 최적화된 SW, HW 시스템을 개발하는 기술이다. 다양한 지능형 무인이동체의 소량 생산방식에 적합한 개발 프로세스 및 SW를 개발 중이며, 2016년에는 연구·개발 투자가 전체의 16.6%를 차지했다. 국내 수준은 최고 기술을 보유한 국가 대비 기술력이 57%로, 기술 격차는 약 3.7년이다. 앞으로는 차세대 지능형 무인이동체 개발 프로세스와 기존 방식과의 차이점을 분석하여 차세대 무인이동체에 최적화된 개발 프로세스 요구사항을 수립하고 설계할 예정이다. 악천후, 통신 음영 등 실제 공간 구현이 어려운 환경에서 무인이동체의 성능을 검증하기 위한 가상 시뮬레이션 기반의 시험평가 기술 개발이 필요하다. 또한 운영체제, 미들웨어 등 시스템 SW 및 응용 SW 개발도구를 확보하고, 무인이동체 공통 요구사항 분석을 통해 SW 아키텍처를 개발하며, 다기능 구조물, 신개념 소재 및 구조물, 자율 진단, 자가 치유 구조, 맞춤형 제조 기술 등 성능향상을 위한 HW 기술 개발에 중점을 두고 기술 개발을 추진해야 한다.

2) 개별 소요 기술별 중요도 분석

최종 선정한 16개의 소요 기술을 한 개의 기술씩 개별적으로 2.1에서 고찰한 14개의 전투사례와 연관되는 빈도를 분석하면 다음 그림 3-19와 같다.

기술 순위별로 분석하면 01-03. 임무 장비 기술(16개 전투사례), 01-02. 탐지 및 회피기술(15개), 02-03. 통신보안 기술(12개), 04-01. 동력원 기술(6개) 등의 순으로 나타났으며 이는 전장에서 많이 적용된 전투사례의 분석 결과이므로 중요도 우선순위로 적절하다고 판단하였다.

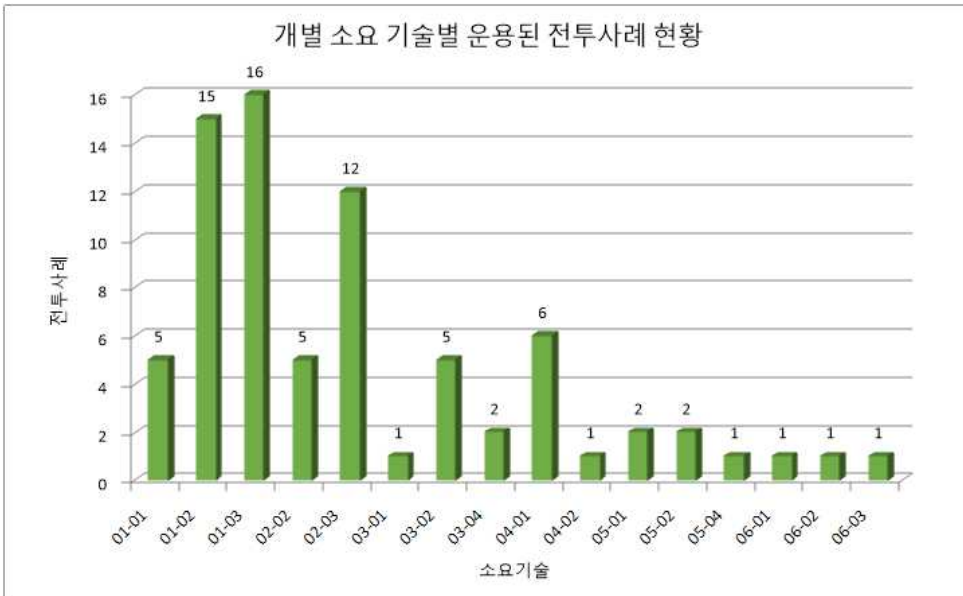


그림 3-19. 개별 소요 기술별 운용된 전투사례 현황

Figure 3-19. Status of combat cases operated by individual required technology

01-03. 임무 장비 기술

무인비행체의 운용 시간 및 임무 반경 증가를 위해서는 장비 성능 향상(소형화/경량화/저전력 소모)에 관한 연구가 이루어져야 한다. 동시에 다중 및 이중 무인기에 적용할 수 있는 다양성을 보장하기 위해 무인 이동체와 임무 장비 간의 하드웨어 인터페이스뿐만 아니라 무인 이동체의 운영체제와 임무 센서 간의 소프트웨어 인터페이스를 통합하는 연구가 수행되어야 한다. 이를 통해 작전 임무에 필요한 임무 장비를 활용하여 무인체의 종류와 관계없이 임무를 수행할 수 있는 방향으로 개발이 진행되어야 한다.

01-02. 탐지 및 회피기술

레이더, 라이다 등 탐지 및 회피 센서가 드론 등 공중 무인체에 적용되기

위해서는 센서 장비의 경량화/소형화/저전력화 연구 지원을 통한 센서 장비의 성능향상 연구가 이루어져야 한다. 센서 장비의 성능개선 연구와 별도로, 이종 센서 융합을 통한 센서 성능 약점 보완 연구, 인공지능 기술을 이용하여 거리 센서 없이 영상만으로 장애물 유무 또는 장애물까지의 거리를 추정하는 연구 등 새로운 탐지 및 회피기술 개발도 필요하다.

02-03. 통신보안 기술

무인 이동체의 안전한 운영을 위해서는 해킹을 방지하기 위한 통신 및 네트워크 보안 기술과 무인 이동체의 불법·악의적 이용을 방지하기 위한 불법 행위 억제 기술의 개발이 필요하다. 무인 이동체 제어/임무 통신을 이용한 통신 주체 간 상호인증 기술, 제어/임무 통신 데이터의 기밀성과 무결성을 보장할 수 있는 무인 이동체에 최적화된 암호화 기술 등을 발전시켜야 한다. 또한, 무인이동체 통신에 대한 불법적이고 악의적인 공격, 경로 이탈, 수집된 영상정보에 따른 사생활 침해 등으로 인한 무인이동체 악성코드 감염에 대응하기 위한 무인이동체의 불법행위를 억제하는 기술도 개발되어야 한다. 무인 이동체 통신 및 네트워크는 무선 링크를 사용하기 때문에 무선간섭 신호(재밍)나 가짜 신호 공격(스푸핑)에 취약하다. 또한, 무인 이동체의 소형화, 고성능화에 따라 사생활 침해, 공공 및 인프라 보안 문제가 대두되고 있어 이에 대한 대비가 필요하다.

04-01. 동력원 기술

무인이동체 동력원 원천기술은 에너지 기술의 일환으로 지속해서 연구가 진행되는 분야이므로, 기존 연구 결과를 무인이동체에 적용하는 연구와 차세대 동력원 개발이라는 두 가지 방향으로 추진되어야 한다. 각 부처의 다양한 사업을 통해 확보한 이차전지, 연료전지, 태양전지 등 에너지 분야 원천기술을 적용하기 위한 최적화(소형화, 경량화) 및 시스템 통합 연구를 추진해야

하며, 기존 연구 성과를 보유한 전문가들과 컨소시엄 형태로 공동 연구를 추진하는 방법도 있고, 3D프린팅, IoT 등 새로운 디자인, 제조, ICT 기술과 융합 연구를 추진하는 방법도 있다. 또한, 미래 신기술 분야를 선점하기 위해서는 차세대 원천기술 개발을 추진해야 한다. 차세대 원천기술로는 이중 및 다중 전원의 융합과 엔진과 발전기의 통합을 통한 하이브리드 시스템 등이 있다. 중소형 무인항공기의 성능과 제조 기술이 향상됨에 따라 다양한 수요에 대응할 수 있는 차세대 동력원의 개발이 필요하다. 하나의 동력원으로는 다양한 임무 조건을 만족시키기 어렵기 때문에 하이브리드 동력원 융합 연구가 시급히 추진되어야 한다.

또한, 무인 이동체의 운용 안정성을 높이기 위해서는 동력원 상태를 모니터링, 진단하고 조치를 할 수 있는 기술 개발도 추진되어야 한다. 에너지 관리 및 자가 진단성 진단 기술은 자율주행차를 통해 많은 투자와 개발이 이루어지고 있어 경쟁국 대비 기술 격차가 크지 않아 상용화 수준에서 다양한 무인 이동체 동력원에 적용하여 효율적으로 운영할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

3) 소요 기술 개발의 시급성 분석

표 3-15. 6대 기술의 국내기술 역량 및 최저수준의 요소기술 현황

Table 3-15. Current status of domestic technological capabilities and minimum level element technologies for the six major technologies

6대 공통 핵심 기능 기술				선진국(선도 국가) 대비			
기술 명칭		국내기술 역량		국내기술 최저수준의 요소기술		기술 격차	
탐지 및 인식		65%		감시 및 경찰 임무 센서, 광학적 분석 센서, 화학적 분석 센서 60%		4년	
통신		70%		통신 및 네트워크 보안 기술 56.4% 불법행위 억제 기술 56.7%		3~4년	
자율지능		59%		예측 기술 37.7% 자가 치유 기술 41.5%		3.3	
동력원 및 이동		70%		하이브리드 동력원 67.0% 고효율 스마트 엔진 67.7%		4년	
인간-이동체 인터페이스		54.2%		HMI 상호신뢰성 연구 42.9% 운용자 의도 인식과 대응 기술 49.1%		2.9년	
시스템 통합	개발 체계 기술	57%	56.7%	인증 47.8%, 요구도 수립 55.4%		3.8년	4년
	SW 체계 기술		51.7%	무인이동체 응용소프트웨어 개발지원 기술 48.1%			3.5년
	HW 체계 기술		62.6%	자율 진단 및 자가 치유 구조 61.6% 다기능 구조 63.1%			4년

위 표 3-15는 앞 3.1. 드론 무기화 기술 분석에서 분석한 6대 공통 핵심 기능 기술별 국내기술 역량과 선진국 대비 국내기술 최저수준의 요소기술과 기술 격차를 요약 정리하여 제시한 내용이다. 세부적인 내용은 3.1 드론 무기화 기술 분석의 각 항 “국내기술 수준 분석”에서 설명하였다. 이중 기술 격차에 대해 추가 적으로 설명하면 앞 3.1.1 그림 3-6에서 보듯이 타 국가와의 기술 격차가 미국과 3.8년, 유럽과 3년, 일본과 2.2년을 나타내고 있다. 위 표 3-15에서의 기

술 격차는 선도 국가와의 차이, 즉 여기서는 미국 대비 약 4년 정도의 기술 격차를 의미한다.

위 표 3-15 내용을 살펴보면 국내기술 역량 측면에서 인간 및 이동체 인터페이스 기술 54.2% -시스템 통합 기술 57% - 자율지능 기술 59%의 순으로 나타났다. 또한 국내기술 최저수준의 요소기술은 예측 기술 37.7% - 자가 치유 기술 41.5% - HMI 상호신뢰성 연구 42.9% 순으로 나타났다. 기술 격차 측면에서는 탐지 및 인식, 통신, 동력원 및 이동 기술이 약 3~4년으로 기술 격차가 큰 것으로 나타났고, 인간 및 이동체 인터페이스 기술 2.9년, 자율지능 기술 3.3년, 시스템 통합 기술 3.8년 으로 나타났다.

이를 종합 평가하면, 먼저 기술 격차는 국내기술 역량이 저조한 3개의 기술(자율지능, HMI, 시스템 통합)이 선도 국가와의 기술 격차는 작게 나타남을 볼 수 있다. 이는 우리나라의 자율지능, HMI, 시스템 통합과 같은 고난도의 기술 능력이 국내기술 역량 측면에서는 다소 저조해도 선도 국가와 큰 차이가 없을 정도로 발전해 나가고 있는 것으로 분석할 수 있다. 또한 6대 공통 핵심 기능 기술 중에서는 인간 및 이동체 인터페이스 기술 - 시스템 통합 기술 - 자율지능 기술 순으로, 그리고 핵심기술의 하위기술인 요소기술 중에서는 예측 기술 - 자가 치유 기술 - HMI 상호신뢰성 연구 순으로 취약한 기술로 분석되었다. 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위로 적절하다고 판단하였다.

4) 드론 무기화 소요 기술의 활용 방안

본 연구에서 선정한 소요 기술이 정부 정책 및 기술 연구 개발 기관의 관련 문서에 반영되어 활용될 수 있는 세 가지 방안을 제시하고자 한다.

가) 국방과학기술 혁신 기본계획(국방부, 5년마다)

연간 국방 과학 기술혁신 추진계획을 수립·감독하는 문서로 정부는 2023년 5월에 2023~2037년 국방과학기술 혁신 기본계획을 확정했다. 2024년 실행계획에 포함된 주요 내용은 5대 추진 전략(17개 세부 과제)으로서, 전략 1) 기존 위협과 미래 전장에 대비하기 위한 첨단기술 집중 투자, 전략 3) 국방과학기술 거버넌스 재정립, 전략 5) 국방과학기술 분야의 민군협력 강화와 국제협력 확대가 포함된다. 구체적으로 2024년 실시계획에는 군 참여 범위를 확대하고 군의 연구 개발 역량을 강화하기 위해 군 맞춤형 기술 기획을 위한 무기체계와 핵심기술의 연계를 강화하고, 관련 기관과의 교류를 확대한다는 계획이 포함됐다. 또한, 핵심기술 연구 개발과 관련된 무기체계의 적기 확보라는 연구 개발 목적에 따라 무기체계의 활용도를 고려한 사업기획을 지속해서 추진하고 있다. 국방 기술 진흥연구소는 핵심기술 연구 개발 과제기획 단계에서 군과 긴밀히 협력하기 위해 국방 기술혁신협의회에 운영위원회와 국방 기술 기획개발 자문단을 운영하고 있다. 각 군 기획 부서와 함께 24년도 국방 기술 기획서 기반 과제기획을 추진하도록 체계를 개선하였다. [70]

나) 국방 기술 기획서(방사청, 매년)

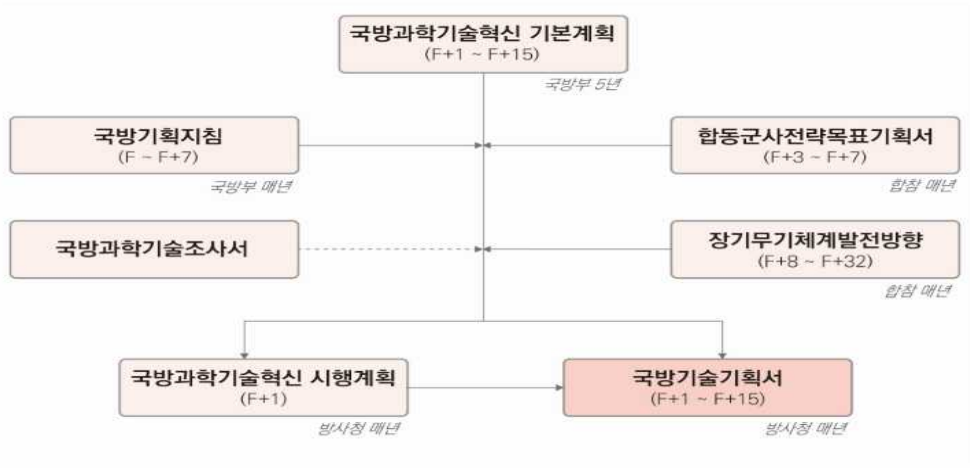


그림 3-20. 국방과학기술 문서 체계

Figure 3-20. Defense science and technology documentation system

(출처 : 방사청·국방 기술 진흥연구소, “‘23-’37 국방 기술 기획서”, 2023.)

위 그림과 같이 국방 기술 기획서는 “국방 과학 기술혁신 기본계획”의 국방 과학기술 발전 방향을 근거로 하여, 군사적 요구 능력과 국가 과학 기술의 국방 분야 중점과학기술을 기초로 도출된 국방전략 기술 분야에 대한 구체적인 기술 개발 방향 및 확보 방안을 제시하는 문서이다. 국방기본정책서, 합동군사전략서 및 합동군사전략목표기획서를 근간으로 결정된 중·장기 무기체계 소요 중 연구 개발 무기체계와 미래 첨단 무기체계 발전 추세를 고려하여 핵심기술에 대한 목표 지향적 연구 개발 로드맵, 과제 및 과제별 연구 개발 주도 형태를 제시한다. [71]

다) 국방 기술 연구 개발 사업(방사청)

국방연구개발(이하 국방 R&D)은 국방과학기술 혁신촉진법의 정의²¹⁾를 따

21) 「국방과학기술 혁신촉진법」 (2021. 4. 1. 제정) 제2조 제5항(국방연구개발의 정의)
가. 무기체계 연구 개발

른다.

다음 그림 3-21에서 보듯이 국방 R&D는 무기체계 관련성을 기준으로 부처별로 구분된다. 방위사업청은 무기체계 관련 연구 개발을 담당하고, 국방부는 무기체계 이외(전력 지원체계) 제품의 연구·개발을 담당한다. 이중 방위사업청의 무기체계 관련 연구 개발은 사업목적에 따라 국방 기술 연구 개발과 무기체계 연구 개발로 구분된다. 국방 기술 연구 개발의 주요 목적은 하나의 단위 사업을 여러 개의 세부 사업으로 나누어 각각 여러 과제를 완수함으로써 국방과학기술 분야의 기초기술 확보 등 핵심기술을 확보하는 것이다. 무기체계 연구 개발은 군의 수요가 파악된 체계에 대한 선행연구를 통해 연구 개발을 수행하는 사업이다. 사업추진 기본전략(안)에 따라 탐색 개발 및 체계 개발을 수행한다. [69]

나. 「방위사업법」 제15조 제1항에 따라 소요가 결정되었거나 소요가 결정될 것으로 예상되는 무기체계의 연구 개발에 필요한 핵심기술의 연구 개발
다. 미래 도전 국방 기술 연구 개발
라. 방위사업법 제3조 제4항에 따른 전력 지원체계 연구 개발

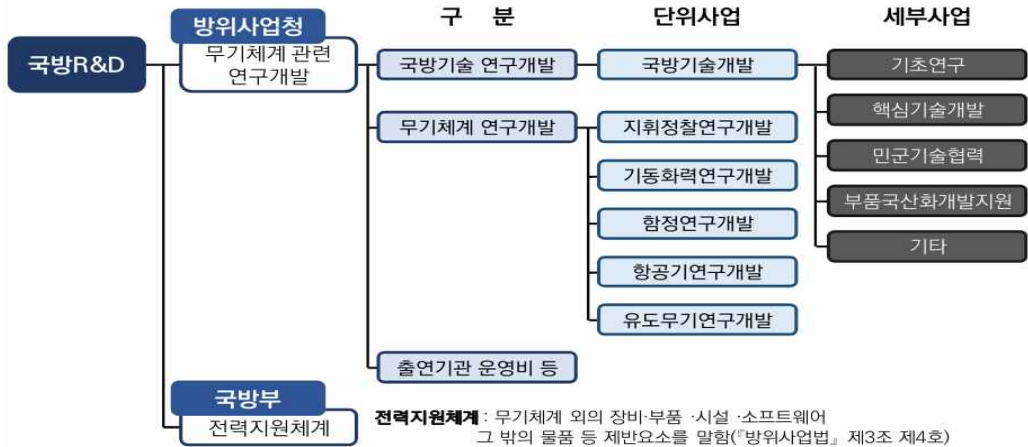


그림 3-21. 우리나라 국방 연구 개발 사업 구조

Figure 3-21. Korea's defense R&D business structure

(출처 : 임승혁, “국방전략 기술 확보를 위한 정부 R&D 전략 연구 ; 무인기의 유무인 복합 전투 수행을 중심으로”, KISTEP, 2020.)

