C-UAS / STRATEGY / TECHNOLOGY

2030 대드론 트렌드

드론 위협의 변화와 대드론 대응의 미래

양병희 · 장병철 · 정훈성



한국대드론산업협회
KOREA ANTI-DRONE INDUSTRY ASSOCIATION

발간사

변화의 속도보다 먼저, 이해의 기준을 세우며

드론을 설명하는 말은 많아졌습니다. 인공지능, 자율비행, 광섬유, 군집, 레이저처럼 서로 다른 기술이 한 문장에 등장하기도 합니다. 그러나 이름을 많이 아는 것과 실제로 무엇이 달라졌는지 이해하는 것은 다릅니다. 이 책은 그 차이에서 출발합니다.

드론의 속도와 장비의 탐지거리만으로 방어 능력을 판단하기는 어렵습니다. 어떤 조건에서 성능을 확인했는지, 대응이 실패했을 때 무엇이 남는지, 운용자가 어떤 결정을 내려야 하는지까지 살펴야 합니다. 대드론을 처음 접하는 독자도 이 질문들에서 출발할 수 있습니다.

『2030 대드론 트렌드』는 위협, 대응작전, 방호와 회복, 지속적인 개량을 하나의 흐름으로 읽는 책을 지향합니다. 기술의 이름을 먼저 외우게 하기보다 기능을 설명하고, 기능의 가능성을 말할 때에는 조건과 한계도 함께 보여주려 합니다. 설명은 쉽게 풀되 중요한 차이는 분명하게 유지합니다.

이 책에서 '트렌드'는 공개된 정책과 연구, 시험과 운용 자료에서 확인되는 변화의 방향을 주제별로 분석하는 틀입니다. 연구목표와 달성한 성능, 개별 시험 결과와 적용 범위, 기관의 계획과 집행 상태를 구분하는 데서 출발합니다.

독자는 책의 설명에 동의할 수도 있고 다른 질문을 제기할 수도 있습니다. 그 판단을 돕도록 본문과 시각자료에 근거를 연결했습니다. 저자의 제안은

확인된 사실과 구분하고, 자료가 부족한 곳에서는 결론을 서두르지 않았습니다. 정확한 질문을 남기는 일이 근거 없는 확신을 주는 일보다 중요하다고 보았기 때문입니다.

이 책이 드론전쟁을 이해하려는 독자에게는 길잡이가 되고, 현장의 문제를 다루는 전문가에게는 판단의 근거를 점검하는 자료가 되기를 바랍니다. 후속 개정에서는 새로 확인된 사실과 달라진 기술을 반영하고, 앞선 설명에서 고칠 부분도 함께 살펴보겠습니다.

한국대드론산업협회장 양병희

서문

드론을 넘어, 우리가 지켜야 할 것들

하늘에서 드론 한 대를 발견했다면, 우리는 무엇부터 알아야 할까? 어떤 기체인지, 누가 무슨 목적으로 띄웠는지, 주변에 어떤 영향을 줄 수 있는지. 작은 기체 하나를 바라보는 순간에도 여러 질문이 뒤따른다. 드론을 발견하는 것과 그 의미를 이해하는 것은 서로 구분되는 일이다.

이 책은 그 질문에서 출발한다.

드론을 이야기할 때는 비행거리와 속도, 카메라와 인공지능 같은 기술에 먼저 눈길이 간다. 그러나 기술의 이름과 성능을 아는 것만으로 드론전쟁을 이해하기는 어렵다. 사람이 맡는 일과 기계가 수행하는 일은 어떻게 나뉘는지, 여러 드론이 함께 움직인다는 것은 무엇을 뜻하는지, 어떤 조건에서 대응수단이 효과를 내고 어디에서 한계를 드러내는지까지 살펴야 한다.

그 과정에서 우리는 또 하나의 질문을 만나게 된다. 드론을 막는다는 것은 결국 무엇을 지키는 일인가?

