

안티드론 시스템의 국방아키텍처 프레임워크 적용 연구

이동준^{1)*}, 권형안²⁾, 김지태²⁾, 정길현²⁾, 양상운³⁾

1) 한성대학교 국방과학대학원, 2) 보안설계평가협회, 3) 국가보안기술연구소

MND-AF application study for anti-drone system

Dong Joon Lee^{1)*}, Hyeong Ahn Kwon²⁾, Ji Tae Kim²⁾, Gil Hyun Jung²⁾, Sang Woon Yang³⁾

1) *The Graduate School of Defense System*, 2) *Security Design*, 3) *National Security Research*

Abstract : Recently, the rapid development of drones is increasing as a variety of threats to important facilities of the country. In order to build an anti-drone system that responds to drones with high technical characteristics, standardization is required in terms of operation, system, and technology. By applying the defense architecture framework, it contributes to the establishment of the optimal system by proposing a standardization plan for the operational and system perspectives of the anti-drone system by creating outputs equivalent to the stage of prior research on weapons systems. It is a prerequisite for building a drone system the operational concept of the anti-drone system, the definition of the drone threat, the function of each component, the interface, the definition of data flow, the system performance and effect scale, etc. Management, security officers, and equipment manufacturers of important national and public facilities on site expect that it will be used as an objective standard at the government level for the component technology of the equipment to respond to the drone threat and the performance required in the environment.

Key Words : Anti-drone system, MND-AF, Operational View, System View, Measure of Effectiveness

Received: October 15, 2021 / **Revised:** December 1, 2021 / **Accepted:** December 20, 2021

* 교신저자 : Dong Joon Lee/The Graduate School of Defense System, Hansung University/kopoleon@hansung.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

최근 드론의 급속한 발전은 국가의 중요시설에 대한 다양한 위협으로 증가하고 있다. 고도의 기술적 특성을 지닌 불법 위협 드론에 대응하는 안티드론 시스템을 구축하기 위해서는 운용, 체계, 기술 측면에서 표준화가 필요하다. 국방 아키텍처 프레임워크를 적용하여 무기체계 선행연구 단계에 준하는 산출물 작성으로 안티드론 시스템의 운용관점, 체계관점의 표준화 방안을 제안하여 최적의 시스템 구축에 기여한다.

4차 산업혁명 기술의 발전과 더불어 드론 산업이 급속하게 사회환경을 변화시키고 있으나 시설의 물리적 방호를 위해 다양한 수단을 강구하여 안전과 보안을 확보해야 하는 공항, 발전소, 유류저장시설 등 중요시설은 드론이 새로운 위협으로 나타나게 되었다.[1]

2018년 베네수엘라 대통령 취임식 공격, 2019년 사우디 정유시설 공격 등 드론을 이용한 테러 등 세계적으로 증가하는 드론 위협에 대비하여 국내에서도 2020년 인천공항의 드론 탐지시스템 구축사업을 진행하여 제한적이지만 안티드론 시스템을 구축하고 있으며, 2021년부터 5년간 과기부는 불법드론 지능형 대응 기술 사업을 착수하는 등 대응체계에 대해서도 계속 보완하고 있다.[2]

그러나 드론의 기술과 이에 대응하는 탐지, 식별, 무력화 기술의 급속하고 다양한 발전으로 각 시설로서는 장비의 배치 위치, 수량, 장비별 성능 등을 결정하기 어렵다. 종합적인 드론 대응 개념과 절차의 정립 부족으로 업체별로 다양한 장비 개발 및 제작이 되고 있어서 도입하여 설치 및 운용을 해야하는 각 시설로서는 성능 발휘 여부의 확인, 향후 유지관리 소요 판단 등에 대해 어려움을 느끼고 있는 실정이다.

본 연구는 이에 대한 선결과제로 인식하고 있는 표준화 방안을 운용분야, 체계분야에 대하여 체계공학 절차를 국방 분야에서 활용하고 있는 국방아키텍처 프레임워크의 산출물 작성을 통해 연구한다.