아래 그림에서 보듯이 우리나라 국가 재정상 국방 연구 개발의 위치는 국방예산의 일부인 방위력개선훈비에 속하는 동시에 정부 연구 개발 예산에도 포함되어 있다. 정부 연구 개발 예산 집행액 규모에서 방위사업청은 과학기술정보통신부와 산업통상자원부에 이은 3위 부처이다. [69]



그림 3-22. 우리나라 국가 재정상 국방 연구 개발의 위치

Figure 3-22. The position of defense R&D in Korea's national finances

(출처 : 임승혁, “국방전략 기술 확보를 위한 정부 R&D 전략 연구 ; 무인기의 유무인 복합 전투 수행을 중심으로”, KISTEP, 2020.)

제4장 드론 방호체계

북한은 2021년 1월 14일, 제8차 노동당 대회에서 '전방 500km까지 정밀 정찰이 가능한 드론 개발'을 발표했다. 드론 연구 개발은 1970년대부터 중국의 드론 기술을 벤치마킹해 시작된 것으로 알려졌다. 1990년대에는 소형드론 '방현'이, 2000년대에는 다양한 드론이 개발됐고, 2010년대 이후에는 자체 드론을 개발했다. 북한은 현재 무인헬기 등 8종 500여 대의 드론을 운용 중인 것으로 추정된다. 실제로 드론이 청와대, 사드 기지 등 남한의 주요 시설에 대해 정찰 활동을 하던 중 남측 레이더를 피해 추락하여 발견된 사례도 있었다. 이에 대해 윌리엄 미국 전략 문제 연구소 부소장은 “북한도 상당한 소형드론 기술을 보유하고 있으며 중국, 이란 등의 드론 역량 확대와 별개로 볼 수 없다. 한국의 미사일방어체계가 무력화될 수 있는 상황도 가능하다”라고 말했다. [72]

이처럼 북한의 드론 침투 위협이 증가하는 가운데 적 드론의 공격을 방어하기 위해서는 탐지-식별-무력화라는 방어체계 구축이 필요하다. 이때 필요한 핵심기술은 앞서 살펴본 정찰이나 공격에 필요한 기술과 대부분 중복이 되며, 이를 정리하면 표 4-1과 같다. 정찰/공격 임무 시 소요되는 기술이 방호 시 소요되는 기술과 중첩되지 않는 기술 중에는 음향 센서와 육안식별이 있으나(표 4-1, x 표식 부분), 이는 탐지거리가 각각 200미터와 300미터 정도의 근거리로서 전략적 의미가 낮아 세부 설명은 생략하겠으며, 방호체계 가동의 핵심인 드론식별 기술을 좀 더 중점적으로 다루도록 하겠다.

표 4-1. 드론 방호체계 기술과 정찰/공격 임무 기술 비교

Table 4-1. Comparison of drone protection system technology and reconnaissance/attack mission technology

드론 방호체계 기술			정찰 임무 드론 기술	공격 임무 드론 기술
대분류	중분류	소분류		
탐지 및 식별	탐지	레이더	○	○
		RF 스캐너	○ (RF 사용 조종 드론)	
		광학카메라	○	○
		적외선 카메라	○	○
		음향 센서	x	x
	식별	육안식별	x	x
		전자 식별	○	○
무력화	Hard Kill	그물/네트건	x	○
		맹금류	x	
		직사 에너지 무기 (레이저, RF Gun)	x	x
	Soft Kill	통신 재밍	○ (RF 사용 조종 드론)	
		위성항법 재밍, 스푸핑	○ (GPS 이용 조종 드론)	
		조종권 탈취	○ (비행 프로토콜 보유 드론)	
		지오펜싱	○ (항법 GPS 소프트웨어 운용 드론)	

표 4-1에서 중복으로 표시('o')된 핵심기술에 대한 설명은 3장의 설명과는 별도로 방호체계 구축 관점에서 요약 기술을 하겠으며, 기술의 한계점과 그 발전 방안을 제시하겠다.

4.1. 드론 방호체계 개요

드론을 활용한 서비스가 다양화·대중화되면서 국가중요시설과 비행금지구역

에 대한 드론 침입에 따른 위협이 국가적·사회적인 문제로 대두되고 있고, 막대한 경제적 손실까지 발생하고 있다. 이에 따라 불법 드론에 대한 탐지와 대응 기술의 중요성이 점차 증가하고 있다.

현재 안티드론 산업은 핵심기술을 기반으로 탐지 및 무력화 장비를 주로 개발하고 있으며, 활발히 연구되고 있는 민간 인공지능 기술을 활용해 지능형 불법 드론 판단 및 대응 기술이 개발되면 자동화된 탐지, 판단, 무력화 해결책이 가능하게 될 것이다. 이는 전담 인력과 정규 운영 인력의 감축이 가능해 국내 안티드론 산업의 경쟁력을 높이는 계기가 될 것으로 보인다. [73]

안티드론은 테러, 범죄, 사생활 감시나 불법 침입 등을 일으키는 나쁜 드론을 무력화하는 기술로, 다음 그림에서 보듯이 “탐지-식별-무력화” 3단계로 구성이 된다.

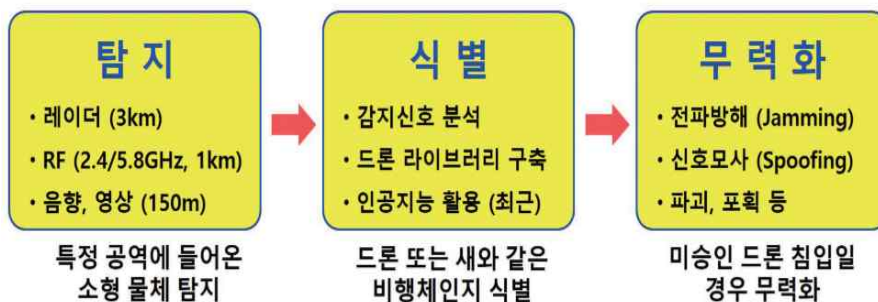


그림 4-1. 안티드론 방호체계 구성

Figure 4-1. Composition of anti-drone technology

(출처 : 박준영, “드론 테러 방호를 위한 안티드론 기술 현황”,
대한전기학회), Vol. 69, No. 4, p. 16, 2020.4. [74])

탐지 기술은 레이더, 광학, 적외선, 소음 등을 활용하여 탐지하거나 드론과 조종기 간의 통신 신호를 포착하는 기술이 있다. 식별 기술은 레이더 단면적

(RCS)과 형상을 토대로 드론의 종류를 판별하고, 전파를 통해 ID를 확인해 비행의 소유자와 적법성을 판단하는 기술이다. 무력화 기술은 드론을 물리적으로 타격하는 하드킬(총기, 레이저, 맹금류 등)과 무선 신호를 이용하는 소프트킬(재밍, 스푸핑 등) 기술로 분류된다. 최근에는 불법 드론에 효과적으로 대응하기 위해 하드킬(Hard Kill) 방식과 소프트킬(Soft Kill) 방식을 혼합해 사용하는 추세다. 다음 표는 안티드론 기술의 분류와 기술 개념을 나타낸 것이다. [75]

표 4-2. 안티드론 기술 분류표

Table 4-2. Anti-drone technology classification table

대분류	중분류	소분류	기술 개념
탐지 및 식별	탐지	레이더	X-band(8~12GHz)와 Ku-band(12~18GHz)를 사용하여 탐지
		RF 스캐너	드론과 조종자 간의 통신신호를 분석해 드론 탐지
		광학 카메라	광학 센서를 탑재한 카메라를 사용하여 탐지
		IR 카메라	IR 센서를 탑재한 카메라를 사용하여 탐지
		음향 센서	음향 센서의 소음시차를 계산하여 위치를 파악
	식별	육안 식별	드론 본체에 고유 식별번호를 부착하여 조종자를 식별
		전자(eID) 식별	식별번호 또는 조정자 식별 번호로 능·수동으로 전자·원격 식별
무력화 기술	Hard Kill	그물/네트 건	그물을 이용하여 불법 드론을 포획
		맹금류	독수리 등 맹금류를 조련시켜 불법드론을 포획
		방공용 대공화기	대공포와 근거리 레이더를 결합하여 드론을 격추
		직사에너지무기 (레이저/RF Gun)	불법드론을 레이저와 RF가 장착된 Gun으로 격추
	Soft Kill	통신 재밍	전파를 방해하여 비행불능 상태로 전환
		위성항법재밍, 스푸핑	거짓 좌표를 주입해 비행불능 또는 비행경로 이탈
		조종권 탈취	프로토콜을 해킹하거나 착륙 및 비행 불능 상태로 포획
		지오펜싱 (Geo-fencing)	드론의 항법 소프트웨어 GPS에 비행금지구역 정보를 입력하여 특정구역의 비행을 방해

(출처 : 최진철·임승혁, “안티드론”, .한국과학기술기획평가원, 2021-10호, p. 3, 2021.)

4.2. 드론탐지 기술

드론탐지 수단에는 레이더, 광학 카메라, 라디오 주파수 탐색기, 육안 등 여러 종류가 있다. 설치 목적과 환경이 서로 다르기에 어느 장비가 가장 효율적이라고 단정 짓기는 어렵다. 아직도 탐지율 100%의 완벽한 장비는 없으므로, 최고의 방법은 여러 장비들을 적절히 상호 연동 함으로써 가장 최적의 효과를 가져오게 하는 것이다. 드론탐지를 위한 설치 / 운용 개념도는 아래 그림과 같다. 모두 각각의 기능이 다르지만, 장거리에서 침투 드론을 탐지할 수 있다면 대응할 시간이 많아져서 좀 더 방어하기에 유리하다는 측면에서는 조기 탐지가 가능한 레이더와 라디오 주파수 스캔 탐색기가 유리하다. [59]

레이더는 전자파를 방사하여 목표 물체의 표면으로부터 반사되는 전자파의 에코를 수신하는 장치이며, RF 감지기는 드론 제어에 많이 사용하는 2.4 GHz 대역과 촬영 영상 수신에 주로 운용되는 5.8 GHz 대역을 감지하는 장치이다.

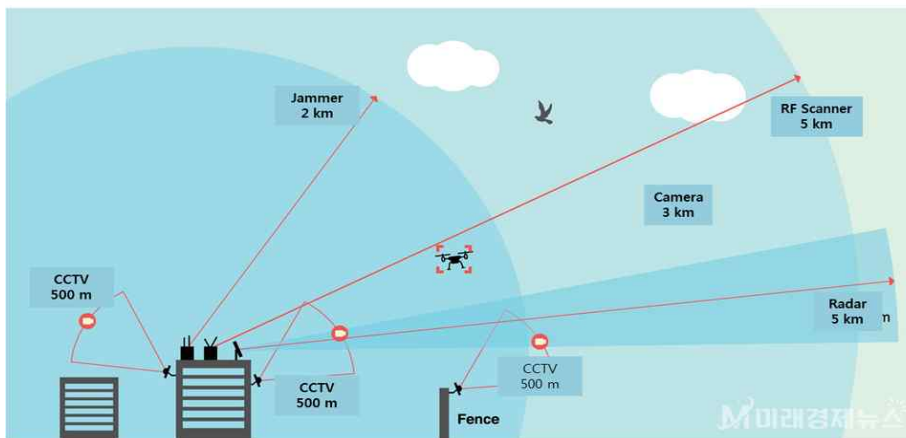


그림 4-2. 드론탐지 장비 설치 /운용 개념도

Figure 4-2. Drone detection equipment installation/operation concept diagram

(출처 : 이시욱, “공항, 원전 등 국가 주요시설 대 드론 방어체계 구축 방안(3)”, 미래 경제 뉴스, 2020.03.30.)

4.2.1. 레이더

레이더는 사용 주파수가 낮을수록 파장이 길어져서 탐지거리가 길어지는 대신에 안테나와 시스템의 크기가 커지며, 반대로 주파수가 높아 파장이 짧아질 수록 빔 폭을 좁게 하여 각해상도를 높인다. 레이더에는 다양한 주파수 대역이 있는데, 소형 상용 드론탐지에 많이 사용되는 것은 S-대역, X-대역, Ku-대역이다. 표 4-3은 대표적인 드론탐지에 사용되는 상용 레이더 제품을 사용 주파수 대역별로 정리한 것이며, 표 4-4는 대표적인 국외 드론탐지 레이더의 성능을 정리 비교한 것이다.

표 4-3. 사용 주파수 대역별 드론탐지용 상용 레이더
 Table 4-3. Commercial radar for drone detection by frequency band used

Band	Freq. Range	Company / Product
S	2~4GHz	이스라엘 RADA / RPS-42 미국 Dynetics / GroundAware 호주 DroneShield / DroneSentinelRadarTwo 미국 Detect / Harrier DSR-200d (S 또는 X 또는 S/X 결합)
X	8~12GHz	미국 Detect / Harrier DSR-200d (S 또는 X 또는 S/X 결합) 네덜란드 Robin Radar System / ELVIRA, 3D Flex 네덜란드 Thales Netherlands / Squire 미국 Kelvin Hughes / SMS-D 미국 Gryphon Sensors / SkyLight 미국 DMTSecurity Radar Solutions / c-UAS 호주 DroneShield / DroneSentinelRadarOne
Ku	12~18GHz	영국 Blighter / A400 미국 Fortem / TrueViewR30
K	18~27GHz	호주 DroneShield / DroneSentinelRadarZero

(출처 : 박준영, “드론 테러 방호를 위한 안티드론 기술 현황”, 대한전기학회, Vol. 69, No. 4, p. 16, 2020.4)

표 4-4. 드론탐지 레이더 성능 비교

Table 4-4. Drone detection radar performance comparison

제품명	A400	DSR-200d	ELVIRA	3D Flex
국가	영국	미국	네덜란드	네덜란드
제조사	Blighter	Detect	Robin	Robin
주파수 대역	Ku	S, X	X	X
변조 방식	FMCW	Pulse	FMCW	FMCW
탐지거리	2.73~15.4km	3.7km	3km	3~5km
출력	4W	200W	4W	400mW
제품명	ELM-2026BF	Black Knight	SMS-D	Gamekeeper 16U
국가	이스라엘	이탈리아	영국	영국
제조사	IAI ELTA	IDS	Kelvin Hughes	Aveillant
주파수 대역	X	X	X	L
변조 방식	Pulse	FMCW	Pulse	Pulse
탐지거리	4~20km	2km~	1.5km	5km
출력	50W	4W	80W	2kW

(출처 : 박준영, 전계서, p. 18)

이시욱 박사(2020)는 드론을 탐지하는 데 필요한 레이더의 몇 가지 성능을 아래와 같이 제시하고 있다. [59]

첫째, 드론을 탐지할 수 있는 최대 거리가 제한되고, 즉시 탐지하지 못하면 대응 시간이 부족하므로 스캔 속도가 1~2초 이내로 빨라야 하고, 탐지율이 90% 이상 되어야 한다. 또한 회전형 레이더는 회전할 때 유격으로 인하여 탐지가 제한될 수 있으므로 더 효과적인 탐지를 위해서는 전자 스캔 방식의 고정형 레이더가 더 유리하다. 다음 그림 4-2는 레이더의 드론탐지 거리·속도에 따른 대응 시간을 나타내고 있다.

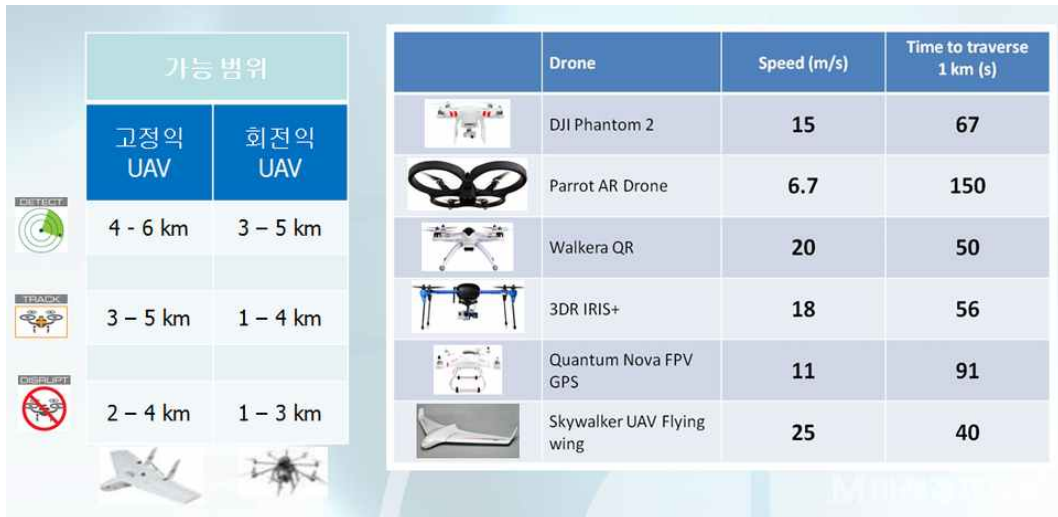


그림 4-3. 레이더 드론탐지 거리·속도에 따른 대응 시간

Figure 4-3. Response time based on radar drone detection distance and speed

(출처 : 이시욱, “드론 어떻게 탐지할 것인가”, 2019. [76])

둘째, 드론탐지의 기준이라 할 수 있는 DJI 팬텀 4의 피탐 면적(RCS, Radar Cross Section)이 0.01 m² (10cm x 10cm)이다. 이 정도의 탐지 성능을 갖기 위해서는 레이더에서 사용하는 주파수를 파악해야 한다. 예를 들어 Ku-Band를 사용하는 레이더는 15GHz 기준으로 파장 길이가 (λ) = 2cm, X-Band를 사용하는 레이더는 10GHz 기준으로 파장 길이가 (λ) = 3cm 정도이므로 RCS가 10cm x 10cm 크기의 드론탐지가 가능하다. 레이더가 탐지할 수 있는 크기(RCS)는 드론의 형상, 카메라 장착 여부, 드론을 탐지하는 방향/각도, 날개 회전 속도 및 사용 주파수, 사용되는 회전 날개의 크기 등에 따라 다르다.