이 책이 바라보는 대드론의 목적은 기체에 대응하는 데서 나아가 사람과 시설을 보호하고, 현장의 혼란을 줄이며, 필요한 기능이 멈추지 않도록 하는 데 있다. 피해가 발생한 뒤에도 안전을 확보하고 일상과 임무를 되찾는 과정까지 함께 살핀다. 방어를 이해하려면 무기뿐 아니라 그것을 운용하는

사람, 정보를 전달하는 체계, 시설을 관리하고 복구하는 조직도 보아야 한다.

『2030 대드론 트렌드』는 이러한 관점에서 열 가지 변화를 따라간다.

먼저 위협을 이해한다. 인공지능이 드론의 어떤 기능을 맡는지, 조종과 위치 파악에는 어떤 방식이 쓰이는지, FPV 드론과 다수 드론의 운용을 어떻게 구분해서 보아야 하는지 살펴본다. 비슷하게 들리는 이름 사이의 차이를 이해하는 것이 출발점이다.

다음으로 대응을 살핀다. 드론이 날아오기 전의 활동을 어디까지 검토할 수 있는지, 여러 감지장비가 얻은 정보를 어떻게 연결하는지, 전파방해와 물리적 요격, 레이저와 고출력 마이크로파는 각각 어떤 역할과 한계를 갖는지 다룬다. 어느 한 기술을 만능 해법으로 제시하기보다, 서로 다른 수단을 이해하는 데 필요한 질문을 정리한다.

마지막으로 방호와 회복, 지속적인 개량으로 시야를 넓힌다. 피해를 줄이기 위한 준비, 손상된 기능을 되살리는 과정, 현장의 경험을 다음 개선으로 이어가는 방법을 살핀다. 이를 통해 독자는 대드론을 개별 장비의 목록이 아니라, 서로 연결된 활동으로 바라볼 수 있을 것이다.

이 책은 드론과 군사기술을 처음 접하는 독자에게도 열려 있다. 낯선 용어를 먼저 외울 필요는 없다. 무엇을 하는 기술인지 이해한 뒤 그 이름을 만나도록 설명했고, 복잡한 관계는 그림과 표로 풀었다. 더 깊이 살펴보고 싶은 독자는

보충설명과 참고문헌을 따라갈 수 있다. 처음부터 차례로 읽어도 좋고, 관심 있는 질문에서 시작해 다른 장으로 이어가도 좋다.

드론을 찾는 일과 의도를 파악하는 일, 대응 장비의 작동과 위협의 감소, 설비 수리와 임무 재개는 각각 다른 단계다. 이 책은 관측·판단·대응·복구가 어떻게 연결되는지 살피고, 각 단계에서 확인된 결과를 바탕으로 방어 능력을 설명한다.

새로운 기술을 읽는 태도 역시 중요하다. 연구가 목표로 삼은 능력과 시험에서 확인한 결과, 기관이 발표한 계획과 실제로 이루어진 일을 구분해야 한다. 가능성을 이미 완성된 성능으로 받아들이거나, 제한된 사례를 모든 상황에 적용해서는 곤란하다. 본문에서는 주요 설명의 근거를 따라갈 수 있도록 출처를 연결하고, 확인된 내용과 저자의 해석·제안을 나누어 제시했다. 독자는 설명의 결론뿐 아니라 그 결론이 어디에서 나왔는지도 살펴볼 수 있다.

대한민국에 관한 논의도 같은 질문 위에 놓았다. 해외의 기술과 제도를 소개하는 데 그치지 않고, 우리 환경에서 무엇을 확인하고 검토해야 하는지 살핀다. 기술의 적용뿐 아니라 인력, 교육, 운영, 비용과 책임의 문제를 함께 다룬다. 저자의 제안은 논의를 위한 출발점이며, 그 타당성은 근거와 적용 조건을 통해 검토되어야 한다.

이 책이 독자에게 남기고 싶은 것은 각 기술을 검증하고 비교하는 판단 기준이다.

새로운 드론을 접했을 때 그 이름 너머의 기능을 묻고, 성능을 들었을 때 확인된 조건을 살피며, 대응을 논할 때 보호해야 할 사람과 일상을 함께 생각하는 시각이다.

책을 덮은 뒤 드론에 관한 소식이나 기술 설명을 이전보다 차분하고 구체적으로 읽을 수 있다면, 이 책은 독자의 판단에 필요한 기준을 제공할 것이다.