운용관점, 체계관점 위주로 체계 획득의 선행연구 단계에 산출기준으로 작성하는 9개의 산출물 작성을 권고하고 있다. 본 연구는 이미 상용화하고 있는 장비를 활용하는 측면을 고려하였다. 대응개념과 전반적인 표준화를 제시하는 차원에서 산출물을 조정하였다.

2. 안티드론 시스템

2.1 드론의 위협

공항시설은 조류 퇴치시스템을 별도로 운용할 정도로 모든 드론의 접근이 위협이 되고 있고, 유류저장시설은 2020년 경기도 고양시의 저유소 화재 사례처럼 드론의 인화성 물질로 대형화재가 발생하기도 한다. 설계기준위협(DBT, Design basis Threat)은 시설 자체적으로 정의하기도 하고, 국가 중요(보안)시설의 경우에 정부의 소관 사항으로 원자력 발전시설의 경우에는 설계기준위협이 법령으로 제도화되어 위협의 요인과 발생 가능성, 결과를 설정하여 드론 위협을 정의하고 있다.[3]

즉, 어떠한 드론이 위협적인가는 보호할 자산의 특성에 따라 상이하며, 드론은 크기, 속도, 고도 (high or low), 수량, 형태(고정익 또는 회전익), 비행 방법(type of navigation, 자율비행 또는 원격조종), 탐지 레이더 표적으로서의 크기(RCS) 등 기준에 따라 다양하게 분류될 수 있다.[4]

또한 위협 드론에 대응하기 위해서는 드론의 특성과 제원 등의 물리적 능력뿐만 아니라 드론을 운용하는 운용자의 의도를 식별하여야 한다.

드론은 탑재장비로 1차적인 의도가 파악되는데 무선 조종기술, 소형 카메라 기술의 발전으로 감시(Reconnaissance), 정찰(Surveillance) 및 관제(Monitoring) 등의 목적을 가지기도 하고 항속거리, 속도, 이륙중량 등 획기적인 성능 개선으로 최근에는 공격용(Attack)으로 시설에 대한 파괴, 특정 인원에 대한 표적 살상도 가능한 수준으로 발전하고 있다.

2.2 안티드론 시스템 구축 방향

드론의 위협에 대한 방호 시스템은 드론 위협의 구체적인 정의, 드론 대응 목표와 드론 침입으로부터 감수할 수 있는 결과를 정립하여 드론 위협이 발생할 경우 신속한 탐지와 핵심공역 침범시 대응할 단계별 목표를 달성하도록 체계적인 설계 및 구축이 필요하다

그러나 드론 기술이 다양하게 발전하고 있으며 이에 대응하는 안티드론의 기술적 접근방법도 다양하여 안티드론 시스템을 구축하고자 하는 시설로서는 안티드론 시스템의 구체적 운용과 체계에 대한 표준화가 요구되고 있다.

또한 전파법, 항공안전법 등 관련 법규, 국가 차원의 공중공간관리 및 군(軍)의 방공작전체계, 기존의 물리보안 시스템, 경찰 등 지원역량 등을 고려하여, 법적, 제도적, 절차적, 가용 자산과 역량이 조화를 이룰 수 있도록 통합적으로 구축하여 운용해야 한다.

3. 국방아키텍처 프레임워크(MND-AF)

3.1 국방아키텍처 프레임워크의 개념

MND-AF는 미 국방부의 DoD AF를 벤치마킹하여 한국 국방부가 무기체계 획득과정에서 체계적으로 운용개념을 정립하고 무기체계의 아키텍처를 단계별로 구체화하는 산출물 기반 프레임워크이다.[5]

차승훈(2020)은 운용자, 획득자, 개발자 간의 원활한 의사소통을 위하여 운용개념기술서와 운용요구서 작성의 보완방법으로 MND-AF의 활용을 제안하였다.[6] 본 연구는 MND-AF를 활용하여 운용자와 획득자가 운용과 체계관점에서의 개념정립을 위하여 안티드론 시스템의 프레임워크를 연구한다.