아래 표는 다양한 비행체들의 RCS를 보여준다.

표 4-5. 다양한 비행체들의 RCS(레이더 단면적)

Table 4-5. RCS of various aircraft

구분	B-52 (폭격기)	F-15 (전투기)	토마호크 (미사일)	DJI Phantom 4	새	F-35 (스텔스)
RCS(m^2)	100	25	0.5	0.01	0.01	0.005
크기(m)	48.5	19	6.25	0.5	0.1~1	15.7

(출처: <https://www.globalsecurity.org/military/world/stealth-aircraft-rcs.htm> [77] / Farlik, Jan, Miroslav Kratky, Josef Casar, and Vadim Stary, "Multispectral Detection of Commercial Unmanned Aerial Vehicles", Sensors 19, no. 7 : 1517, 2019. [78] // 저자 재작성)

현재 국내 드론 레이더 기술과 관련하여 KAIST는 안테나를 수직 방향으로 스캐닝하는 동시에 수평 방향으로도 스캐닝하는 기술을 보유하고 있다. 이것은 평창 동계올림픽 당시 설치되어 성공적으로 운용되었다. ETRI는 정부 과제 '무인 비행장치의 불법 비행 탐지를 위한 EO/IR 연동 레이더 개발 및 검증'에 맞춰 드론탐지용 레이더를 개발 중이다. 이 레이더는 3km 이내 $0.01m^2$ 의 작은 RCS를 가지며, 드론탐지를 목표로 Ku-band의 4개 중심 주파수와 20도 각도의 주파수 스캐닝과 위상제어를 통한 방위각을 활용하는 FMCW(Frequency-Modulated Continuous Wave) 레이더 패널을 개발하고 있다. 최대 100도까지 빔 스캔을 수행하고 EO/IR 영상 장비로 위협을 추적 및 식별하며 관련 정보를 무력화 대응 시스템에 전달하는 하이브리드 스캔 방식을 채택하여 위협을 탐지한다. [74]

4.2.2. RF 스캐너

주파수 스캔 탐색기는 드론과 드론 조종기에서 발생하는 라디오 주파수를 탐지하여 드론의 위치와 드론 조종자의 위치를 찾아내는 장비이다. 레이더에서는 탐지가 제한되는 음영지역의 드론을 찾아낼 수 있어서 탐지 확률을 높일 수 있

으나, 드론에 미리 비행경로를 입력한 다음 침투시키면 주파수가 발생하지 않아 탐지를 못 하게 되는 단점이 있다. 또한 위치 탐지를 위해서는 2대 이상의 장비를 설치하여 동시에 운용해야 다중 방위각에 의한 삼각망 형성을 통해 위치를 찾을 수 있다. 장점은 침투하는 드론 조종자가 목표 지역 부근에서 드론을 비행하면 거의 100%에 가깝게 탐지할 수 있다. 효율적인 드론탐지를 위해서 요구되는 RF 스캐너의 성능은 탐지 주파수 대역이 50MHz~18GHz 정도로서 드론에서 사용되는 모든 주파수를 탐지할 수 있어야 하며, 또한 여러 대의 드론을 동시에 운용하여 침투하면 드론 위치와 조종자 위치를 동시에 탐지 및 추적을 할 수 있어야 한다. [79]

RF 감지기로는 핀란드 Senso-fusion의 Airfence, 독일 De-drone의 RF-160/RF-300, 호주 DroneShield의 RfZero, Greco의 Aeroscope 등이 있으며, RF 감지기 중에서 다음 그림 4-4 Sensofusion 社의 Airfence를 예로 들어 소개한다. Senso-fusion의 Airfence는 RF 패시브 주파수 탐지 방식으로 운용 주파수 범위는 430~450MHz, 900~990MHz, 2,400~2,480MHz, 5,500~6,000MHz이며, 탐지거리는 4km, 정확성은 각 $\pm 5^\circ$ 이하, 방향성은 360° 전 방향 탐지가 가능하다. 또한 다수 드론의 동시 탐지가 가능하며, 드론 시스템에서 1km 범위의 지오펜스를 설정하여 적이 침투 시 알람을 발생하고 Email이나 SMS로 전송한다. 드론뿐만 아니라 조종기의 위치도 탐지할 수 있으며, 탐지 프로토콜을 통신 라이브러리화하여 현재 DJI 라이트 브릿지, Mavlink 기반 드론식별이 가능하다. [74]

Specifications

Price (Sensor unit + Antenna + Software)	160 000 € + taxes
Included	Sensor unit, Directional Finding Antenna, Software
Measures	240 mm x 65 mm x 410 mm
Weight (sensor unit)	5.7 kg
Detection technology	Passive Radio Frequency Detection
Operating frequency	70 MHz - 6 GHz
Input voltage (AC)	100 - 240 V
Operating Temperature	-30°C to +50°C
OS	Browser (mobile, tablet, laptop)
Ports	ANT, RX, TX, USB, ETH, PWR



그림 4-4. Airfence (RF 감지기, 핀란드 Sensofusion 社)
Figure 4-4. Airfence (RF detector, Sensofusion Co., Finland)
(출처 : Sensofusion 社)

4.2.3. 광학 카메라(EO)/적외선 카메라(IR)

고성능 광학 카메라로 드론을 직접 촬영하거나 엔진이나 모터 등 드론에서 배출되는 열원을 적외선 카메라로 탐지하는 방법이다.

광학 카메라는 일반적으로 사용되는 기본적인 카메라로 가시광선에 반응하는 카메라로서 우리 눈으로 보이는 것을 촬영할 수 있는 것이 광학 카메라이다. 빛의 원리를 이용하여 주로 사람이 볼 수 있는 가시광선이나 자외선과 같은 빛을 감지한다. 적외선 카메라는 적외선을 이용하여 표면 온도를 측정하는 카메라로서 눈에는 보이지 않는, 온도에 따라 각기 다른 색으로 표현하여 우리 눈으로 볼 수 있도록 한다. 다음 그림 4-5 에서 보듯이 보통 온도가 높으면 흰색과 붉은색으로 보이고, 온도가 낮으면 보라색과 검은색으로 나타나며, 비접촉식으로 열을 감지하고, 이 정보를 열화상 이미지나 동영상으로 변환하여 출력한다.

광학 카메라와 열화상 카메라의 차이점은 ① 빛의 차이-광학카메라는 가시광선에 반응하여 우리 눈에 보이는 것을 촬영하고, 열화상 카메라는 눈에 보이지 않는 적외선에 반응한다. ② 비용의 차이-열화상 카메라의 센서는 열을 감지하는 장비이다 보니 카메라 자체 열기로 영상이 흐려지는 경우가 발생하고, 이것을 방지하기 위하여 자체적인 냉각 장치가 필요하여 광학 카메라와 비교했을 때 고해상도의 큰 센서가 필요하고, 적외선 센서가 일반 가시광선 센서보다 가격이 높은 차이가 있다. [80]

광학카메라는 일반적인 모든 카메라에 사용되어 일상에서 자주 사용하는 스마트폰, 디지털카메라 등에서 사용되고, 열화상 카메라는 체온 측정, 산불감시, 누수 탐지, 냉난방 탐지 등 광학카메라로 촬영할 수 없는 것을 촬영하는 곳에 사용된다.

광학카메라와 열화상 카메라를 드론에 장착하여 기본 촬영용 드론과 산불감시용 드론 등 카메라와 드론의 활용도를 최상으로 끌어올려 다양한 쓰임으로 사용되고 있는데, 조류 등을 쉽게 구별할 수 있지만 기후 조건에 제한을 받고, 초점을 맞추어 촬영하는 방식이므로 군집 드론 같은 경우에는 한계가 존재한다. [81]

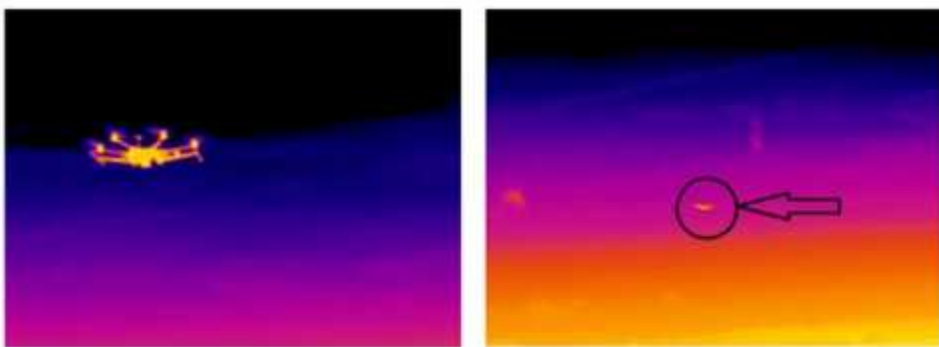


그림 4-5. 적외선 카메라로 탐지한 드론(거리 : 좌측 10m, 우측 70m)

Figure 4-5. Drone detected by Infrared camera(Distance : left 10m, right 70m)

(출처 : Farlik, Jan, Miroslav Kratky, Josef Casar, and Vadim Stary, "Multispectral Detection of Commercial Unmanned Aerial Vehicles", Sensors 19, no. 7: 1517, 2019. [84])

광학장비로는 독일 Dedrone 社의 PTZ Cameras, 영국 Blighter 社의 Hawkeye DS & EO Video Tracker, 미국 Gryphon 社의 Slew-to-Cue 카메라 등이 있다. 다음 그림 4-6 Dedrone 社의 PTZ Camera는 Tilt, Pan, Zoom 기능이 제공되며, PTZ 기능을 활용하여 침입 드론을 실시간으로 자동 추적한다. 통상 제품은 탐지거리가 주간 1km, 야간 400m, 해상도 1,080p, 30배 광학줌이며, 고성능 제품은 Night Vision과 열화상을 함께 제공하여 2~4km의 탐지거리, 120배 광학줌(22배 열화상 줌), 해상도 1,080p(열화상 720p)를 제공한다. [74]

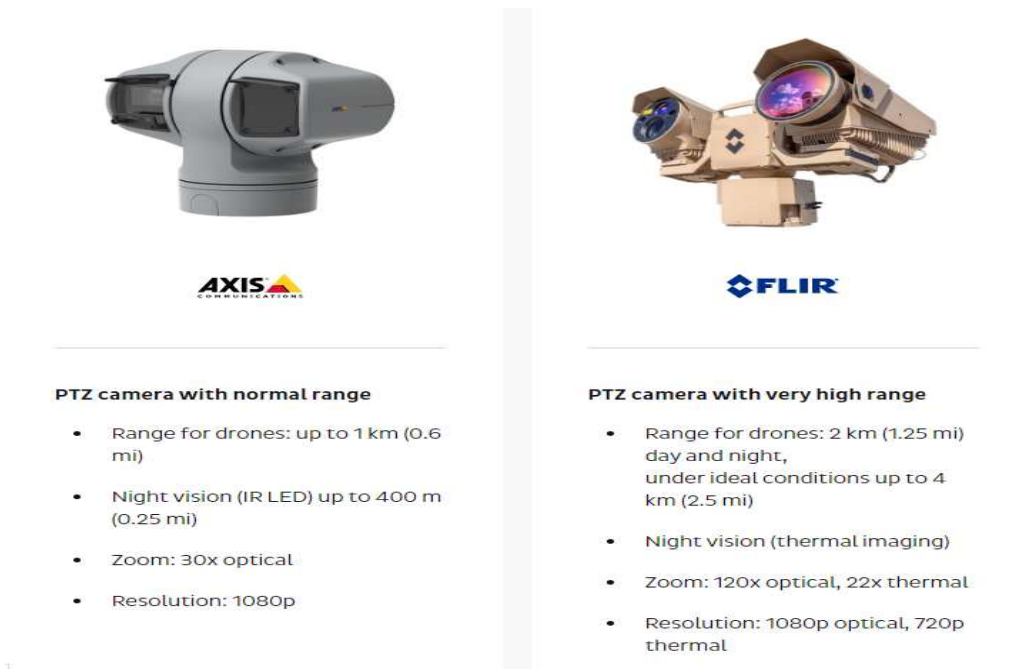


그림 4-6. PTZ 카메라(Dedrone 社)
Figure 4-6. PTZ Cameras (Dedrone 社)
(출처 : Dedrone 社)

4.2.4. 복합센서 운용

다음 그림 4-7은 탐지 방법별 탐지거리를 제시해 주고 있다.

육안 / 청각(음향)은 200 / 300미터, 적외선은 350미터, 광학장비 / X-밴드 레이더는 2,500 / 3,000미터 탐지가 가능하고, 이중 복합센서는 5,000미터를 나타내고 있다.

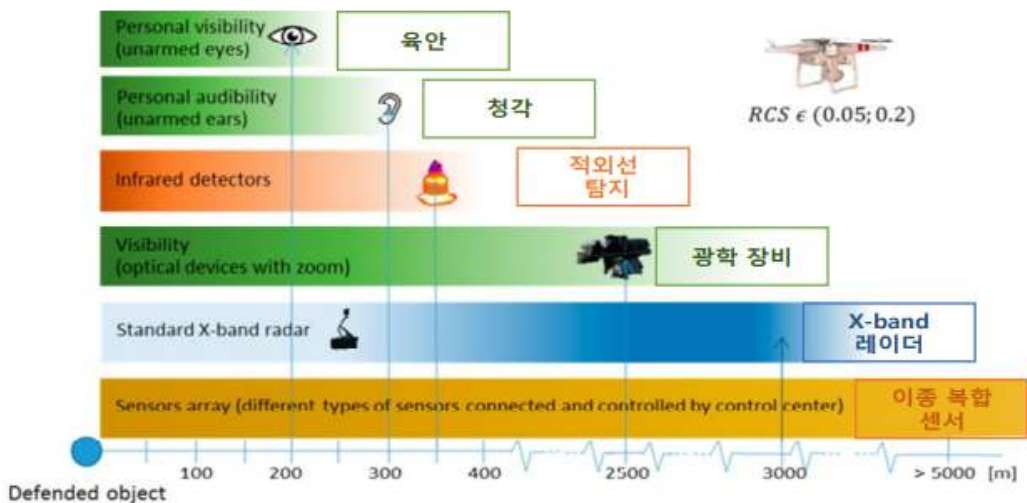


그림 4-7. 탐지 방법에 따른 탐지거리

Figure 4-7. Detection distance according to detection method

(출처 : Lykou G, et. al. “Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies”. Sensors 20(12) 3537, 2020. [82])

이처럼 각각의 탐지 센서는 장·단점을 가지고 있으므로 위협 수준에 따라서 다음 표 4-6에서 제시한 여러 센서의 장단점을 파악하고 장점들을 복합 운용하면 더욱 효율적인 드론탐지가 가능하다. 예를 들면 근거리 탐지를 하기에 우수한 광학 및 적외선 카메라와 음향 센서, 그리고 원거리 탐지하기에 우수한 레이더를 복합하여 운용하게 되면 공백 구간이 없이 높은 확률의 드론탐지가 가능하다. [83]

표 4-6. 탐지 센서 기술

Table 4-6. Detection sensor technology

구분	능동형	수동형			
	레이더	RF 스캐너	EO/IR	음향	복합센서
탐지거리	○	△	△	△	○
탐지능력	○	△	△	○	○
정확도	○	△	△	X	○
추적 여부	○	○	△	△	○
식별능력	△	△	△	X	○
호버링표적	○	○	○	○	○
자동비행표적	○	X	○	○	○

(출처 : 최진철·임승혁(2021), p. 8.)

4.3. 드론식별 기술

드론식별은 비행 중인 드론 조종자를 파악하는 기술로서 육안식별과 전자식별로 구분되고, 전자식별은 수동식별과 능동식별로 분류할 수 있다. [84]

육안식별은 탐지거리가 300미터 정도의 근거리이므로, 전략적 의미가 낮아 세부 설명은 생략하겠으며, AI 기술의 발달로 향상되고 있는 Deep Learning에 의한 EO/IR 드론 영상식별에 대해 4.3.2. 에서 최근의 실험 자료를 검토 고찰하겠다.

4.3.1. 전자식별

전자식별은 통신거리 범위 내에서 비행하고 있는 드론에 대해서 조종자 식별번호 PIN(Personal Identification Number) 또는 드론 식별번호(DIN) 등을 능동적·수동적으로 전자 식별하는 방법이다.

수동식별은 비행하고 있는 드론이 주기적으로 발송하는 드론 식별번호, 조종자 식별번호, 4D(3D 고도 + 좌표와 시간 포함), 방향, 속도, 이륙지 좌표 등의 정보를 수동으로 식별하는 방법이고, 능동식별은 비행하고 있는 드론에 대해

드론 조종자 식별번호, 드론 식별번호, 비행 목적 등을 식별기로 통신 질의 후 응답으로 식별한다. 국내 안티드론 기술은 드론 ID 식별이 아닌 드론탐지나 드론 여부를 확인하는 물리적인 방법을 활용해 드론 침입이나 위협을 제거하는 무력화 기술 개발에 중점을 두고 있다. 대구경북과학기술원은 국내 최초로 200m 이하 저고도에서 활동하는 드론을 탐지하는 레이더 기술을 개발했고, 한국과학기술원은 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 자이로 센서의 민감한 특성을 특정 주파수의 전파에 반영한 센서 교란 전파 전송 시스템을 개발했다. 한국전자통신연구원(ETRI)은 2017년부터 경찰청과 함께 무인비행체의 불법 비행 탐지를 위한 EO/IR 연동 레이더 개발 및 검증 시험을 진행하고 있다. 또한 드론 이용 확산에 따른 부작용을 최소화하기 위해 2019년부터 아래 그림 4-8과 같이 드론 ID 식별 기술과 저고도 소형드론 식별 및 주파수 관리 기술을 개발해 왔다

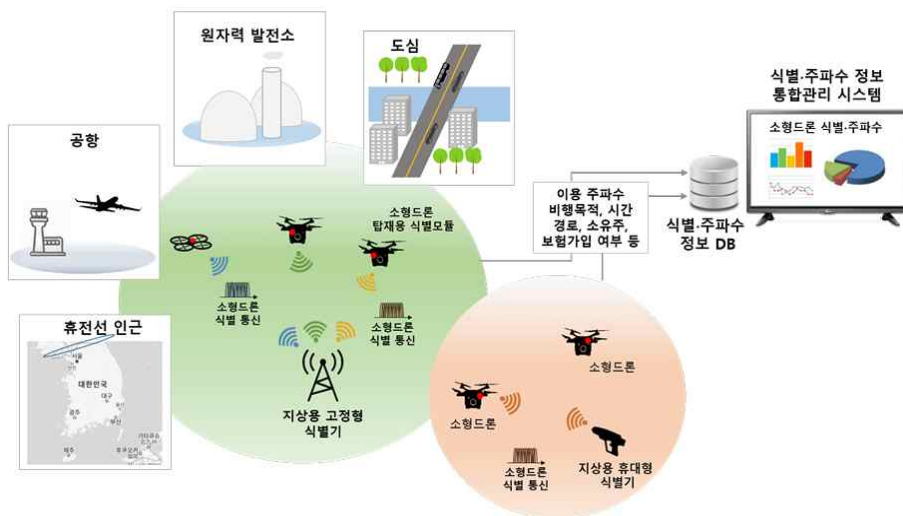


그림 4-8. 저고도 소형드론 식별 및 주파수 통합 관리 시스템 개념도

Figure 4-8. Low-altitude small drone identification and frequency integrated management system concept diagram

(출처 : 강규민 등 5명, “저고도 소형드론 식별 기술 및 표준화 동향”, 전자통신 동향 분석, 34권, 제6호, 2019.)