우리가 이해하려는 것은 드론의 변화이지만, 끝내 지키려는 것은 사람과 일상이다.

CONTENTS 01 / 07

목차

PART I 위협의 변화

발간사 · 서문

TREND 01 AI 가 바꾸는 드론전쟁의 패러다임.....17

1-1 AI 기반 자율기능의 개념과 수준 18

1-2 AI 항법·표적인식·추적·경로계획 19

1-3 판단기능의 기체 내부 이전 23

1-4 지속적 통신 의존도의 감소 25

1-5 공격 의사결정주기의 단축 26

1-6 기술적 한계와 AI 기만 가능성 27

1-7 대드론체계(C-UAS)에 미치는 영향 28

1-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 30

TREND 02 재밍 회피형·저방출 드론의 확산.....33

2-1 전자전 중심 C-UAS 의 기본전제 34

2-2 광섬유 FPV 드론의 원리와 확산 35

2-3 주파수 도약·중계·메시 통신 38

2-4 사전입력 경로·INS·영상기반 항법 39

2-5 저방출·비통신 드론의 탐지 문제 41

2-6 재밍 효과의 행동기반 평가 42

2-7 다중센서·물리적 무력화 전환 기준 43

2-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 45

CONTENTS 02 / 07

목차

TREND 03 FPV와 저비용 정밀타격의 대중화.....47

3-1 임시개조형에서 표준화된 전투체계로 48

3-2 저비용 이동표적 정밀타격 52

3-3 대량생산과 전장 소모품화 53

3-4 중계드론·모체를 활용한 작전반경 확대 54

3-5 AI 최종구간 추적과 야간운용 56

3-6 비용교환비와 부대 생존성 변화 57

3-7 C-UAS 대응 패러다임의 변화 58

3-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 59

TREND 04 군집·포화공격과 복합위협.....63

4-1 다수 동시공격·협조공격·자율군집의 구분 64

4-2 정찰·중계·기만·전자전·공격드론의 역할분담 66

4-3 다방향·다축 접근과 방어체계 포화 67

4-4 기만체와 공격드론의 혼합운용 68

4-5 지휘·중계노드와 분산형 협업구조 69

4-6 드론·미사일·포병·전자전·사이버 복합공격 70

4-7 잔여 군집의 임무 재분배와 대응체계 발전 72

4-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 74

CONTENTS 03 / 07

목차

PART II 대응작전의 변화

TREND 05 공세적 C-UAS 와 발사 전 차단.....79

5-1 생산·조립·저장시설과 공격생태계 식별 80

5-2 발진지와 출격 이전 위협의 평가 83

5-3 조종자·통제소·서버와 정보의 신뢰성 84

5-4 안테나·중계기·통신망과 전자전의 한계 85

5-5 부품·배터리·탄약 공급망과 비물리적 대응 87

5-6 전자전·사이버·화력·특수작전의 통합 평가 88

5-7 평시·위기·전시 권한과 국제법의 경계 89

5-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 92

TREND 06 센서융합과 AI 지휘통제.....95

6-1 드론 탐지센서의 종류와 특성 96

6-2 다중센서 정보의 융합과 신뢰성 98

6-3 통합항적 생성과 추적 오류 100

6-4 AI 기반 분류와 위협평가 101

6-5 AI 지휘통제체계와 인간의 판단 102

6-6 센서·대응체계 연동과 복구 103

6-7 현장 시험평가와 획득 판단 106

6-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 108

CONTENTS 04 / 07

목차

PART II 대응작전의 변화

TREND 07 다층방어와 대드론 무력화 수단 111

7-1 전파방해와 항법기만의 작용 112

7-2 그물과 요격드론을 이용한 포획 113

7-3 기관포·탄약·요격수단의 역할 115

7-4 고에너지 레이저의 원리와 국내 발전 117

7-5 고출력 마이크로파와 RF DEW 시험 120

7-6 대응수단의 효과·제약·지원조건 비교 122

7-7 다층방어의 운용과 시험평가 123