안티드론 시스템은 드론을 중요시설의 안전을 위협하는 표적으로 간주하고 이에 대한 대응시스템을 가동하여 지휘통제절차와 체계 운용을 통해 가용능력 범위내 작전목표를 달성하는 것으로 대공방어를

위한 무기체계와 유사하다. 따라서 안티드론 시스템을 국방 무기체계 프레임워크로 준용하여 필요한 부분만 적용하는 커스마이징, 불필요한 절차는 조정하는 테일러링을 통해 최적의 안티드론 시스템 프레임워크를 수립할 수 있다.

MND-AF는 단계별 분야별 구체적인 산출물을 정립하고 있으므로 안티드론 시스템 구축시에도 적용이 확장될 수 있는 방법론이다.

공통 뷰는 아키텍처의 범위와 원칙, 개요 또는 공통 내용을 포함하고 운용 뷰는 운용노드, 수행되어야 할 작업 또는 활동과 임무를 달성하기 위해 교환되어야 하는 정보를 수집 및 축적하는 내용을 포함한다. 그리고 정보 교환의 유형, 빈도수, 정보교환이 지원하는 업무와 활동, 정보 교환의 성격을 표현하는 것이 중요요소이다.

체계 및 서비스 뷰는 운용활동을 지원하는 체계, 서비스 및 이들과의 상호연결성을 표현하며, 체계기능, 서비스자원과 구성요소는 운용 뷰의 아키텍처 산출물에 연결되어야 한다.

기술표준 뷰는 체계의 부품이나 구성요소의 배치, 상호작용, 상호의존성을 관리하는 최소한의 규칙으로 구성된다.

국방부는 소요기획단계에서는 무기체계의 필요성, 운용개념, 작전운용성능 개발에 중점을 두고 있어 OV-1(운용개념도), SV-1(체계/서비스 인터페이스 기술서), SV-4a(체계기능기술서)를 일반문서로 작성한다.

선행연구 및 탐색개발 단계에서는 구체적인 운용개념, 요구사항 분석, 체계 설계, 시험개발에 활용되는데 일반적으로 다음 표 1과 같이 9개 산출물을 작성한다.[7]

<Table 1> Pre-Study/Concept Development Phase Output(9)

| AV | | OV | | | | SV | | |
|----|---|----|---|---|---|----|----|---|
| 1 | 2 | 1 | 4 | 5 | 7 | 1 | 4a | 6 |
| ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

3.2 적용방안

상호운용성 차원(데이터 교환, 네트워크)이 강화된 MND-AF 1.5버전(2019)과 1.2버전(2007)의 산출물 작성방법을 참조하여 운용 및 체계 관점 산출물을 작성하였다. 안티드론 시스템을 구성하는 단위체계를 고려하여 작성하되, 운용 및 체계 정의에 필수사항으로 식별된 사항은 양식에 관계없이 기술하고자 하여 표 2와 같이 범위를 조정하였다.

<Table 2> Anti-Drone System MND-AF Output(11)

| AV | | OV | | | | | SV | | | | |
|----|---|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 1 | | 4 | 6 | 7 |
| | | | | | | | a | b | | | |
| ● | ● | ● | * | ● | ● | ● | ● | ● | ● | * | ● |

국방부의 선행연구 및 탐색개발 단계는 운용개념을 구체화하고 무기체계의 설계를 구체화하는 과정인데 본 연구는 현재 안티드론 시스템이 단위체계별 조합형태로 시설별로 구축되고 있으므로 종합적인 프레임워크 정립 차원에서 운용관점과 체계관점의 산출물에 대해서만 제시하였다.

표 2의 *는 추가 및 조정한 내용으로 다음과 같다. 운용뷰(OV)에서는 현재 기 개발 또는 개발이 예상되는 장비 시스템을 대상으로 하고 있고 드론의 위협이나 장비의 발전을 통해 운용개념도 향후 지속

적인 개념발전이 필요하므로 현재 상용화된 장비를 고려하여 OV-1을 구체화한 OV-2 (운용노드 연결 기술서)를 추가하였다.