해외에서는 드론 ID를 통해 드론의 신원을 식별하고 억제하는 다양한 기술이 연구되고 있다. 미국 uAvionix는 소형드론에 적용할 수 있는 소형, 저전력 ADS-B 송수신기를 개발했다. 드론의 ID, 항공기 기종, 위치, 속도 등의 정보를 주변 항공기와 지상으로 전송해 드론의 비행을 제어하고 충돌을 방지하는 데 사용할 수 있다. 또한 미국 방위산업연구소는 기존 ADS-B와 LTE 기술을 활용한 해결책인 비질런트(Vigilant)를 개발했는데, 그 주목적은 소형드론 감시이며, 드론 ID 송수신 플랫폼으로도 활용할 수 있는 기술이다. 유럽 연합(EU) 집행위원회는 SESAR (Signal European Sky Air Traffic Management Research) 공동 프로젝트 내에서 저고도 지오펜싱 기술이 포함된 드론 운용을 체계화하기 위한 U-space 계획을 추진하고 있다. 또한 덴마크에서는 대학과 교통부에서 GSM, 위성, LoRa 등 무선 네트워크를 통해 UTM 서버와 직접 통신하거나 인근 수신기를 통해 RF 비콘 신호를 수신하여 UTM으로 중계하는 방식을 채택하고 있다. 영국, 프랑스 등의 국가에서는 드론 기능 장애에 대응하기 위해 드론 ID 식별 기술을 의무화하는 정책 및 관련 기술 개발이 진행되고 있다. [85]

4.3.2. AI 기반 드론 영상식별

AI 등 최신 기술을 활용한 기술 선진국들의 드론 무력화 기술 연구 개발 양상을 고려하여 연구자가 속한 연구팀에서 최근 실시한 “드론식별을 위한 AI 알고리즘 개발” 실험 주요 내용과 결과를 분석함으로써 드론 식별력 향상을 위한 발전 방안을 알아보려고 한다.

침입하는 드론에 효과적인 대응을 하기 위해서는 탐지된 드론을 식별하는 것이 중요하다. 드론은 일반 항공기에 비해 그 크기가 작아 기존의 식별 방법으로 드론의 종류를 알아내기가 어렵다.

이 실험에서는 드론식별 알고리즘에 관한 분석을 통해 첫째, YOLOv3 보다 YOLOv5가 매우 효과적인 것과 둘째, 다양한 날씨 조건·비행 거리·비행자세를 조합한 단일 및 다중 드론의 식별 실증시험을 통해 학습데이터 확보 여부가 드론 인식에 중요함을 확인하는 두 가지 사항에 중점을 두었다.

먼저 첫째로 YOLOv3 와 YOLOv5의 효과 비교이다.

일반적으로 드론식별은 EO/IR과 같은 장비로 획득한 영상을 분석하는 기술로부터 시작된다. 앞서 진행한 선행연구("딥러닝 기반 드론 검출 및 분류" [86])에서는 카메라로 확보한 동영상에서 드론을 식별하는 데 효과적인 알고리즘을 선정하고, 이 알고리즘을 현장에 적용하는데 발생하는 문제를 분석하였다. 먼저 AI 방식의 영상처리 알고리즘으로 널리 활용되는 YOLOv3를 적용한 드론식별 능력을 알아보았으며, 이후 비교적 최신 버전 알고리즘인 YOLOv5와의 성능 비교를 통하여 드론식별에 적합한 드론식별 알고리즘을 제시하겠다.

YOLO란 실시간 물체 감지 문제를 해결하는 알고리즘이다. 실시간 물체 감지 문제의 어려운 점은 크게 두 가지이다. 첫째, 기존의 단순한 물체의 분류 문제와 달리 입력 사진에는 여러 가지 물체가 공존하는데 사진 안에서 어느 것이 물체 인가를 판단해 주는 기능이 필요하다. 둘째, 실시간으로 판단이 이루어져야 하기에 정확도뿐만 아니라 속도 역시 빨라야 한다. 기존의 물체를 감지하는 알고리즘에서는 사진 안에 있는 물체의 인식과 인식한 물체에 관한 클래스 분류를 따로 수행하여 물체의 인식 부분이 매우 느렸다. 이를 해결하기 위해서 YOLO 알고리즘은 물체 감지 기능과 물체가 무엇인가를 분류하는 기능을 하나의 네트워크로 통합하였다. YOLO(You Only Look Once)는 이미지를 간단하고 직관적으로 처리한다. 시스템은 입력 이미지의 크기를 448 x 448 이미지로 조정하고 이미지에서 작동하는 단일 컨볼루션(중첩 적분) 네트워크를 실행한다. 단일 신경망은 하나의 이미지에서 모든 개체의 경계 상자(Bounding Box)를 동

시에 찾고, 이미지와 모든 사물을 전체적으로 판단한다. 그림 4-9에서 보듯이 입력 영상을 $S \times S$ 그리드 셀(Grid Cell)로 나누어 해당 셀에 객체의 중심이 위치하는지 확인하고, 각 그리드 셀은 경계 상자과 해당 상자의 신뢰성을 예측한다. 신뢰도 점수는 개체가 상자 안에 들어갈 정확도를 나타내는 요소이며, 확률(객체) * IOU(진실, 예측)로 표현된다. 셀에 객체가 없으면 Confidence는 당연히 0이 되며, 신뢰도 점수를 통해 확률값을 Threshold로 잘라서 결과값을 보여준다. [87]

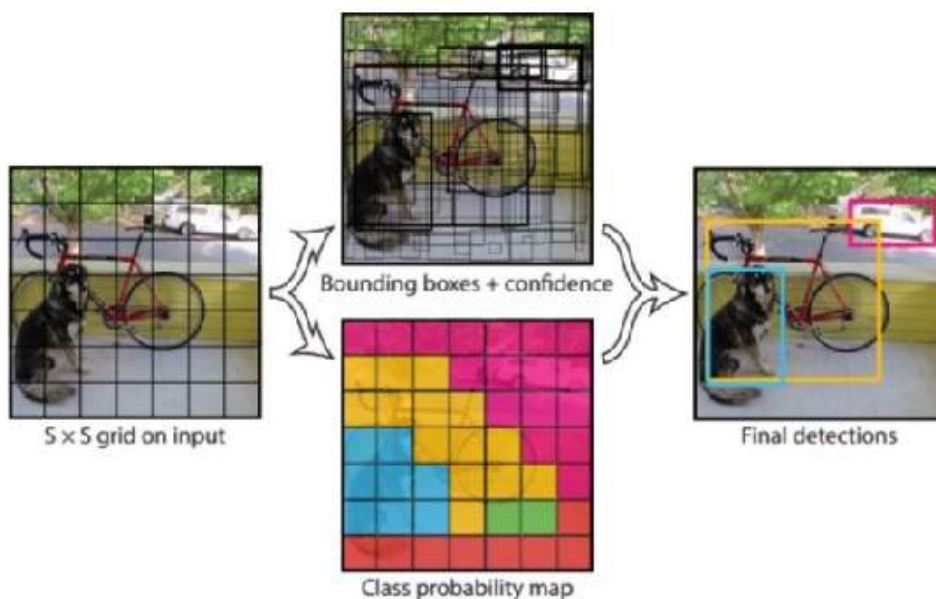


그림 4-9. YOLO image processing overview
Figure 4-9. YOLO image processing overview
(출처 : Redmon and Farhadi, 2017.)

데이터를 촬영한 이후 YOLO 알고리즘이 학습할 수 있도록 구성하는 과정이 필요한데 아래 나오는 설명은 같은 공간에서 3개의 다른 환경(시간대, 날씨, 계절)에서 촬영한 영상을 frame 단위로 잘라 이미지로 만든 이후의 과정이다. 지

도학습 객체 탐지 알고리즘을 학습시키기 위해서는 이미지 내 어느 영역에 어떤 객체가 있는지를 딥러닝 모델에게 알려줄 필요가 있다. 즉, 모델이 원하는 클래스(Class) 정보와 경계 상자(bounding box) 정보를 제공해야 한다. 각 모델마다 이 정보를 제공하는 형식(format)이 다르다. 이 실험에서는 YOLOv3 모델을 사용하기 때문에 YOLO 형식에 맞춰 데이터를 구성해야 한다. 이렇게 이미지 내 객체 클래스와 박스 정보를 구성하는 것을 라벨링(Labeling)이라고 한다.

그림 4-10에서 보듯이 YOLO 형식은 어떤 객체인지를 나타내는 클래스, 객체의 경계 상자 중점좌표, 경계 상자 크기로 이루어진다. 클래스는 0 이상의 정수로 구성되며 라벨링 진행 전에 분류하고 싶은 객체의 종류에 따라 0부터 숫자를 부여한다.

Class	Center X	Center Y	Width	Height
-------	----------	----------	-------	--------

그림 4-10. YOLO Format
Figure 4-10. YOLO Format

그림 4-11과 같이 박스 정보는 이미지 전체 가로, 세로의 상대좌표로 나타내며 0~1 사이의 숫자로 구성된다. 해당 형식을 따라 이미지 내 객체의 영역을 .txt 파일에 저장해야 한다.

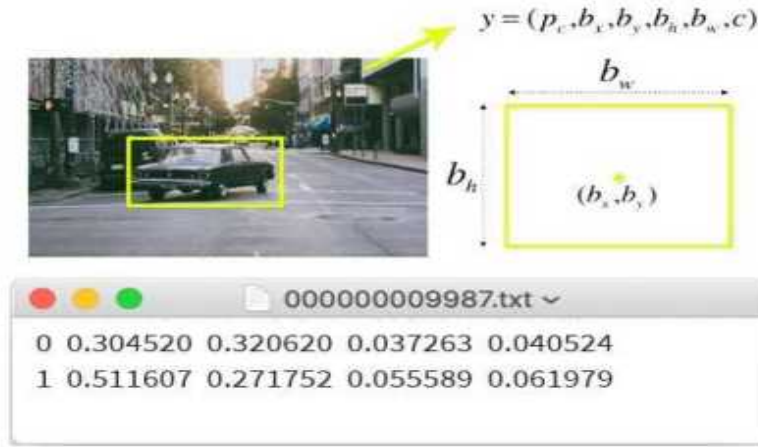


그림 4-11. YOLO 형식 라벨링 예시

Figure 4-11. YOLO format labeling example

(출처: <https://www.appsilon.com/post/object-detection-yolo-algorithm>)

이 실험에서는 Phantom 4 pro와 Inspire 2 두 개의 드론을 식별하는 것이 목적이므로 그림 4-12과 같이 각각 클래스 0, 클래스 1로 정하여 구성하였다. 클래스의 순서는 정해진 규칙은 없으나 한 번 정하여 학습한 이후에는 바뀌지 않는 것을 권장한다.



그림 4-12. 클래스 구성 파일

Figure 4-12. Class configuration file



그림 4-13. YOLO_Label
Figure 4-13. YOLO_Label

YOLO 형식으로 라벨링 하기 위해 ‘YOLO_Label’이라는 툴을 사용한다. ‘YOLO_Label’은 마우스 클릭만으로 그림 4-11과 같이 YOLO 형식에 맞는 .txt 파일을 구성해 주는 툴이다. 이미지가 있는 폴더와 그림 4-14와 같이 클래스 구성 파일을 준비하고, 객체가 있는 영역의 두 꼭짓점을 마우스로 클릭하여 경계 상자를 클래스 색상에 맞게 표시한다. 촬영을 통해 준비된 모든 이미지에 대해 이 과정을 마치게 되면, 이미지 폴더 내에 이미지의 이름과 같은 이름의 Label 파일(.txt)이 생성된 것을 확인할 수 있다.

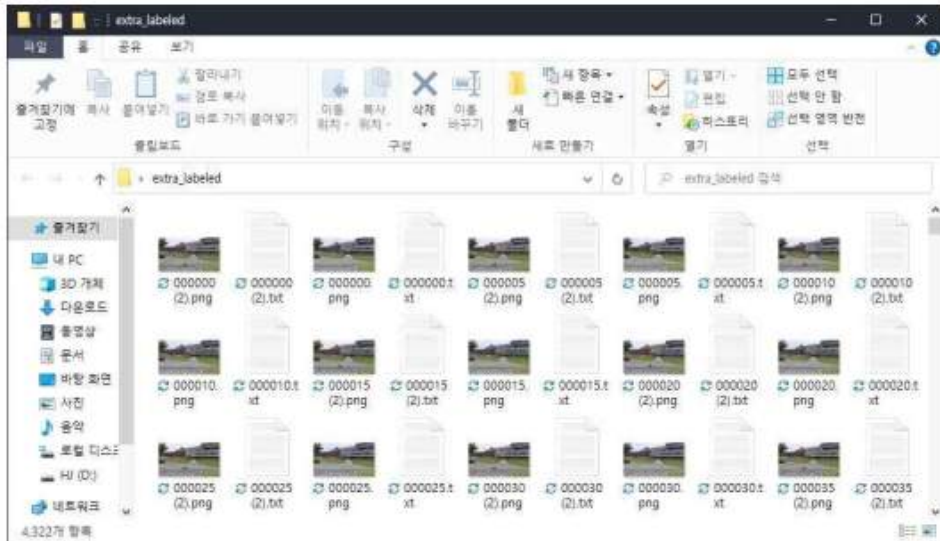


그림 4-14. 이미지 파일과 Label 파일
Figure 4-14. Image file and label file

동일 공간에서 3개의 다른 환경(시간대, 날씨, 계절)에서 촬영된 30fps 영상을 5-frame마다 이미지로 표본을 뽑았으며, 그 결과 다음 표 4-7에서 보듯이 저장된 이미지는 총 7,728개이다. 이 중 20%인 1,547개를 Test set으로 사용하였고, 나머지 6,181개를 Train set으로 사용하였다. Validation set은 Train set의 10%를 Random Sampling 하여 사용하였다.

표 4-7. 데이터 구성
Table 4-7. Data composition

	Train	Test
Phantom 단독	2145	539
Inspire 단독	3313	805
동시 촬영	723	203
총 이미지	6181	1547

YOLOv3와 비교하여 YOLOv5의 가장 큰 개선점은 정확도는 높이면서도 이미지의 feature를 추출하는 Backbone network에 CSP NET을 사용하여 연산량을 획기적으로 줄였다는 것에 있다.

다음 그림 4-15에서 보여주는 바와 같이 YOLOv5n, YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x 순으로 모델의 크기가 증가하고, 연산량 또한 증가한다. 이에 따라 추론 시간은 증가하지만 정확도가 향상된다.

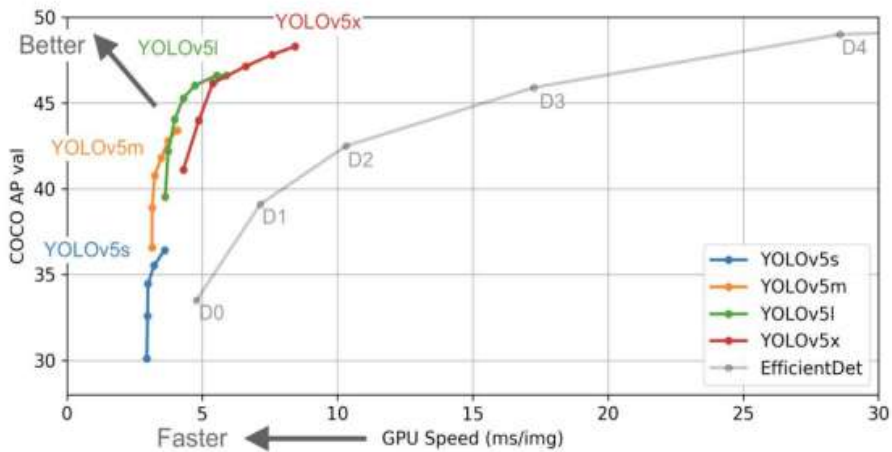


그림 4-15. COCO Dataset 에 관한 모델별 성능
Figure 4-15 Performance by model on COCO Dataset
(출처 : <https://github.com/ultralytics/yolov5>)

이 실험에서 드론식별 시 정확도가 크게 떨어지지 않는 한 추론 속도가 중요하다고 판단하여 YOLOv3모델과 성능을 비교할 모델로 YOLOv5s 모델을 선택했다. 이 두 가지 알고리즘의 성능을 비교하면 다음 표 4-8과 같다.

표 4-8. YOLOv3와 YOLOv5s 비교
Table 4-8. Comparison of YOLOv3 and v5s

구 분	YOLO v3	YOLO v5	비 고
모델 파라미터 갯수	62,252,682	14,000,000	약 80% 감소
COCO mAP@50	57.9	56.8	1.1% 감소
표 4-7 데이터 mAP@50	94.39	99.2	4.81% 증가
표 4-7 데이터 학습시간	약 6시간	약 50분	약 83% 감소

YOLOv3는 input size가 608x608인 model을 사용하였다. 연산량과 직결되는 모델 파라미터 개수는 약 80% 감소하였다. 컴퓨터 비전 분야의 대표적인 데이터셋인 COCO Dataset 의 mAP@50 비교에 있어서는 각 알고리즘의 저자가 실험한 내용을 참고하였다. mAP@50은 IOU 임계값을 50%로 두고 mAP를 계산하겠다는 지표이다. 따라서 IOU가 50 미만인 Box의 경우 인식하지 못한 것으로 계산한다. Threshold 값이 올라갈수록 더 까다로운 지표가 된다. 두 알고리즘의 개발시기가 다르기에 학습에 사용된 하드웨어 사양이 달라 정확한 비교라고 보기는 어려우나 각각 57.9, 56.8로 큰 차이가 나지 않음을 확인할 수 있었다. mAP@50은 94.39에서 99.2로 4.81% 증가하였으며, 학습 시간은 6시간에서 50분으로 약 80% 감소하였다.

mAP의 경우에는 학습데이터가 충분히 많아진다면 간극이 좁혀질 수 있다고 판단되지만, 학습 시간의 경우 model의 구조에 의존적이기 때문에 좁혀지기 어려운 격차이다. 빠른 학습 속도는 데이터 촬영 이후 빠른 피드백을 가능하게 할 것으로 예상되며, 이에 따라 학습 결과의 단점에 관한 개선 사항을 빠르게 적용하고 연구할 수 있을 것으로 개관한다. 결론적으로 본 연구인 드론식별에 있어 YOLOv5가 더 우수한 알고리즘으로 판단된다.