7-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 124

PART III 방호·회복·전력발전의 변화

TREND 08 소극적 방호와 임무 지속 129

8-1 위장·은폐와 관측 흔적의 관리 130

8-2 분산배치와 공통 취약점의 감소 132

8-3 지휘소·통신·데이터의 분리와 대체 운용 133

8-4 모의장비와 기만의 평가 134

8-5 차폐망·방호지붕과 구조물의 보호 기능 136

8-6 방폭·방화·파편방호와 임무의 지속 137

8-7 이동식 시설과 기능 재개 139

8-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 140

CONTENTS 05 / 07

목차

TREND 09 피해회복과 임무 지속.....143

9-1 드론 피해의 특성과 기능 중심 평가 144

9-2 피해 직후 현장안전과 잔여 위험 145

9-3 드론 잔해의 증거보존과 정보 분석 147

9-4 손상된 기능의 대체와 모듈형 복구 148

9-5 복구 인력과 현장 대응체계의 보호 150

9-6 예비자산과 임무 연속성 확보 150

9-7 반복 피해를 고려한 복구훈련과 결과평가 152

9-8 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 153

TREND 10 소프트웨어·데이터 중심의 지속개량 경쟁.....157

10-1 위협·잔해·교전 데이터 환류 158

10-2 AI 모델의 지속적 업데이트 159

10-3 MOSA·개방형 인터페이스 160

10-4 레드팀·디지털 트윈·실제 시험 161

10-5 신속획득과 반복적 성능개량 162

10-6 Cost-per-Kill 과 비용교환비 관리 163

10-7 공급망·대량생산·군수지원 164

10-8 격추 수보다 임무보호 성과 평가 165

10-9 대한민국 시사점 및 우선 실행과제 166

CONTENTS 06 / 07

목차

특별보고서 · 대한민국 10 대 실행과제

한국-1 국가 방호 목표와 총괄책임을 정해야 한다 170

한국-2 위협정보를 공통 기준으로 축적해야 한다 171

한국-3 상황별 권한과 합동 대응절차를 확정해야 한다 172

한국-4 센서와 지휘통제를 실제로 연동해야 한다 173

한국-5 다층 대응체계의 성능과 총비용을 함께 검증해야 한다 174

한국-6 중요시설의 방호 성능기준을 마련해야 한다 175

한국-7 복구능력을 방호평가와 예산에 포함해야 한다 176

한국-8 AI 의 책임과 변경 승인체계를 세워야 한다 177

한국-9 개방형 연결과 지속개량을 조달 조건에 반영해야 한다 178

한국-10 전문인력과 공급망을 지속 가능한 전력으로 만들어야 한다 179

CONTENTS 07 / 07

목차

책의 마무리 및 참고 자료

맺음말.....181

부록.....182

참고문헌..... 193

찾아보기..... 204

PART I. 위협의 변화

TREND 01 AI가 바꾸는 드론전쟁의 패러다임 17

TREND 02 재밍 회피형·저방출 드론의 확산 33

TREND 03 FPV와 저비용 정밀타격의 대중화 47

TREND 04 군집·포화공격과 복합위협 63

TREND 01 | CONTENTS

이 장에서 다루는 주제

AI 가 바꾸는 드론전쟁의 패러다임

01 AI 기반 자율기능의 개념과 수준

02 AI 항법·표적인식·추적·경로계획

03 판단기능의 기체 내부 이전

04 지속적 통신 의존도의 감소

05 공격 의사결정주기의 단축

06 기술적 한계와 AI 기만 가능성

07 대드론체계(C-UAS)에 미치는 영향

08 대한민국 시사점 및 우선 실행과제



⊕ TREND 01
AI 가 바꾸는 드론전쟁의 패러다임

AI는 드론의 어떤 기능을 맡으며, 사람은 무엇을 판단해야 할까?

인공지능(Artificial Intelligence, AI)이 드론의 비행과 정보처리에 참여하면서 사람이 직접 해야 하는 일도 달라지고 있다. 과거에는 조종자가 화면을 보며 기체의 움직임을 하나하나 조절하는 방식이 중심이었다면, 이제는 드론이 주변을 살피고 경로를 조정하거나 영상 속 물체를 따라가는 기능도 연구·활용되고 있다. 이 변화는 드론의 능력을 넓히지만, 동시에 사람이 무엇을 맡기고 어떤 결정을 직접 내려야 하는지 새롭게 묻게 한다.