체계뷰(SV)에서 SV-1(체계관계도)는 개념적이지만 현재 상용 장비가 있으므로 SV-1a(체계정의 기술서), SV-1b(체계인터페이스 기술서)로 구체화하였다.

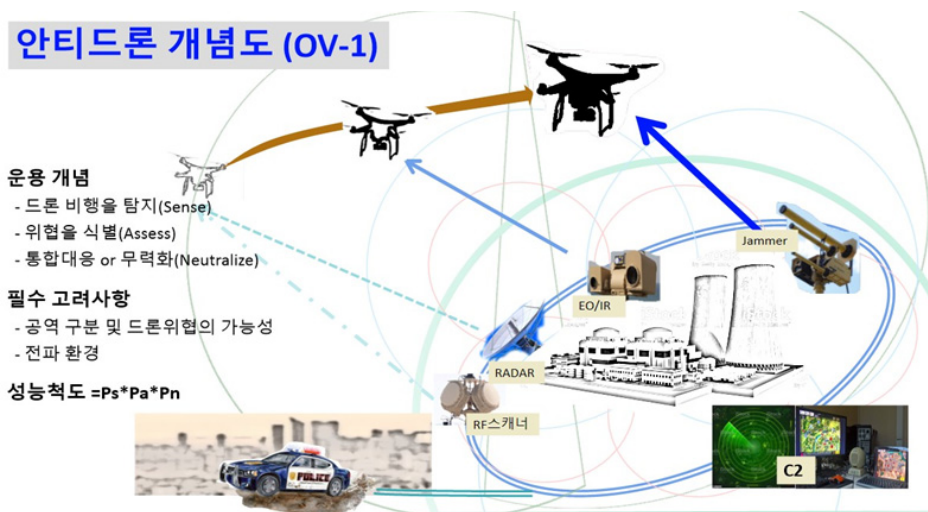
그리고 SV-6(체계데이터 교환목록)은 탐지, 식별, 대응장비별로 기술적 특성이 다양하여 특정 장비일 경우 가능한 부분이 있어 생략하였고 시설별 주요 관심사항인 시험평가를 고려한 SV-7(체계 성능요소목록)을 체계성능척도 관점에서 추가하여 정리하였다.

4. 운용 관점(Operational View)

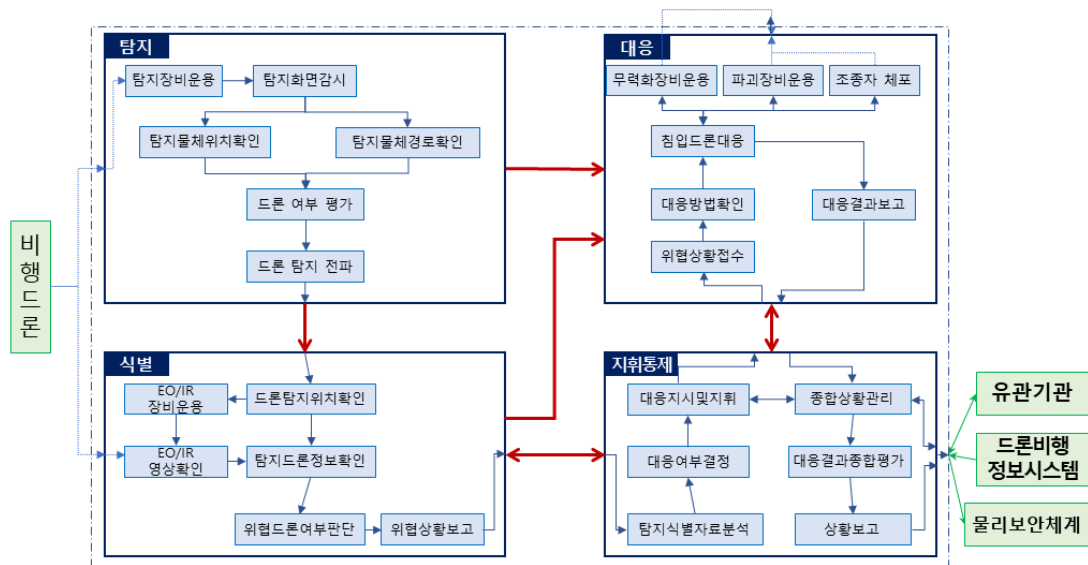
4.1 운용개념도(OV-1)

운용개념도 그림 1은 임무수행, 핵심운용노드(조직), 운용능력(특수작전, 예외적인 업무절차, 불특정한 현상) 등에 대한 총체적인 모습을 표현한 산출물과 계획자 시각에서 기관의 업무와 관련조직 관련 응용서비스를 정의하는 산출물이다.