다음은 둘째로 드론식별 실증시험(다양한 날씨 조건·비행 거리·비행자세를 조합한 단일 및 다중드론 비행 탐지 시험)을 통해 날씨와 드론의 비행거리 및 자세에 따른 학습데이터 확보 여부가 드론 인식에 중요함을 확인하는 실험 결과이다.

다음 그림 4-16은 드론식별 실증시험 환경을 표시한 것이다. 가까운 거리(경유 지점 7, 약 50m)에서는 물론 비교적 먼 거리(경유 지점 15, 약 120m)의 드론이 잘 식별되고 있음을 보여준다. 주요 경로 지점별 드론 영상의 픽셀 단위

형상을 보면 다음 그림과 같다.

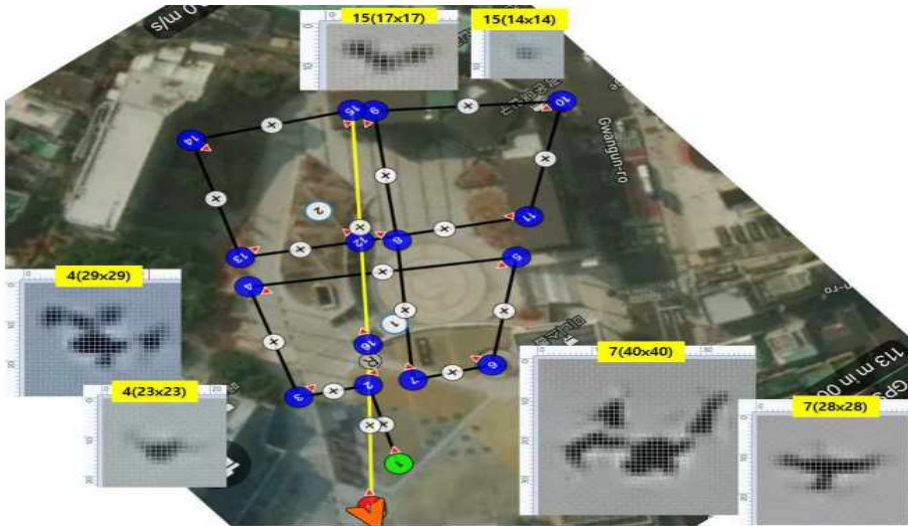


그림 4-16. 주요 경유 지점(7, 4, 15)별 드론탐지 픽셀

Figure 4-16. Drone detection pixels by major transit points (7, 4, 15)

드론의 학습 결과를 기반으로 Phantom 4 pro와 Inspire 2 두 종류의 드론이 단독 비행 시 각각의 영상에서 드론을 탐지한 결과는 표 4-9와 같으며, 여기서는 Inspire 2 드론이 흐린 날 정오(1)와 맑은 날 정오(3)에 탐지한 드론식별 결과를 그래프로 표시하여 전반적인 탐지 성능을 설명하겠다.

표 4-9. 인스파이어2 탐지 시험 결과

Table 4-9. Inspire 2 detection test results

구분	촬영 조건	탐지 파일명	결과 파일명
1	흐린 날 정오	ins2-0724112154.mp4	ins2_1.avi
2	맑은 날 일몰 직전	ins2-0719183118.mp4	ins2_1(1).avi
3	맑은 날 정오	ins2-0719124124.mp4	ins2_2.avi

아래 그림은 흐린 날 정오 Ins 2를 정상적으로 식별한 경우의 그림을 표시한 것이다. 드론의 위치(좌로부터 150m, 90m, 60m 부근)와 무관하게 적절히 식별되고 있음을 알 수 있다.

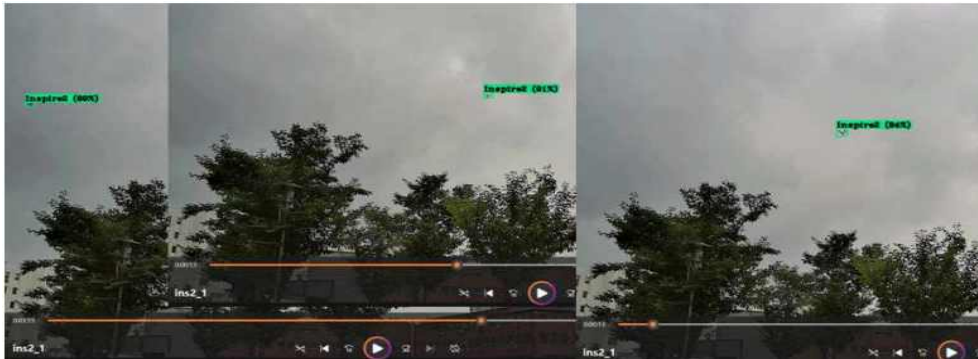


그림 4-17. Ins 2 정상식별(신뢰도: 84%, 91%, 89%)

Figure 4-17. Ins 2 normal identification (confidence: 84%, 91%, 89%)

첫 번째 그림 4-18은 Ins 2를 P4P로 잘못 인식한 경우를 표시한 것이다. 이는 드론이 선회하는 동안 형상이 변하며 순간적으로 잘못 식별한 경우에 해당하는 것으로 그림 상단의 확대된 이미지를 보면 전문가의 경우 어느 정도 식별이 가능해 보인다. 이러한 식별 오류의 원인은 P4P 학습데이터의 다양성 부족에 기인하는 것으로 판단된다. 탐지 오류는 크게 배경이나 카메라 앞 곤충의 비행을 잘못 인식하는 경우나 드론이 먼 곳에서 제자리 비행 상태인 경우에 발생하는데 두 번째 그림 4-19의 경우는 나뭇가지 및 참자리를 인식한 경우로 P4P로 잘못 식별한 경우를 보여주고 있다.



그림 4-18. Ins 2 식별 오류(신뢰도: 94%, 56%)
 Figure 4-18. Ins 2 identification error (confidence: 94%, 56%)



그림 4-19. Ins 2 탐지 오류(신뢰도: 28%, 31%)
 Figure 4-19. Ins 2 detection error (confidence: 28%, 31%)

다음엔 맑은 날 정오 Ins 2 탐지 결과이다.

비교의 편의를 위하여 흐린 날의 탐지 결과(그림 4-17)와 같은 위치에서 Ins 2 탐지 결과를 그림 4-20에 표시하였다. 앞의 결과와 유사하게 드론의 위치(좌로부터 150m, 90m, 60m 부근)와 무관하게 적절히 식별되고 있음을 알 수 있다.



그림 4-20. Ins 2 정상식별(신뢰도: 92%, 66%, 83%)

Figure 4-20. Ins 2 normal identification (confidence: 92%, 66%, 83%)

아래 그림 4-21은 Ins 2를 P4P로 잘못 인식한 경우를 표시한 것이다. 이는 드론이 선회하는 동안 형상이 변하며 순간적으로 잘못 식별한 경우에 해당하는 것으로 그림 상단의 확대된 이미지를 보면 전문가의 경우 어느 정도 식별이 가능해 보인다. 이러한 식별 오류의 원인은 P4P 학습데이터의 다양성 부족에 기인하는 것으로 판단된다.



그림 4-21. Ins 2 식별 오류(신뢰도: 92%, 91%)

Figure 4-21. Ins 2 identification error (confidence: 92%, 91%)

아래 그림 4-22에서는 흐린 날 탐지 오류와는 달리 배경에 관한 오류는 확인이 안 되었으나 카메라 앞 곤충의 비행이나 새의 비행을 잘못 인식하는 경우가 대부분이다. 이 문제는 앞서 언급한 바와 같이 학습데이터의 다양성 확보로 해결이 가능한 것으로 판단된다.

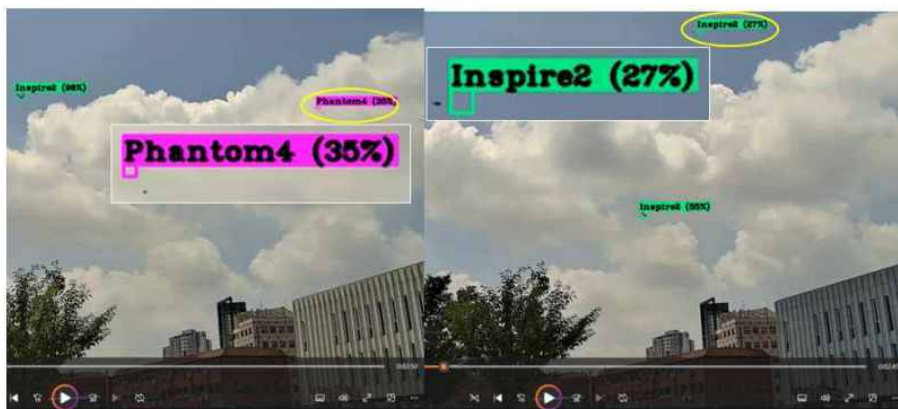


그림 4-22. Ins 2 탐지 오류(신뢰도: 35%, 27%)

Figure 4-22. Ins 2 detection error (confidence: 35%, 27%)

앞서 살펴본 바와 같이 드론의 탐지 및 식별이 잘못되는 현상이 일부 존재하는데 이를 확인하기 위하여 드론탐지 로그파일을 분석하여 프레임 단위로 드론 탐지 신뢰도를 정규화한 그래프를 작성하였다. 그림 4-23은 전체 영상(길이 4분 07초, 7,410프레임) 중 앞부분에 관한 날씨별 식별 성능을 확인한 것이다. 그림에서 청색이 Ins 2로 정상 식별된 부분이며, 오렌지색은 P4P로 잘못 식별된 부분이다. 아주 가끔 나타나는 공백 구간은 탐지가 안 된 부분을 의미한다.



그림 4-23. Ins 2 탐지 성능과 날씨(1~2,000프레임)

Figure 4-23. Ins 2 detection performance and weather (1~2000 frames)

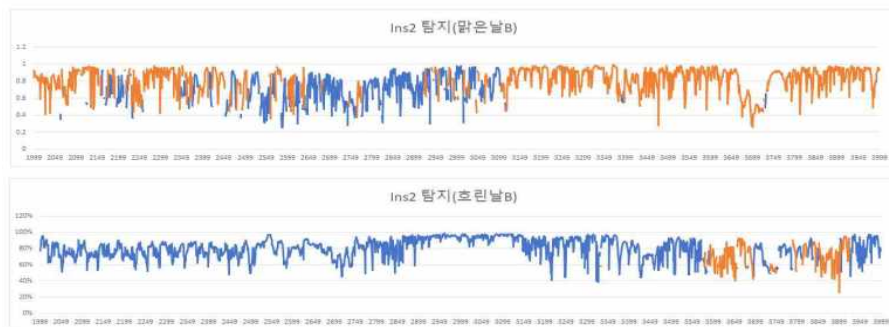


그림 4-24. Ins 2 탐지 성능과 날씨(2001~4,000프레임)

Figure 4-24. Ins 2 detection performance and weather (2001~4000 frames)

위 그림 4-24에서 알 수 있듯이 날씨가 드론식별에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 다만 흐린 날씨의 경우 비교적 날씨 영향을 적게 받고 있는데 이는 학습데이터가 날씨를 반영하고 있지 못하기 때문이다. 드론식별을 위해서는 드론 학습 이미지를 구성할 때 다양한 크기 및 자세 그리고 날씨를 적절히 반영하는 것이 중요하다.

다음에는 위의 학습 결과를 기반으로 두 종류의 복수 드론(Phantom 4 Pro,

Inspire 2)이 동시에 비행하는 영상을 대상으로 한 탐지 시험 결과이다. Ins 2는 단일 드론 시험에서와 같이 궤도 비행을 하였으며, P4P는 충돌 방지를 위하여 수동으로 비행 조종을 하였다. 비행 시험은 표 4-10에서와 같이 두 경우에 대하여 진행하였으며, 시간대별로 탐지한 드론식별 결과를 그래프로 표시하여 전반적인 탐지 성능을 설명하였다.

표 4-10. 팬텀 4 프로-인스파이어2 탐지 시험 결과
Table 4-10. Phantom 4 Pro-Inspire 2 detection test result

구분	촬영 조건	탐지 파일명	결과 파일명
1	흐린 날 정오	ins2_p4p-0724114748.mp4	ins2_p4p_1.avi
2	맑은 날 일몰 직전	ins2_p4p-0719192500.mp4	ins2_p4p_1(1).avi

다음 그림 4-25와 4-26에서 보듯이 개별 드론식별에서와 같이 두 개의 드론을 동시에 식별해 낼 수 있다. 다만 앞서 단일 드론식별에 사용된 학습 결과를 그대로 사용하는 경우 앞서 발생한 식별 능력 문제를 그대로 보여준다. 이에 관한 세부 데이터는 단일 드론식별 결과와 매우 유사하다.



그림 4-25. 흐린 날 정오 복수 드론탐지
Figure 4-25. Multiple drone detection at noon on a cloudy day



그림 4-26. 흐린 날 일몰 직전 복수 드론탐지

Figure 4-26. Multiple drone detections just before sunset on a cloudy day

단일 드론 비행 영상에서 일부 학습데이터를 반영하여 추가학습을 진행한 결과로 복수 드론탐지 시험을 한 결과를 앞서와 같은 방식으로 표시하면 다음과 같다.



그림 4-27. 복수 드론탐지(통합 로그, 1~1,251프레임)

Figure 4-27. Multiple drone detection (unified log, 1~1,251 frame)

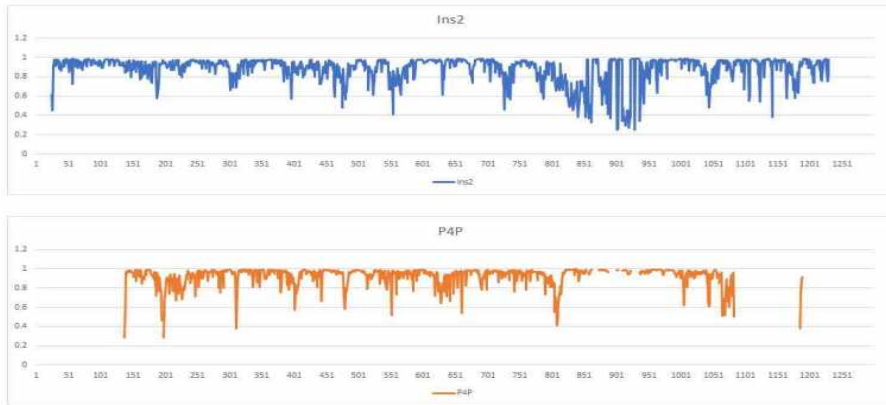


그림 4-28. 복수 드론탐지(개별 데이터 1~1,251프레임)

Figure 4-28. Multiple drone detections (individual data, 1~1,251 frame)

위 그림 4-27에서 청색은 궤도 비행 중인 Ins 2가 식별된 것을 나타내며, 오렌지색은 수동 조종되는 P4P가 식별된 것을 보여준다. 그림 4-28은 설명의 편의를 위하여 식별 결과를 드론별로 분리하여 표시한 것이다. 추가 학습된 결과를 반영하면 그림에서와 같이 Ins 2의 모든 비행이 식별되고 있으며, P4P의 경우 영상 속 이미지가 작은 일부 구간(프레임 번호 900 주변)에서 탐지가 되지 않고 있다. 그림 4-28의 P4P 앞부분과 뒷부분의 탐지가 안 되는 부분은 실제로 P4P가 비행하지 않는 구간(마지막 순간 탐지는 수동 착륙 시 카메라 앞으로 잠시 나타난 것임)으로 탐지가 되지 않은 것이다.

결론적으로 드론식별 알고리즘에 관한 실험 분석을 통해 첫째, YOLOv5s가 YOLOv3 보다 학습 시간이 대폭 감소(약 6시간에서 약 50분으로 단축) 되는 등 더 효과적인 알고리즘임을 선행연구 결과 적용을 통해 확인하였다. 둘째, 드론식별 실증시험(다양한 날씨 조건·비행 거리·비행자세를 조합한 단일 및 다중 드론 비행 탐지 시험)을 한 결과 날씨와 드론의 비행거리 및 자세에 따른 학습 데이터 확보 여부가 드론 인식에 중요함을 확인하였다.

4.4. 드론 무력화 기술

드론의 무력화 체계는 물리적 또는 전자적인 힘을 가하여 목표 대상물을 무력화하는 방어체계로서, 아래 표와 같이 Hard Kill과 Soft Kill로 구분할 수 있다.

표 4-11. 무력화 체계
Table 4-11. Neutralization System

구 분	종 류	특 징
Hard Kill (물리적 방식)	-조류, 그물 발사건, 그물 발사 드론 -대공무기(대공포: 30밀리 비호복합, 미사일: 미스트랄, 신궁) -지향성 고에너지 무기(레이저, HPM, EMP)	-독수리 등 맹금류 조련 -운동에너지(화약, 네트 발사) -지향성/전자파 에너지 (광원/주파수)
Soft Kill (전자적 방식)	-통신 재밍 -위성항법 재밍, 스푸핑 -조종권 탈취 -지오펜싱	-통신주파수 교란 -위성항법 주파수 교란 -비행금지구역 설정

(출처 : 김세일, 무인기 위협에 따른 레이저 무기체계 연구, 2021. [88] / 저자 재작성)

4.4.1. 하드킬(Hard Kill)

물리적인 방법으로는 그물 발사 드론이나 조류(독수리 등)를 이용하여 침입 드론을 포획하는 기술, 대공포나 미사일 등 대공무기 발사체로 맞추어 추락시키는 기술, 레이저 또는 EMP 등 지향성 고에너지 무기를 사용하여 파괴하는 기술이 있다.