이 장은 자율기능의 뜻에서 출발해 항법·영상 처리·통신·판단 속도를 살핀다. 이어서 기술의 한계를 검토하고, 이러한 변화가 대드론 방어와 대한민국의 준비에 어떤 과제를 남기는지 정리한다. 연구 단계에서 확인된 가능성과 실제 운용에서 입증된 능력은 구분하여 설명한다.

1-1. AI 기반 자율기능의 개념과 수준

드론이 정해진 경로를 따라 비행하거나 일정한 높이를 유지하는 기능은 이미 널리 사용된다. 미리 정한 명령에 따라 움직이는 것은 자동화에 가깝다. 반면 장애물을 발견하고 허용된 범위에서 경로를 바꾼다면 주변 상황에 맞춰 행동하는 자율기능을 사용하는 것이다. 두 기능은 한 기체에 함께 들어갈 수 있으며, 자율기능의 AI 활용 여부는 해당 기능의 구현 방식에 따라 달라진다.

자율기능의 수준은 드론이 어떤 일을 맡는지에 따라 평가해야 한다. 높이 유지, 장애물 회피, 영상 속 물체 인식과 추적, 임무계획은 요구하는 정보와 판단 범위가 다르다. 따라서 장비에 '자율형'이라는 이름이 붙었는지보다 실제로 수행하는 기능과 시험한 조건을 살펴야 한다.

운용자는 AI가 제시한 판단의 근거를 이해하고, 상황이 달라지면 기체의 행동을 제한하거나 중지할 수 있어야 한다. 통신이 불안정할 때에도 이런 개입이 가능한지가 중요하다. AI 기능을 설계할 때 승인 권한, 운용자의 개입 방법, 운용기록도 함께 정해야 한다.

드론은 영상 속 물체를 계속 추적할 수 있어도 그 물체의 소속과 의도까지 파악하려면 추가 정보가 필요하다. 비행을 돕는 기능과 무력 사용 판단을 나누어 설계하고, 무력 사용 여부는 해당 상황과 부여된 권한을 고려해 판단해야 한다.

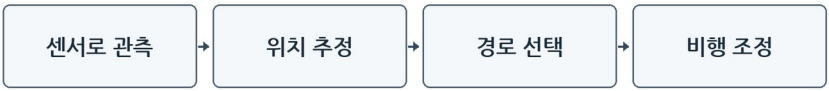
미국 국방부는 2023 년 1 월 25 일「무기체계의 자율성」지침(DoDD 3000.09)을 개정하면서, 자율·반자율 무기체계를 지휘관과 운용자가 무력 사용에 관한 적절한 수준의 판단을 내릴 수 있도록 설계하라고 요구했다. 개정 지침은 비무장 플랫폼 등을 적용 대상에서 제외했고, 하드웨어·소프트웨어 검증과 실제 운용환경을 반영한 시험평가, 교육·교리·전술 및 운용절차 마련을 규정했다.[3]

자율기능의 수준은 기체의 이름보다 실제 수행하는 기능과 사람이 개입할 수 있는 범위로 판단해야 한다. 다음 절에서는 항법·인식·추적·경로계획이 어떤 일을 맡고 서로 어떻게 연결되는지 살펴본다.

1-2. AI 항법·표적인식·추적·경로계획

드론이 목적지로 이동하려면 자신의 위치와 움직임을 파악하고, 주변 장애물을 살펴 이동할 길을 정해야 한다. 항법은 현재 위치를 추정하는 기술이고 경로계획은 다음에 어디로 갈지 정하는 기능이다. 카메라가 물체를 발견하고 분류하거나 그 움직임을 계속 따라가는 일은 인식과 추적에 해당한

다. 이 기능은 서로 영향을 주며 각각 다른 역할을 맡는다. 그림 1-1 은 이러한 기능이 비행 과정에서 어떻게 연결되는지 보여준다.



관측 결과가 다시 들어오면 위치와 경로를 갱신한다.