대응절차별로“탐지”-“식별”-“지휘통제”- “대응”의 4단계로 운용개념을 단계화하였다. 각각의 단위



[Figure 1] Operation concept diagram (OV-1)



[Figure 2] Operation node connection document (OV-2)

시스템 운용은 경계공역 접근 이전에 드론을 탐지 (Detection)하고, 핵심공역 접근 이전에 위협 의도와 위협성을 식별(Assessment)하며, 군·경 등 유관기관과 협조된 대응태세를 유지하여 위협 드론이 핵심공역 접근 이전에 지휘통제(Command & Control)를 통하여 필요시 파괴, 무력화(Neutralizing) 또는 조종자 체포 등 다양하고 협조된 방법으로 신속히 대응한다.

이러한 안티드론 대응 개념을 적용시 필수 고려 사항은 우선 공중공간의 법적 성격(드론비행 금지 구역, 군의 방공작전 공역 등)을 확인하고, 드론 위협에 따른 리스크를 평가하여 어떠한 수준과 방법으로 드론 위협에 대응할 것인지 대응 정책을 결정해야 하며, 드론 대응체계에 다양한 전파 솔루션이 활용되는 바 이에 영향을 주는 지형지물, 고압선, 공사장 등 안티드론 환경을 반영해야 한다.

4.2 운용노드 연결기술서 (OV-2)

운용노드 연결기술서 그림 2는 상호작용하는 운용노드(또는 조직)와 그들이 교환하는 정보 형태의 식별을 통해 기술되고, 운용노드와 운용노드 사이의 관계를 그림으로 묘사한 산출물이다.

운용노드는 임무 및 업무 중심으로 탐지, 식별, 지

휘통제, 대응 등 4개의 정의 및 식별하고, 운용노드에서 수행되는 활동과 노드간의 정보 교환 소요를 추적한다.

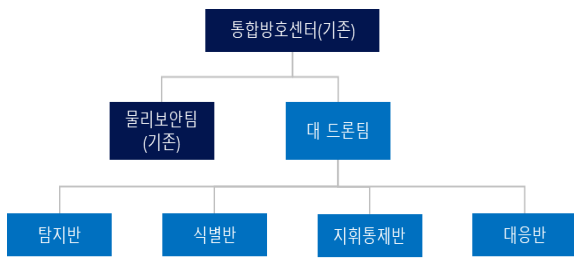
이는 드론 대응 시나리오에 의해 구성된 운용노드간의 교환되는 정보를 손쉽게 추적하게 하고 아키텍처 개발을 위한 목적과 목표, 임무수행에 대한 기준점을 제공한다.

현행 또는 미래 업무에 대한 정의를 바탕으로 임무 또는 정보의 중복 그리고 불필요한 임무요구 등을 식별하였고 특히 외부노드로 유관기관, 드론 비행 정보시스템, 기존 물리보안체계를 식별하였다.

4.3 조직관계도 (OV-4)

조직관계도는 지휘/명령구조를 표현하거나, 또는 업무프로세스 흐름에 대한 관계와는 대조적으로 아키텍처 상에서 핵심이 되는 담당자 역할, 조직 또는 조직유형들 사이의 관계를 정의한 산출물이다.

조직이나 조직 유형들 간의 관계(지휘, 통제, 협조 등), 업무범위, 정보체계 배치를 위한 대상, 업무 담당자 역할 및 관계를 식별한다.