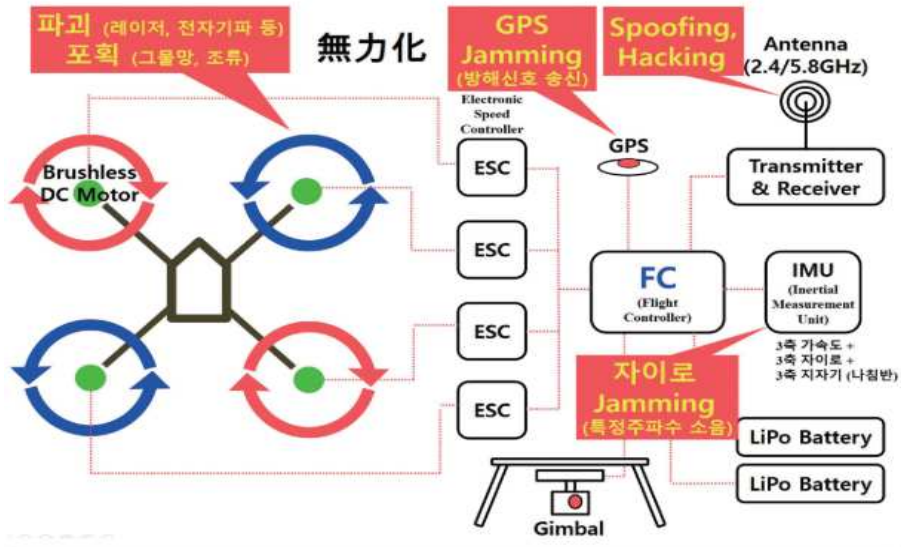


그림 4-29. 드론 시스템의 구성 및 무력화 가능 구성요소

Figure 4-29. Configuration of drone system & Disable Components

(출처 : 박준영, “드론 테러 방호를 위한 안티드론 기술 현황”, 대한전기학회, Vol. 69, No. 4, 2020.4 p. 19.)

1) 조류, 그물 발사건, 그물 발사 드론

조류를 훈련 시켜 드론을 포획하는 방법은 네덜란드 등 유럽 몇 개 나라에서 활용하였으며, 기체 크기가 큰 기종은 조류(독수리)가 상처를 입을 위험성이 있어서 소형드론 위주로 가능하다. 그물을 활용한 대표적인 제품은 바주카 형태의 ‘스카이 월 100’이다. 압축공기로 그물을 발사해 드론을 포획한 뒤 낙하산으로 연착륙시키며, 발사 거리는 최대 100m, 캡처 속도는 최대 15m/s이다. 지상에서 발사하거나 다른 드론에 장착한 그물을 활용한 드론의 포획은 정지비행 또는 저속 드론은 나포할 수 있지만 빠르게 침투하는 드론에 대해서는 효과가 좋지 않다. 고속으로 침투하는 드론에 대응하기 위해 드론에 직접 포획 장치를 탑재한 포획용 드론이 개발되는 추세인데, 미국 Fortem Technologies 社의

Drone Hunter, THEISS UAV Solutions 社의 EXCIPIO Aerial Netting System 등이 있다. 이 밖에도 발사체 형태로 발사하여 침투 드론에 직접 충돌시켜 추락시키는 AcrialX社의 DroneBullet이 있는데, 4km 범위에서 침투 드론을 찾아 표적을 설정하고 카메라와 Software로 표적을 추적한 후 350km/h의 속도로 공격한다. [74]

국내 KAIST에서는 그물망 포획 기술을 자체 개발하여 보유하고 있다. 인공지능(AI)을 이용하여 침투 드론을 인식하고 자동으로 추적하여 그물로 포획하는 기술이다.

2) 대공무기

대공무기에는 저고도로 침투하는 적의 무인기나 저공 저속기 등에 대비하여 전방에 배치 운용하고 있는 30mm 비호복합(30mm 대공포와 휴대용 유도무기 장착) 장비가 있다. 이 장비는 사격 구역 내에서 표적을 포착 시 사격 스위치를 작동하면 레이더와 연동을 통해 거리 계산과 포 정렬 등으로 분당 600여 발까지 사격을 자동 개시하며, 신궁(휴대용 유도무기)을 장착하고 있다. 0.5m의 작은 물체까지도 포착할 수 있어 북한의 소형무인기가 침투 시 조기 탐지 및 식별과 타격이 가능하다. [88]

대공포 또는 미사일 등 대공무기는 드론의 요격이 가능하지만 비교적 저렴한 드론에 비해 가성비가 좋지 않고, 저고도로 운용되는 소형의 고속드론은 격추 하기에 제한사항이 있다.

구분	20mm	30mm	35mm
형상			
유효사거리(km)	1.9	3	4
최대사거리(km)	4.5	8.8	10.9
발사탄수(발)	10, 30, 60, 100	1, 5, 10, 20	Auto, semi-auto, manual
분당 발사탄수(발)	3,000	1,200	1,100

그림 4-30. 대공무기

Figure 4-30. Current anti-aircraft weapons

(출처: 20mm 운용, 30mm 운용, 35mm 운용 교범)

3) 지향성 고에너지 무기

전력화 개발 중인 공격체계로 지향성 고에너지 레이저를 집광하여 드론을 녹여 파괴하거나, 고에너지 HPM(High Power Microwave: 고전력 극초단파), EMP(Electromagnetic Pulse effect: 전자기 펄스) 등을 사용하여 드론 내부 전자 부품을 타격하여 기능을 무력화시킨다.

지향성 고에너지는 인명 살상을 최소화하면서 최대한의 장비 손상의 효과를 추구하며, 비전투원에 대해서는 살상을 방지하면서도 적의 작전 능력을 일시적으로 무능화시키거나, 전략적으로 마비시키는 보조수단으로 활용된다.

레이저는 전자기파의 유도방출에 의한 빛을 증폭시켜 전기에너지를 광 에너지로 변환시키는 체계이다. 레이저 발진 장치는 가늘고 기다란 공진기의 양쪽에 거울을 달고 있는 형태를 하고 있고, 그 사이에 고체·액체·기체·반도체 등 다양한 종류의 매질이 채워져 있다. 외부에서 레이저 매질에 에너지를 입력하

면 매질에서 빛을 발생시키고, 양쪽 거울을 통하여 공진기 안에서 유도방출이 되고 빛을 증폭시켜 강력한 레이저광선이 발생하는 것이다. 레이저를 활용한 무기체계는 표적에 열을 가하여 무력화시키며, 레이저 출력에 따라 다양한 분야에 적용할 수 있다. [89]

고출력 마이크로파(HPM)는 전파 에너지를 집중시켜서 목표물을 무력화 또는 파괴 시키는 것이다. HPM에 의한 목표물 무력화와 파괴는 항공기 또는 미사일의 기체 표면에 가하는 물리적 손상이 아니라, 전자기 펄스에 의해 전기 회로와 전자 장비의 오작동을 유발하고 부품을 파손시키는 것이다. 전자기 펄스(EMP, Electromagnetic Pules)는 핵폭발 시 발생하는 감마선을 통해 대기 중의 원자가 이온화되어 발생하는 강력한 전자기 폭풍으로 매우 짧은(100 nsec) 길이의 초광대역 단일펄스 전자기 에너지이다. [90]

최근 전장에서 많이 사용되는 FPV 드론을 무력화하기 위해서는 EMP, HPM, 레이저를 적극적으로 활용하는 것이 필요하다.



그림 4-31. 레이저(좌), HPM(중), EMP(우)
Figure 4-31. Laser (left), HPM (middle), EMP (right)

(좌) BBC news, “‘Drone’ hits British Airways plane approaching Heathrow Airport,”, 2016.04.17. [91]

(중) CBC news, “A first in Canada: Drone collides with passenger plane above Quebec City airport,”, 2017.10.15. [92]

(우) Ahn jinyoung, “Global Trends on the Regulations of the Civil Unmanned Aircraft System(UAS)”, Aerospace Industry Technology Trends, Vol. 13 No. 1, pp. 59, 2015. [93]

4.4.2. 소프트킬(Soft Kill)

1) 통신 재밍

통신 재밍이란 드론이 사용하는 주파수를 RF 스캐너로 파악해 더 강한 세기의 주파수를 방출해 드론과 조종사 사이의 통신을 무력화시키는 방식이다.

일반 상업용 드론은 드론 비행 제어를 위해 드론과 조종사 간 RF 통신에 2.4GHz 대역을 사용하며, 드론과 조종사 간 통신이 끊어지면 Fail Safe 기능이 작동해 드론을 보호한다. 여기서 Fail Safe 기능은 일반적으로 ①Return to Home, ②Landing, ③Hovering 중 하나로 작동하도록 설정할 수 있다. Jamming은 Fail Safe 기능을 이용한 무력화 기술이다. 드론과 운용자 사이의 2.4GHz(또는 5.8GHz) 대역의 전파를 방해하여 침투 드론의 Fail Safe 기능을 강제로 작동시킨다. Fail Safe 기능이 활성화된 불법 드론은 사용자 설정에 따라 자동으로 침입영역을 벗어난 후 초기 이륙 지점으로 복귀하거나, 현재 위치에 착륙하거나, 제자리 비행을 수행한다. [74]

통신주파수는 대부분 공개되어 있어서 수월하게 제압할 수 있지만 다른 기기의 간섭 최소화를 위해서는 빔포밍해야 하고 드론이 재밍 지역에서 빠르게 이동하게 되면 효과가 감소한다.

상용 재밍 장비로는 Battelle의 DroneDefender, Apolloshield사의 Apolloshield RF Jammer 등이 있는데, 수백 미터 거리에서 상용 ISM 밴드나 GPS에 대하여 재밍을 수행한다. 독일 Dedrone도 2019년 10월 Battelle의 DroneDefender 기술을 도입하였다.

2) 위성항법 재밍, 스푸핑

위성항법 재밍은 GPS 신호를 이용하여 침투 드론의 위치를 교란할 수 있지만 인근의 광범위한 지역에서 GPS 사용 기기(자동차 네비게이션, 휴대폰, 항공기)에 지장을 초래할 수 있으므로 사용 시 주의가 필요하다.

스푸핑(Spoofing)은 침투 드론의 명령 신호 또는 센서 신호를 흉내(모사)내어 가짜 지령을 보내거나 현재 위치를 속이는 방법으로 침투 드론을 다른 곳으로 이동시키거나 착륙하게 하는 기술이다. 이란 사이버 전투부대가 2011년 12월 미국 무인기인 록히드마틴의 RQ-170 드론을 하이재킹할 때 스푸핑 기술을 사용한 것으로 알려졌다. 2013년 7월 오스틴에 있는 텍사스대 연구팀이 GPS 스푸핑 기술로 호화 유람선 탈취를 시연한 사례도 있다. 국내 KAIST에서는 GPS 스푸핑(Spoofing) 기술을 개발하여 보유하고 있다. 해당 기술은 상업용 드론의 GPS Fail-Safe 모드를 분석하고 드론별 맞춤형 하이재킹 전략을 수립해 개발됐으며, DJI 팬텀 3, 팬텀 4, 패럿 비밥 2, 3DR 솔로 등 다양한 이기종 드론에 성공적으로 적용됐다. [74]

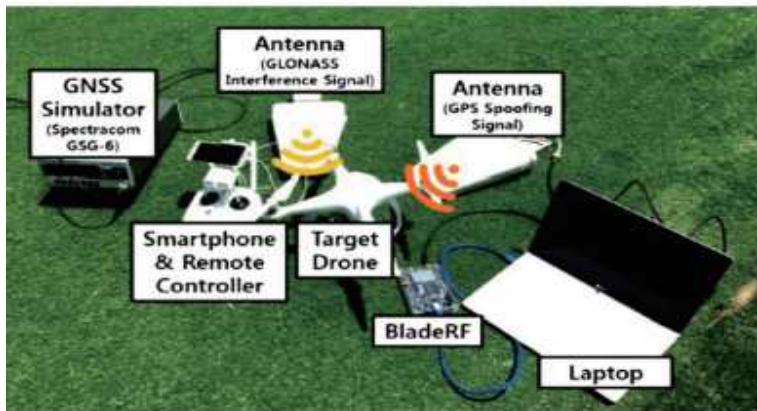


그림 4-32. GPS Spoofing 장비
Figure 4-32. GPS Spoofing equipment
(출처 : KAIST)

3) 조종권 탈취, 지오펜싱

조종권 탈취는 소형드론들이 사용하는 MAVLink 통신규약을 변조해서 드론의 조종을 방해 또는 조종 권한을 탈취하여 드론을 무력화하는 기술이다. “Replay-Attack”은 대표적인 조종권 탈취 방법으로서 드론이나 조종기에서 송출되는 신호를 녹음한 뒤 재생하여 드론의 조종을 방해하는 방식이다. 재밍 또는 스푸핑 공격으로 위험 물질 탑재 드론이 추락하여 피해가 확산할 수 있는 상황에서 조종권을 탈취하여 안전한 지역으로 강제 착륙시키는 것이 대안으로 제시되고 있다. 재밍 또는 스푸핑 공격으로 인해 위험 물질을 탑재한 드론이 추락하여 피해가 확산할 수 있는 상황에서 대안은 드론의 조종권을 탈취하고 강제로 안전한 지역에 착륙시키는 것이다. [75]

지오펜싱(Geo fencing)은 지리(Geography)와 울타리(Fencing)의 합성어로서 실제 위치에 기반해 가상의 경계나 구역을 만드는 기술이다. 와이파이 네트워크, RFID(반도체가 내장된 칩의 데이터를 무선 주파수로 읽어내는 기술), GPS, 사물인터넷(IoT) 등 다른 기술과 결합하여 사용자의 실시간 위치와 출입 정보를 기록할 때 활용된다. 지오펜싱은 GPS나 기지국 등 위치추적 기술을 사용하고, 도달 범위가 100m 이상의 장거리가 가능하며, 전용 단말기를 설치할 필요가 없다. 드론이 공항이나 군사지역 등 비행금지구역에 비행하지 못하도록 설정하는 드론 지오펜싱으로도 활용된다. 영국의 대형 공항에 불법 드론들이 출현한 사건 이후, 중국 드론업체 DJI는 공항 주변으로 지오펜싱을 설정하는 소프트웨어 업데이트를 통해서 드론이 설정한 비행금지구역을 침범하지 못하도록 했다. 이외에 많은 해외 기업들이 자체 지오펜싱을 구축하여 활용하고 있다. [94]

4.5. 드론 방호체계의 한계 및 발전 방안

드론의 공격에 대응하는 방호단계에서 기술력이 미치지 못하는 한계점들이

있다. 본 절에서는 탐지 및 식별, 무력화 기술의 한계를 고찰하겠다.

4.5.1. 탐지/식별 방법의 한계/발전 방안

탐지/식별 기술은 인체의 눈과 귀에 비유할 수 있고, 청력과 시력이 좋지 않거나 주변 장애물과 간섭음이 많을수록 정상적인 역할이 어려워지며, 다음과 같은 한계가 있다.

첫째, 드론 크기로 인한 한계가 있다.

RADAR(RADio Detection And Ranging)는 전파를 이용하여 대상물의 거리·방향·각도·속도를 측정하는 탐지 시스템으로서 강한 전자기파를 발사하여 물체에 맞고 반사되어 돌아오는 전자기파를 분석함으로써 대상물과의 거리를 측정한다. 이 과정에서 새 떼와 드론을 전자기파가 구분하는 것이 쉽지 않아 실제 드론을 인식하지 못하는 경우가 다수 발생한다. 레이더에서 발사된 전파가 드론의 표면에 부딪혀서 반사되는 반사면(RCS)이 작아서 탐지하기가 어렵다. 드론 표면에 스텔스 기능의 처리를 하거나, 드론 소재를 스티로폼, 종이, 나무로 제작하게 되면 눈앞에서 드론이 지나가도 탐지가 되지 않는 상황이 발생한다.

둘째, 비행 속도 및 고도로 인한 한계가 있다.

드론의 속도와 고도는 종류마다 다르다. 실제로 초저고도(약 5m), 약 120km/h 속도로 비행 시 침투 시뮬레이션을 했을 때 드론이 탐지되는 경우는 10건 중의 1건이었다. 군사 목적의 드론은 약 3~15m의 고정익을 사용하기 때문에 그에 맞도록 개발이 되어서 실제 드론 테러에 사용되는 크기가 50cm 이하의 드론은 탐지가 어렵고, 전파나 소음 등의 지상 간섭이 많은 초저고도에서는 빠른 속도로 비행 시 레이더의 탐지 한계가 명확히 발생하는 것이 확인되었다. [99]

셋째, 기상 조건으로 인한 한계가 있다.

레이더는 강한 전파를 하늘로 발생시켜서 비행체에 반사되는 전파를 통해 거리와 이동속도 등을 알 수 있게 된다. 낮은 대역의 저주파는 파장이 길어 감쇄가 적어서 비교적 먼 거리까지 탐지할 수 있지만 정밀도는 떨어진다. 높은 대역의 고주파는 파장이 짧아 안개, 비, 눈과 같은 기상환경에 전파가 흡수되거나 반사되어 감쇄되며 비교적 짧은 거리까지만 도달한다. 이러한 기상 조건은 EO/IR 가시거리에도 영향을 미치게 된다.

넷째, 음파 탐지의 한계가 있다.

다양한 드론용 BLDC, DC 타입의 모터 음파 데이터를 수집하고 분석하는 기술이 미흡하여 비슷한 음역 대의 인근 환경 소음으로 인한 오작동이 발생할 수 있다. 자체 필터링을 통해서 드론의 모터 소리가 아닌 소음은 걸러내는 기술이 개발되었다. 하지만 최근 바람 소음을 감소시키는 ‘저소음 프로프’와 효율은 높이고 발열은 줄이는 ‘저소음 모터’의 개발로 음파 탐지가 점차 어려워지고 있다.

다섯째, 대대급 이하 탐지가 육안으로만 가능한 제한사항이 있다.

탐지 단계에서 우리가 보유하고 있는 것은 저고도 탐지 레이더와 국지 방공 레이더 등이며 방공 C2A(Command Control & Alert) 체계를 거쳐 대대급까지 전파된다. 또 부대별로 보유하고 있는 천마, 신궁, 비호복합, 차륜형 대공포 등은 자체 레이더 등을 통해 탐지할 수 있다. 대대급 이하는 공용화기를 활용해 대공감시와 타격 임무를 동시에 수행하고 있고 육안 감시 위주의 탐지 활동한다.

여섯째, 소형드론의 탐지 및 식별과 AI 기반 식별 장비의 한계가 있다.