그림 1-1. 드론이 주변을 인식하고 위치와 이동경로를 판단하는 기능의 관계.

카메라에 물체가 잡히는 것은 탐지이고, 그 물체가 드론인지 새인지 구별하는 것은 분류다. 같은 물체의 움직임을 계속 따라가는 일은 추적이다. 드론으로 분류했더라도 누가 띄웠고 어떤 의도로 움직이는지는 추가 정보가 필요하다. 무력 사용 여부는 기술적 추적 결과뿐 아니라 상황과 적용 법규, 권한을 따로 검토해야 한다.[3][53]

표적을 처음부터 잘못 선택한 경우에는 추적 기술이 뛰어나도 문제가 생긴다. 카메라가 다른 물체를 목표로 잘못 분류한 뒤 그 물체를 끝까지 따라갈 수 있기 때문이다. 따라서 분류 결과의 정확성과 추적의 안정성은 서로 다른 기준으로 시험해야 한다. 이 문제는 기술의 성능뿐 아니라 사람이 결과를 확인하는 방식과도 연결된다.

미국 국방고등연구계획국(DARPA)은 2017 년 6 월 28 일 경량 자율비행(FLA) 사업의 1 단계 시험 결과를 공개했다. FLA(Fast Lightweight Autonomy)는 GPS 와 지속적인 원격조종에 대한 의존도를 줄이려는 연

구였다. 연구진 3 개 팀은 미국 플로리다 중부에서 나흘 동안 소형 드론을 시험했다. 카메라·센서·컴퓨터를 기체에 탑재하고, 비행 전에 찾을 대상과 대략적인 방향·거리를 입력했다.[16]

마지막 날의 임무는 숲과 밝은 주기장을 지나 어두운 격납고로 들어간 뒤, 장애물을 피해 붉은 통을 찾고 출발점으로 돌아오는 것이었다. DARPA 는 매일 오전·오후 시험에서 적어도 한 팀이 임무를 마치고 출발점이나 그 부근으로 복귀했다고 밝혔다. 경로를 잃어 안전조종자가 비상 무선주파수(Radio Frequency, RF) 연결로 착륙시킨 경우와 나무·격납고에 충돌한 경우도 있었다.[16]

이듬해 연구진은 미국 조지아주 페리의 Guardian Centers 모의도시에서 2 단계 시험을 실시했다. DARPA 가 2018 년 7 월 18 일 공개한 결과에는 좁은 창문으로 건물에 들어가 복도와 방을 탐색하고, 실내 3 차원 지도를 만들며, 계단을 따라 내려와 출입구로 나오는 비행이 포함됐다. 1 단계의 장애물 회피와 복귀 시험에서 건물 내부를 탐색하는 단계로 발전한 것이다.[124]

두 시험은 기체에 탑재한 센서와 컴퓨터가 주변을 관측하고 이동할 길을 정하는 과정을 실제 환경에서 보여줬다. 경로 이탈과 충돌은 복잡한 환경에서 비행을 안정적으로 이어가는 과제가 남았음을 보여준다. 대드론 방어에서도 기체의 자율비행 기능과 외부 조종신호에 대한 의존도를 함께 살펴야 한다.

DARPA 는 2018 년 11 월 19 일 협력작전(CODE) 사업의 시험 결과도 공개했다. CODE(Collaborative Operations in Denied Environment)는 애리조나주 유마시험장에서 3 주 동안 실물 무인기 최대 6 대와 가상 무인기 24 대를 함께 사용했다. 연구진은 통신과 GPS 를 제한한 모의 위협 환경에서 정보공유와 임무 배분을 시험했다. DARPA 는 통신이 약해지거나 끊긴 상황에서도 기체들이 부여된 임무 의도를 유지하며 협업했다고 밝혔다.[20]

군 현장에서는 드론의 기능 연구와 함께 조종·운용 훈련이 이루어진다. 사진 1-1 은 미 해병대의 Skydio X2D 조종기 운용 장면이다. 사진에서 확인되는 것은 조종기 사용 모습이며, 기체의 AI 성능은 기술자료와 시험 결과에서 다룬다.



사진 1-1. 미 해병대의 Skydio X2D 조종기 운용 훈련.[132]