[Figure 3] Organizational Chart(OV-4)

드론 대응조직에서 주요 이해관계자를 도출하면 내부조직과 외부조직으로 분류되며, 그림 3의 조직 관계도에서 내부조직을 도식화하였으며 드론 대응 단계별로 담당할 탐지반, 식별반, 지휘통제반 그리고 대응반으로 구성되며, 외부조직은 안티드론 시스

<Table 3> Work Organization

| 명칭 | 주요 임무 및 과업 | 수행 조직 |
|----------|---|-------|
| 탐지 체계 | <ul style="list-style-type: none"> * 관할 군·경과 협력체계 유지(드론 비행 인가 내역, 불법비행 정보 등) * 관심지역 내 드론 비행 감지 (sensing) * 드론 정보의 실시간 전파 및 추적태세 유지(방향, 거리, 고도, 형태, 식별번호 등) | 탐지반 |
| 식별 체계 | <ul style="list-style-type: none"> * EO/IR 등 자체 식별수단으로 탐지된 비행정보를 위협성 평가가 가능한 수준으로 확인 (드론형태, 비행경로, 비행방법, 무장수준 등) * 위협드론 비행정보를 전자적 실시간 공유(식별체계↔탐지체계, C2, 관할 군·경 등) | 식별반 |
| 지휘 통제 체계 | <ul style="list-style-type: none"> * 드론 방호 Zone 탐지 & 경보체계 유지 * 드론 방호시스템의 통신 체계 유지 * 비인가된 비행 여부를 비행정보시스템 또는 드론교통관제시스템으로 확인 * 위협 드론과 통신 * 대응 수단 및 방법 결정 * 드론의 위협성 및 대응 선포(명령) * 지휘통제소↔대응체계 간 실시간 정보 공유 | 지휘통제반 |
| 대응 체계 | <ul style="list-style-type: none"> * 위협 드론 대응체계의 가동 * 대응수단과 방법의 시행(파괴, 포획, 무력화) * 조종자 체포 (자체 역량 또는 군·경과 협력) | 대응반 |

템과의 협업체계를 가져야하는 기존의 물리보안체계와 관할 경찰서, 관할 군부대로 나누어진다.

여기서 조직은 조직의 실제명칭으로 별도의 독립된 조직을 구성해야한다는 것은 아니다. 본 연구는 안티드론 시스템의 표준화 연구로서 전체적인 일관성과 논리적 구조를 가진다. 따라서 여기서 조직이란 이러한 기능을 가지는 조직이 필요하다는 의미이다.

따라서 해당 시설이 안티드론 시스템을 구축하여 이를 운용하는 조직을 구성하게되면 안티드론팀으로의 기능을 수행하는 조직이 필요한 데 현실적으로 별도 조직이 아니라 현재의 조직에서 검직을 수행하거나 업무의 범위를 벗어나면 새로운 인원이 추가되어야 할 것이다.

조직관계도는 이러한 의미의 표준화로서 누락과 중복없이 조직 편성이 이루어지고 임무가 부여되어야 할 것이다. 이들이 수행해야 할 임무 및 과업은 표 3에서 구체적으로 명시하였다.

4.4 운용활동모델 (OV-5)

운용활동모델 그림 4는 조직이나 개인에게 할당된 임무나 업무목표를 달성하기 위해 표준적으로 수행해야 하는 운용활동, 업무활동을 기술하는 산출물이다.

임무 및 업무목표의 달성을 위해 필요한 활동과 활동에 요구되는 정보, 활동과 연관된 운용노드간의 식별한다.

4.4.1 탐지(Detect)

드론 방호공역에 접근하는 드론을 감지하여, 관계기관(드론비행정보시스템, 드론 교통 관제시스템(UTM), 군·경 등)과의 협조로 인가된 비행인지의 여부를 확인한다.

비인가 드론으로 판단된 경우에 드론의 고도, 방향, 속도, 형태 및 크기 등 관련 정보를 식별/지휘통제/대응 체계에 전파하는 동시에, 계속 추적한다.