식별 단계는 TOD, EO/IR, 쌍안경 등을 활용하며 탐지 분야와 연동되어 동시에 발전되는 분야로서 중심 깊게 배치된 방공자산의 탐지 및 식별 단계를 통해 북에서 남으로 내려오는 중대형 드론은 포착할 수 있으나 소형드론에 대한 탐지 및 식별은 여러 면에서 제한된다. 전파탐지나 신호 탐지, 음향탐지 모두 소

형드론을 100% 탐지하기에는 지형 여건, 기상과 작전지역의 환경, 기술적 한계 등 극복 요소가 많다. 소형드론이 지형비행을 하거나 근거리에서 접근할 때는 더더욱 탐지가 제한될 것이다. 현재 개발된 식별 장비들은 대부분 전 세계적으로 많이 유통된 특정 회사 또는 모델을 대상으로만 기술이 연구·개발되어서 특정 모델을 제외한 드론이 AI 기반 식별 장비에 감지 되었을 때는 명확한 식별이 불가능한 한계가 있다. 실제 드론을 제작해 보면 수많은 조합으로 기체 제작이 가능하며, 이 경우에 기존 장비로는 드론식별이 불가능하다. [95]

표 4-12. 탐지/식별 방법의 한계 및 발전 방안
Table 4-12. Limitations/development of detection/identification methods

한 계	발 전 방 안
드론 크기	고성능 레이더 도입
드론 비행 속도 및 고도	탐지 장비의 성능평가 기준 강화
기상 조건	첨단 장비의 도입 (예 : 능동 위상배열 레이더 연동 안티드론 통합 솔루션)
음파 탐지	고성능 RF 탐지기의 도입
대대급 이하는 육안 탐지만 가능	첨단 탐지 장치의 전력화 (예: 고성능 야간투시경 전력화)
AI 기반 식별 장비의 한계	인공지능 및 4차 산업혁명 과학 기술 기반의 탐지·식별 체계 개발

위 탐지/식별 방법 한계의 발전 방안은 다음과 같다.

첫째, 드론 크기로 인해 발생하는 한계의 발전 방안으로는 고성능 레이더의 도입이다.

레이더의 성능향상을 위해서 비교적 짧은 파장을 가진 X 밴드 주파수를 사용

하고, 목표물 식별과 변별을 위한 고해상도 이미지 레이더를 만들 수 있는 AESA(Active Electronically Scanned Array) RADAR를 전투기에 탑재하는 이동형이 아닌 고정형으로 소형화시켜 낮은 RCS(Radio Cross Section)를 갖도록 한다. 전체 시스템의 크기를 최대한 억제하고, 낮은 RCS에 맞춰서 적절한 수량을 배치되면 레이더의 탐지 성능이 향상되고 지속적인 드론탐지가 가능할 것이다. 미국 DeTect 社の 드론 전용 레이더(Harrier, 민수용)는 공항에서 사용하는 조류 감시 레이더를 성능개량 한 것으로 낮은 RCS 물체를 탐지할 수 있고, 전 세계 상용 드론의 RCS 데이터베이스와 연동하여 탐지된 물체를 조류와 드론으로 구분할 수 있다. [96]

둘째, 드론 비행 속도와 고도로 인해 발생하는 한계의 발전 방안으로는 탐지 장비의 성능평가 기준 강화이다.

드론은 침투할 때 다양한 속도(빠르게, 느리게, 제자리 비행으로 가능하다. 만약에 최소 탐지 속도가 2m/sec인 레이더인 경우 한 시간에 7.2 km를 비행하는데 그 이하로 천천히 침투하거나 제자리 비행하는 드론은 탐지가 제한될 수 있다. 이에 대처하기 위해서는 아군의 드론 도입 시험평가 시 담당 기관과 군 평가부대에서 철저한 최소 탐지 속도 검증 시험이 요구된다. 또한 날개폭 약 2m의 RC 제트엔진을 장착한 무인항공기는 최고 속도 770km/h로 비행할 수 있다. 여러 대의 무인기가 수백km/h를 넘는 속도로 접근할 경우 몇 분 안에 무력화를 달성해야 하므로 고속 무인기에 대한 대응 시나리오를 마련해야 한다. [79]

셋째, 기상 조건으로 인해 발생하는 한계의 발전 방안으로는 침단 장비의 도입이다.

드론을 비교적 가장 원거리에서 기상과 관계없이 탐지하는 가장 빠른 방법은 레이더를 사용하는 것이다. 북한 무인기 침투 사례에서 보듯이 탐지를 잘하기 위해서는 탐지 후 드론을 추적할 수 있는 기능이 필요하다. 방위사업청이 군용

으로 시범 운용 중인 능동위상배열 레이더 연동 대 드론 통합 솔루션은 DJI 팬텀 4급 RCS 드론을 8km 거리에서 탐지·추적할 수 있으며, 적외선 장비와 드론 전파 방해 방지를 위한 AI 기반 식별 해법이다.

넷째, 음파 탐지의 한계로 인해 발생하는 한계의 발전 방안은 고성능 RF 탐지기의 도입이다.

무인기를 운용 시 드론 제어를 위한 주파수를 사용한다면 주파수 스캐너(RF)를 통해 탐지할 수 있으며, 통신장비를 탑재하지 않고 GPS와 최소한의 비행 제어 컴퓨터만을 탑재하고 비행한다면 재밍과 스푸핑의 방법으로 대응할 수 있다. 이러한 장비가 제한될 시는 EO/IR 장비나 레이더를 활용할 수 있다.

다섯째, 대대급 이하 육안 탐지만 가능한 제한사항으로 인해 발생하는 한계의 발전 방안은 첨단 탐지 장치의 전력화이다.

정밀한 추적을 위해서는 레이더뿐만 아니라 광학으로 직접 보아야 한다. 레이더를 통하여 탐지했다더라도 전자광학/적외선 장비(EO-IR)를 통해 영상으로 확인한다면 탐지의 정확도를 올릴 수 있다. 레이더가 찾아낸 최종위치를 광학 장치로 확인하고 타격을 할 수 있다. 이를 위해서는 각개 병사에게 고성능 야간 투시경을 포함한 관련 탐지 장비의 전력화가 요구된다.

여섯째, 소형드론의 탐지 및 식별과 AI 기반 식별 장비의 식별 어려움으로 인해 발생하는 한계의 발전 방안은 인공지능 및 4차 산업혁명 과학 기술 기반의 탐지·식별 체계 개발이다. 인공지능(AI) 기술을 활용해 북한 무인기(드론)의 비행 특성을 심층학습(Deep Learning) 시켜 다른 비행체(새 떼, 구름, 풍선 등)와의 혼동을 방지하고 위협을 즉각 식별하는 데 활용된다. 인공지능과 4차 산업혁명 과학 기술을 기반으로 한 탐지 및 식별 시스템 개발이 필요하다. 예를 들어 과거 북한 소형드론 영공 침입 사례(5회)에 대한 침투경로와 드론 사양을 분석한 데이터와 함께 시뮬레이션을 통해 추가 데이터를 생성해 인공지능(AI)

에 대한 딥러닝을 수행한다. 이를 기반으로 '인공지능 기반 탐지 및 식별 프로그램'을 개발하는 것이다. 이는 향후 북한의 무인기(드론)가 재침입하면 즉각적인 경고음을 제공하고, 우리 군이 소음과 새, 풍선 등의 물체에 혼동하지 않고 목표물에 즉각적이고 단호하게 대응할 수 있게 해줄 것이다. 또한, 장기적으로 AI 기반 무인기 대응체계는 탐지 및 식별뿐만 아니라 합동 추적 및 요격 작전에도 이바지할 것이므로 이에 대한 적극적인 관심과 투자가 필요하다.

4.5.2. 무력화 방법의 한계/발전 방안

무력화 기술은 Soft-kill 방식과 Hard-kill 두 가지 방식으로 구분되며, 한계는 다음과 같다.

첫째, 그물이나 훈련된 독수리를 이용하여 드론을 포획하는 것은 사거리 등의 문제로 실전 사용은 제한적이다.

둘째, 레이저 이용 방법은 가성비는 좋으나 군집 드론으로 많은 드론이 한꺼번에 오게 되면 물리적으로 무력화시키는 데 한계가 발생한다.

셋째, 미사일이나 화력 무기를 사용하는 것은 드론 가격보다 비용이 더 많이 든다는 점에서 가성비가 떨어진다.

넷째, 현재 사용 및 전력화 예정인 무기가 대부분 재밍(Jamming) 등 소프트 킬(Soft-Kill) 위주로 계획되어 있어 근본적인 대응이 제한된다. [79] 또한 전자파는 가격이 비싸고 에너지파로서 피·아를 막론하고 모두 다 태워버릴 수 있는 문제가 있다. 우리가 평시 사용하는 휴대폰, 차량 등에는 전부 다 GPS 수신기, GNSS 수신기를 가지고 있는데 드론의 제어권 탈취를 위해 스푸핑을 하게 되면 주위에 있는 기기들도 위치를 착각하게 된다. 처음에 공항에 적용하려고 했으나 공항에 수신기가 너무 많아 적용하지 못한 것처럼 평시 사용에는 제한사항이 있다.

표 4-13. 무력화 방법의 한계/발전 방안

Table 4-13. Limitations/development of neutralization methods

한 계	발전 방안
사거리 (드론 네트 건, 네트 장착 드론 등)	- 드론의 비행시간 향상을 위한 동력원 기술 개발 - 드론 탑재 및 임무 장비의 소형화·경량화 기술 개발
드론의 군집 운용 대응	- 레이저 무기화 기술의 지속적인 연구 개발 - 군집 드론에 관한 대응 기술 개발 강화(EMP 등)
가성비 저조 (미사일, 화력 무기 등)	- 가성비 있는 대공무기 적극 활용 (K-4 40mm 에어 버스탄, 비호복합 장비 등)
소프트킬(Soft-Kill) 방식의 제한사항	- High & Low 무기체계 운용 방안을 적용

위 무력화 방법 한계의 발전 방안은 다음과 같다.

첫째, 맹금류를 이용한 드론 방어 방법은 유럽 몇 개 나라에서 시도하였으나 실효성이 부족한 것으로 밝혀졌다. 드론을 포획하기 위해 드론에서 그물을 투하하거나 ‘드론으로 드론을 격추하는 드론’을 개발하는 방안이 있다.

둘째, 레이저를 이용하는 방법은 향후 계속 발전될 것으로 전망되므로 지속적인 연구 개발이 요구된다. 군집 드론에 대한 대응책으로서 미국 등 군사 선진국에서와 같이 군집 드론을 파괴 시킬 수 있는 ‘고출력 전자기파(HPM)’나 EMP 등의 기술 발전이 필요하다.

셋째, 가성비 있는 대공무기 활용 방안이 있다. K-4 40mm 에어 버스탄과 비호복합 장비를 사용하는 방안이다.

2022년 북한 무인기 침투 시 코브라 공격헬기(AH-1S)가 20밀리 기관포 100여 발로 사격을 했지만, 격추는 실패했다. 공중폭발탄(HEAB; High Explosive Air Bursting)을 쏘려면 30 미리 이상의 기관포 탑재가 필요하여 체적이 크고 비용도 많아지나 야전에서 운용 중인 K-4 40mm 고속유탄 기관총은 비교적 저

럼하다. 신형 40mm 에어 버스탄이 개발되어 있어 저속의 드론요격에 적당하며, 유효사거리도 2.2km로 드론 격추에 큰 문제가 없는 것으로 평가되고 있다. 비호복합 장비 또한 타격에 유효하다. 현재 비호복합 장비가 60억가량인데 ADS(Anti Drone System)를 위한 구성요소로서 쉘타, 원거리 EO/IR, 재머, 레이더, 통합관제시스템, 운용 콘솔이 필요한데 소요 비용은 비호 장비 가격의 1/4인 15억이므로 가성비 측면에서도 활용이 가능한 장비이다. [97]

넷째, 소프트킬 방식의 한계점을 극복하기 위해서 High & Low 무기체계 운용 방안을 적용할 필요가 있다. 즉 현대 전장에서 사례를 보듯 첨단무기와 구형 무기의 적절한 조화 운용이 더 효과적일 수 있음을 알 수 있다. 예를 들면 직접 타격 무기와 한정적인 지역을 표적으로 한 전자기 펄스(EMP) 장비를 함께 운용한다면 적절한 대응 방안이 될 수 있다.

제5장 결론

2023년 10월에 발생하여 현재까지 진행되고 있는 이스라엘과 하마스의 전쟁은 남북으로 대치된 우리에게 여러 가지 교훈과 고민을 안겨 주고 있다. 최첨단 장비와 전술로 하마스보다는 월등한 전력을 가진 이스라엘이지만 재래식 전력 위주의 하마스에게 기습을 당하고 큰 피해를 입었다. 과연 전쟁에서 승리할 수 있는 요건은 무엇인가를 생각하게 되면서 본 논문은 최근 20년간 전 세계에서 드론이 참가한 14개의 주요 전투사례 고찰을 통해서 드론의 운용 양상과 국방 드론의 무기화 기술 발전 방향에 관해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 현대 전투에서의 드론 운용 방식을 19개 운용 양상으로 정립하고 각각에 대한 대응 방안을 제안하였다.

둘째, 드론 무기화 기술을 분석하여 16개 핵심기술을 선정하고, 소요 기술의 중요도와 시급성을 분석하여 국방 드론의 발전을 위한 제안을 하였다.

셋째, 드론 방호체계 식별 단계에서 AI 방식의 드론식별 실증을 통하여 학습 데이터의 중요성을 확인하고, 현 방호체계의 한계와 발전 방안을 제시하였다.

먼저 드론 운용 양상 정립을 위해 검토한 전투 및 테러 사례는 2003년부터 현재까지 21년간이며, 전투가 발생한 장소는 아시아(10회)·유럽(4회)·아메리카(2회), 수행한 임무와 횟수는 정찰(7회)·공격(11회)·정찰+공격(5회)이었다. 고찰한 전투사례는 이스라엘-팔레스타인 분쟁 등 3개의 국지 분쟁, 조지아전과 우크라이나-러시아전 등 5개의 전면전, 미국의 이란 솔레이마니 장관 제거 등 2개의 대인 테러와 사우디 유전 테러 등 4개의 시설물 테러로서 총 14개이다.

드론의 운용 양상은 정찰 임무 3개, 공격 임무 7개, 정찰과 공격 임무 복합

수행 9개로 총 19개로 정립하였다.

먼저 정찰 임무 수행 드론의 운용 양상은 1) 방공 위협 취약지역 침투, 2) 인구 밀집 지역 상공 침투, 3) 중요시설 불법 비행이며,

공격 임무 수행 드론은 1) 적 위협 사전 무력화, 2) 민간 드론 개조 및 무장 운용, 3) 장거리 침투 공격, 4) 단거리 목표물 정찰 / 공격, 5) 목표 인근지역으로 이동 후 공격, 6) 해안 인근 기반 시설 및 해상선박 공격, 7) 타 무기체계와 연계 운용이다.

정찰과 공격 임무 복합 수행 드론은 1) 유·무인기 통합 운용, 2) 군집 운용, 3) 자동 항법 또는 원격조종 방식 운용, 4) 중·고 고도 장기 체공 후 운용, 5) 정찰과 공격 임무 복합 운용, 6) 전(全) 방향으로 침투 가능, 7) 저렴한 드론의 활용성 증가, 8) 도시작전에 운용, 9) 지하 작전에 운용이다.

다음으로, 드론 무기화 소요 기술 선정을 위해서 국내외 드론 무기화 기술 분석을 하였고, 이러한 기술들이 정찰·공격·정찰과 공격 복합 임무 수행 드론에 필요한 핵심기술을 선정하여 제시하였다. 총 19개로 정립한 드론의 임무별 운용 양상에 요구되는 소요 기술은 총 79개이었고, 이중 중복되는 기술을 제외하고 16개의 소요 기술로 압축하였다. 16개의 소요 기술은 6대 공통 핵심 기능 기술의 하위기술인 핵심기술 중에서 선정한 것으로서, 1. 탐지 및 인식(① 항법 및 항행 기술, ② 탐지 및 회피기술, ③ 임무 장비 기술), 2. 통신(④ 네트워크 기술, ⑤ 통신보안 기술), 3. 자율지능(⑥ 상황 인식 기술, ⑦ 자가 운영 기술, ⑧ 지능 협업 기술), 4. 동력원 및 이동(⑨ 동력원 기술, ⑩ 이동 및 작업 기술), 5. 인간 및 이동체 인터페이스(⑪ 인간 친화적 사용자 인터페이스 기술, ⑫ 원격 운용 기술, ⑬ 협력 기술), 6. 시스템 통합(⑭ 개발 체계 기술, ⑮ SW 체계 기술, ⑯ HW 체계 기술) 이다.

이러한 산출 결과를 토대로 소요 기술 개발의 중요도와 시급성을 분석하였다.

먼저 중요도 우선순위는 6대 공통 핵심 기술별 분석과 개별 기술별 분석 두 가지 기준에서 실시하였다. 첫째로, 6대 공통 핵심 기능 기술별 드론의 운용 양상이 적용된 소요 기술을 빈도별로 분석한 결과 탐지 및 인식 기술, 통신 기술, 자율지능 기술, 동력원 및 이동 기술, 인간 및 이동체 인터페이스 기술, 시스템 통합 기술 순으로 나타났다. 이는 전장에서 많이 적용된 전투사례의 분석 결과 이므로 중요도 우선순위로 적절하다고 판단하였다. 둘째로, 개별 기술별로 빈도를 분석한 결과 01-03. 임무 장비 기술, 01-02. 탐지 및 회피기술, 02-03. 통신 보안 기술, 04-01. 동력원 기술 등의 순으로 나타났으며, 이것 역시 전장에서 많이 적용된 전투사례의 분석 결과이므로 중요도 우선순위로 적절하다고 판단하였다.

또한 시급성 분석은 6대 공통 핵심 기능 기술별 국내기술 역량과 선진국 대비 국내기술 최저수준의 요소기술과 기술 격차를 분석한 결과를 종합 평가하였다. 그 결과 6대 공통 핵심 기능 기술 중에서는 인간 및 이동체 인터페이스 기술, 시스템 통합기술, 자율지능 기술이, 그리고 핵심기술의 하위기술인 요소기술 중에서는 예측 기술, 자가 치유 기술, HMI 상호신뢰성 연구가 각각 취약한 기술 순으로 나타났으며, 뒤 처진 기술을 우선 발전시켜야 하는 측면에서 본다면 국내기술 개발의 시급성 우선순위로 적절하다고 판단하였다.

이러한 드론 소요 기술을 왜 선정해야 하는 필요성에 대해서 고찰하였다.

첫째, 드론 무기화 소요 기술을 핵심기술에 반영시켜 드론 연구 개발의 기초 자료로 활용토록 하는 데 있다. 국방 기술 진흥연구소에서 3년마다 발간하는 ‘국방과학기술조사서’는 국방 기술 연구개발기획(핵심기술 포함)을 위한 참고 문서로서 국내외 국방 과학 기술 수준, 무기체계/기술 개발 현황 및 발전 추세,

미래 소요 기술에 대한 연구 개발 방향 등을 제시하는 문서로서 이러한 국방 전력 문서에 반영이 된다면 국방부, 방위사업청, 각 군 등 군 관련 기관은 물론 국회 및 타 정부 부처, 산·학·연등에 소요 기술 현황이 널리 제공되고 공유되어 국방 드론 발전에 이바지할 수 있게 될 것이다. 둘째, 효율적인 국방 R&D 예산을 운용하도록 이바지할 수 있다. 국가 예산 체계상 국방 연구 개발 사업 예산은 방위사업청이 전체 예산의 97%, 국방부와 과학기술정보통신부 등 타 부처가 나머지 3%를 집행하고 있다. 이 중에 독자 국방기술력 확보에 투입되는 국방 기술 개발 사업 예산은 지난 5년간(2018년~2022년) 연평균 23%의 높은 증가율을 보였지만, 예산 사용의 효율성 측면에서 개선의 필요성이 지적된 바 있다. 기술 개발을 위한 기술이 아닌 전투 현장에서의 운용 양상을 기초로 최근 드론 무기화 기술을 분석하여 선정된 기술들이 정부의 국방정책과 국방 전력 문서에 반영되어 기술 개발이 추진된다면 예산의 효율적인 사용에 이바지할 수 있을 것이다.

또한 선정된 소요 기술의 활용 방안을 제시하였다. 즉, 정부 정책이나 여러 연구기관의 기술 개발 관련 문서에 반영할 수 있도록 국방과학기술 혁신 기본 계획(국방부, 매 5년, F+1~F+15), 국방 기술 기획서(방사청, 매년, F+1~F+15) 등의 국방 전력 문서에 반영하거나, 국방 R&D 예산으로 핵심기술을 다루고 있는 국방 기술 연구 개발 사업(방사청)에 반영하는 세 가지의 방안은 좋은 접근 방안이 될 것이다.

마지막으로 드론 방호체계의 실태 및 한계점 발전 방안 제안을 위하여 드론 방호체계 탐지-식별-무력화 단계별로 해당 기술의 발전 동향과 상용화 실태를 알아보았다. 그중 방호체계에서 식별의 중요기술인 AI 기반 드론식별 알고리즘

실험 결과를 분석하였다. Phantom 4 Pro와 Inspire 2 두 개 기종의 Deep Learning에 의한 EO/IR 드론 영상식별 방법에 대해 실험하였으며, Inspire 2는 궤도 비행을, Phantom 4 Pro는 충돌 방지를 위하여 수동으로 동시에 비행하는 영상을 대상으로 한 탐지 시험 결과 두 가지 성과를 거두었다. 첫째, 드론식별 실증시험, 즉 다양한 날씨 조건과 비행 궤적 그리고 비행자세를 조합한 단일 및 다중드론 비행 탐지 시험을 한 결과 날씨와 드론의 비행거리 및 자세에 따른 학습데이터 확보 여부가 드론 인식에 중요하였다. 둘째, 드론식별 알고리즘에 관한 분석을 한 결과 YOLOv5가 YOLOv3 보다 학습 시간이 대폭 감소(약 6시간에서 약 50분으로 단축)되는 등 더 우수함을 확인하였다.

드론의 방호체계를 구성하는 탐지 단계의 기술에는 레이더, RF 스캐너 등 4개, 식별 단계에서는 육안·전자 식별 기술이 있고, 무력화 단계에서는 방공용 대공화기, 직사 에너지 무기 등 물리적 대응 기술과 재밍, 스푸핑 등 전자적 대응 기술이 있다. 하지만 이들 기술은 한계점을 가지고 있으며 그 발전 방안을 연구 제시하였다.

본 논문은 주로 최근 발생한 현황들을 다루다 보니 데이터 수집의 제한이 있었고, 드론의 전투사례를 기초로 한 정성적 분석이라는 한계도 있었다. 하지만 기존 연구에서 다루지 않은 드론 전투사례 고찰을 통한 정찰 및 공격 임무 드론의 운용 양상을 정립하였고, 드론 운용 양상과 드론 무기화 기술 분석을 기초로 국방 드론의 발전에 필요한 소요 기술을 선정하였다. 또한 드론 방호체계 중 AI 기반 드론 영상식별 알고리즘을 분석하여 AI 알고리즘 학습데이터의 중요성을 제시하였다. 다만 후속 연구 시 고려할 사항은 드론 방어체계에서 무력화 방안은 사전 탐지와 식별이 중요하므로 정확하고 신속한 영상분석을 위한

분석데이터의 확보와 영상분석 기법에만 의존하는 것이 아니라 상호보완적인 활용 방법을 검증하는 실증연구가 요구된다.

이와 같은 본 논문의 연구 결과가 드론봇 전투체계를 발전시켜 가고 있는 우리 군과 국가중요시설 방호기관에 다양한 드론의 운용 양상을 파악하고 이에 대한 방호대책을 마련하는 데 도움이 되고, 국방 드론 개발을 위한 소요 기술과 드론 방호체계의 한계와 발전 방안이 국방전략 수립의 기초자료로 활용되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 서정원 등 4명, “소형드론 위협을 고려한 미 국방전략과 우리 군의 대응 방향”, 국방과 기술 526호, 2022.
- [2] 연합뉴스 “드론(UAS), 크루즈 미사일만큼 치명적… 미국과 동맹에 더 큰 위협될 것.”, 2020.10.30.
- [3] 김영은, “드론 전투체계의 국방 표준화 결정요인에 관한 연구”, 박사학위 논문, 2021.
- [4] 조용찬 등, “강화학습 기반 적대적 위협 환경에서 정찰드론의 경로 계획”, 차세대 융합기술학회지, Vol. 6, No. 4, 2022.
- [5] 김정수 등, “보병 중대 책임 구역에서 소형 정찰기 수량 변화에 따른 전투 효율성에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회, 31권, 4호, 2022년.
- [6] Seo Kang-il et al., “Combat aspects of North Korean attack drones through 21st century wars”, Journal of Culture and Technology Convergence (JCCT), Vol. 9, No. 3, 2023.
- [7] 유재명 등, “AI 공격 드론의 발전 방향과 시사점에 관한 연구”, 한국방위산업학회지, 30권, 1호, 2023.
- [8] 김형석·조재희, “드론 기반 위협의 시공간적 분석 및 드론위협 지수화에 관한 연구 : ACLED 이벤트 데이터를 중심으로”, 선진국방연구, 6권, 3호, 2023.
- [9] 박종수·이건영, “정찰 및 공격 임무 수행 드론의 운용 양상에 관한 연구”, 한국 국방 기술학회지, Vol. 5, No. 3, 2023.
- [10] 군사학연구회, 군사학 연구방법론, 경기 성남 : 북코리아, 2017.

- [11] 머니투데이, “전 세계 절반이 군용 드론 보유…‘드론 전쟁’ 시대”, 2019.09.26.
- [12] 국방과학기술용어사전(2021), 군사용어 사전(2012)
- [13] Statista, “2002년부터 2022년까지 전 세계 지역별 국가 기반 분쟁 수“, 2023.
- [14] 대외경제정책연구원, “IS의 마지막 시리아 점령지 탈환하며 지도상에서 IS 소멸”, 2019.
- [15] 심현석, 드론의 역습-새로운 패러다임의 위협과 안티드론, 월간 국방과 기술, 2018.
- [16] 육군본부, “드론-창과 방패의 싸움”, 2019.
- [17] REUTERS, “Israel-Gaza violence erupts for first time since end of last month’s fighting”, 2021.06.16
- [18] 글로벌 이코노믹, “이스라엘 방위군 수색 공격 군집 드론 ‘토르’.”, 2021.
- [19] 한국 군사 문제 연구원, “북한 무인기 도발과 대응”, KIMA Newsletter, 제1385호, 2022.12.30.
- [20] 권명국, “북한 무인기 격추 실패 원인과 대책”, Han sun Brief(통권 244호), 2023.02.03.
- [21] 조이상 등 6명, “저 피탐 정찰용 무인항공기 개발 기술 및 운용 개념 연구”. 한성대학교 산학협력단(합동참모본부 정책연구), 2019.
- [22] BBC 뉴스 코리아, “이라크 침공 20년: 세계에서 가장 풍요롭던 문명이 어떻게 처참히 무너졌을까?”, 2023.04.10.
- [23] 연합뉴스, “주한미군, 평택기지에 ‘킬러 드론’ 그레이 이글 12대 배치했다.”, 2022.08.31.
- [24] 주간동아, “尹 정부 국방정책 ‘유무인 복합체계’, 미래전 게임 체인저 부상”, 2022.
- [25] 밀리터리 리뷰이지, “아파치 36대 추가 도입 & 한국형 유무인 복합 운영 체계.”, 2021.03.07.

- [26] Embassy of Azerbaijan, “2nd anniversary of Russia-Georgia war. Tensions still remain”, 2009.
- [27] 연합뉴스, “냉혹한 국제관계...왜 누구도 아르메니아를 돕지 않았나”, 2020.11.20.
- [28] Park sang-hyuk et al., “Study on overseas combat cases using attack drones”, The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 9, Issue 5, 2023.
- [29] Cho Sang-geun et al., “Analysis of Azerbaijani Army’s Drone Maneuver Warfare and Its Implications.”, Convergence of Culture and Technology, Vol. 8, 2022.
- [30] BBC 뉴스, “러시아가 우크라이나를 침공한 이유-푸틴이 원하는 바는?”, 2022.02.25.
- [31] 유용원의 군사 세계, “우크라이나-러시아 전쟁 분석 #7. 군사혁명의 관점에서 본 우크라이나군의 전쟁 준비”, 2022.
- [32] Politico, Associated Press, “Ukraine used home-modified drones to strike Russian bases”, 2022.
- [33] 서울신문, “우크라이나 ‘국산 드론’이 투하한 65만 원짜리 폭탄으로 러시아 탱크 45억 대 격파”, 2022.05.12.
- [34] 한겨레신문, “군사용 드론 시험장이 된 우크라이나.”, 2022.11.10.
- [35] 경향신문, “이스라엘·하마스 충돌.... ‘5차 중동전쟁’ 위기”, 2023.10.08.
- [36] 연합뉴스, “[이·팔 전쟁]하마스 9년 전보다 강해졌다.... 드론·미사일로 무장”, 2023.11.05.
- [37] https://ko.wikipedia.org/wiki/HESA_
- [38] 동아일보, “이스라엘이 가자지구 지상군 투입 늦추고 드론 공격 나선 까닭은?”, 2023.10.21.
- [39] <http://newsimpact.co.kr/View.aspx?No=1626858>

- [40] 한겨레신문, “더 싸게 더 작게…‘드론 한 방’에 중동 판세 흔들”, 2024.02.01
- [41] ZDNET Korea, “사람보다 드론 잘 포착… 이스라엘군, AI 기술 전쟁 투입“, 2024.02.11.
- [42] <http://m.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=34249>
- [43] <https://www.donga.com/news/Inter/article/all/20231021/121772930/1>
- [44] Colin P. Clarke, “‘Approaching a ‘New Normal’: What the Drone Attack in Venezuela Portends”, RAND, 2018.
- [45] 연합뉴스, “美, MQ-9 리퍼 동원 이란 군부 실세 제거…‘드론 전쟁 시대’ 열리나”, 2020.01.05
- [46] 매일경제, “가난한 자의 무기 드론, 3만 4천 배의 가성비.”, 2019.09.16.
- [47] 조선일보, “새벽에 뜬 드론 10대, 사우디 석유의 급소 2곳 동시 폭탄 공격.”, 2019.09.16.
- [48] 중앙일보, “드론 폭격에 17곳 구멍이 나고 파괴된 사우디 석유 시설 위성사진 공개”, 2019.09.16
- [49] 머니투데이, “사우디 유전 공격…美 “이란 소행, 드론 아닌 미사일””, 2019.09.16.
- [50] 연합뉴스, “예멘 반군 “작전반경 1천500km 자체 개발 드론으로 사우디 공격””, 2019.09.19
- [51] 연합뉴스, “미·이스라엘 “이란, 오만 근해 유조선에 드론 공격””, 2022.11.17.
- [52] Alexander Solodov et al., “Analyzing the Threat of UAV to Nuclear Facilities” (SAND 2017-3408J), Sandia National Laboratories, 2017.
- [53] 서울신문, “원전 상공 불법 드론 10대 중 6대는 조종자 확인 못 해.”, 2022.10.21.
- [54] 연구개발특구진흥재단, “유망시장 이슈 레포트(군용 드론)”, 2021.
- [55] 서일수·김용우, “드론봇 전투체계 발전 방안 연구”, 한국 드론 혁신협회, 2021.
- [56] Shin Nae-ho et al., “Analysis of optimal infiltration area using geospatial

- information-based infiltration risk prediction model”, Journal of the KIMST(Korean Journal of Military Science and Technology), Vol. 12, No. 2, 2009.
- [57] Pyo sang-ho et al., “Construction and testing of a Wibro-based aircraft base defense power location identification system,” Journal of the KIMST(Korean Journal of Military Science and Technology), Vol. 15, No. 3, 2012.
- [58] 이기진, “드론 전투체계 전력화 추진 방안 고찰”, 국방과 기술, 1월호, 2022.
- [59] 이시욱, “공항, 원전 등 국가 주요시설 대 드론 방어체계 구축 방안(3)”, 미래 경제 뉴스, 2020.
- [60] 홍태현, “국가중요시설의 드론 테러 위협 대응 방안 연구”, 2019.
- [61] 이시욱, “공항, 원전 등 국가 주요시설 대 드론 방어체계 구축 방안(2)”, 미래 경제 뉴스, 2020.
- [62] 국방 기술 진흥연구소(KRIT), “미래 국방 2030 기술 전략, 2022.
- [63] 임승혁·안광수, “국방연구개발 예산 체계 진단과 제언”, KISTEP 이슈 페이지, 344호, 2023.
- [64] 연구개발특구진흥재단, “유망시장 이슈 레포트(군용 드론)”, 2021.
- [65] 한국과학기술정보연구원(KISTI), “무인항공기 과학·기술·산업 분석”, 2022.
- [66] 한국과학기술기획평가원, “무인기 기술 동향 브리프”, 2018.
- [67] 경상북도, “4차 산업혁명 기반 드론 산업(국내외 동향 연구보고서)”, 2020.
- [68] 무인이동체 미래선도 핵심기술 개발사업단(강왕구 등), “4차 산업혁명 기술의 집약체 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵”, 2018.
- [69] 임승혁, “국방전략 기술 확보를 위한 정부 R&D 전략 연구 ; 무인기의 유무인 복합 전투 수행을 중심으로”, KISTEP, 2020.

- [70] 김재만, “국방 과학 기술혁신 시행계획에 따른 핵심기술 기획관리 추진 계획”, DTiMS(국방 기술 진흥연구소) Weekly, 2024.
- [71] 방사청·국방 기술 진흥연구소, “‘23-’37 국방 기술 기획서”, 2023.
- [72] Seo Kang-il et al., “A Case Study on the Threat of Small Drone and the Development of Counter-Drone System”, The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 9, No. 2, 2023.
- [73] 이인재 등 6명, 불법 드론 대응을 위한 저고도 드론탐지 기술 동향, 전자통신 동향 분석 제37권 제1호, 2022.
- [74] 박준영, “드론 테러 방호를 위한 안티드론 기술 현황”, KIEE(대한전기학회), Vol. 69, No. 4, 2020.
- [75] 최진철·임승혁, “안티드론”, .한국과학기술기획평가원, 2021-10호, 2021.
- [76] 이시욱, “드론 어떻게 탐지할 것인가?”, 2019.
- [77] <https://www.globalsecurity.org/military/world/stealth-aircraft-rcs.htm>
- [78] Farlik Jan et al., “Multispectral Detection of Commercial Unmanned Aerial Vehicles”, Sensors 19, no. 7 : 1517, 2019.
- [79] 이시욱, “공항, 원전 등 국가 주요시설 대 드론 방어체계 구축 방안(4)”, 미래 경제 뉴스, 2020.
- [80] 네이버, “센서의 차이, 광학카메라, 열화상 카메라 차이”, 2022.07.07
- [81] Farlik Jan et al., “Multispectral Detection of Commercial Unmanned Aerial Vehicles”, Sensors 19, no. 7: 1517, 2019.
- [82] Lykou G et al., “Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber- Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies”, Sensors 20(12) 3537”, 2020.
- [83] 김용환, “드론의 역습 새로운 패러다임의 위협과 안티드론”, 한국방위산업진흥회, 2018.

- [84] Kim won-gyu et al., “Research on identification and frequency operation requirements and institutional improvements for low-altitude small drones”, National Radio Research Institute, 2019.
- [85] 강규민 등 5명, “저고도 소형드론 식별 기술 및 표준화 동향”, 전자통신 동향 분석, 34권, 제6호, 2019.
- [86] 이건영 등 3명, “딥러닝 기반 드론 검출 및 분류”, 전기학회논문지, 68권, 2호, 2019.
- [87] 문의성 등 5명, “YOLO 알고리즘을 통한 드론탐지”, 한국 소프트웨어 종합학술대회 논문집, 2018.
- [88] 김세일, 무인기 위협에 따른 레이저 무기체계 연구, 2021.
- [89] 김종국·변유진, “레이저 대공무기 발전 추세와 획득 전략”, 한국국방연구원 주간 국방논단(1695호), 2017.
- [90] 김홍섭, “EMP 위협의 현실과 발전 방안”, 한국방위산업진흥회, 국방 기술(414호), 2013.
- [91] BBC news, “‘Drone’ hits British Airways plane approaching Heathrow Airport,”, 2016.04.17.
- [92] CBC news, “A first in Canada: Drone collides with passenger plane above Quebec City airport,”, 2017.10.15.
- [93] Ahn jinyoung, “Global Trends on the Regulations of the Civil Unmanned Aircraft System(UAS)”, Aerospace Industry Technology Trends, Vol. 13 No. 1, 2015.
- [94] 디지털피디아, “지오펜싱”, 2020.12.31.
- [95] Ahn jinyoung, “Global Trends on the Regulations of the Civil Unmanned Aircraft System(UAS)”, Aerospace Industry Technology

Trends, Vol. 13 No. 1, 2015.

[96] Kim Gyu-beom et al., “Analysis of domestic and foreign military drone development trends and suggestions for countermeasures against North Korean drones”, Journal of Convergence Information, Vol. 11, No. 12, 2021.

[97] 강호중, “군집 드론 테러 대비 방안 고찰”, 한국 테러학회보 제16권 제1호, 7, 2023.