4.4.2 식별(Assessment)

식별은 탐지 결과의 필수적인 판단과정으로, 그 결과로써 대응 방법을 결정한다. 드론 탐지시스템이 접근하는 비인가 드론의 방향과 위치를 특정하였다고 하더라도, 이 드론이 보호할 자산과 가치를 위협할 의도와 능력을 가지고 있다고 판단할 수 있는 시스템이 뒷받침되지 않으면 잘못된 대응조치로 인한 책임과 보상 문제에 직면할 가능성이 높다.

한편 위협 드론은 매우 빠른 속도로 접근할 수 있기 때문에 식별 체계는 짧은 시간 안에 정확하게 작동되어야하므로 자체의 식별체계는 물론 관계기관과 실시간 정보를 공유할 수 있어야 하며, 보호할 자산의 민감성에 따라 판단의 기준과 절차, 판단권자가 다를 수 있음에 유의해야 한다.

드론 방호시스템의 통신 체계는 식별 역량의 유용한 기반이다. 드론 방호시스템과 드론 간(예, 드론이 피아식별 통신체계를 내장하고 있을 경우 자신의 ID와 승인된 드론의 비행임을 전자적인 교신으로 알림), 드론 방호시스템과 드론 비행정보 시스템(국토교통부 2019년 10월 17일 보도자료) 또는 드론교통관제시스템(UTM)간의 실시간 통신을 통해, 탐지된 드론이 승인된 비행인지 아니면 미승인된 비

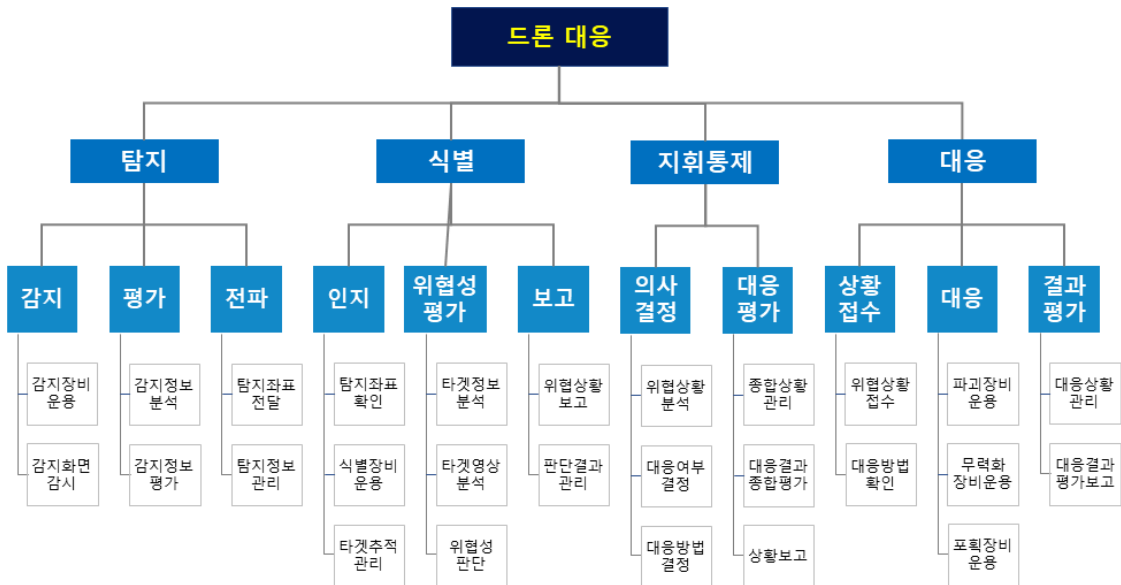
행인지를 구분해야 하며, 범 국가적 기술/제도/절차적 체계와 병행 발전시켜야 한다.

미국, 중국 등 드론 선진국에서는 이와 관련된 상업적인 서비스가 이미 제공되고 있고, 한국의 경우도 2019년도 말 드론 비행정보시스템의 구축계획이 발표된 바 있어 국내에서도 빠르게 현실적인 환경이 조성될 것으로 예측되어 관련 시스템을 검증하여 도입을 준비할 필요가 있다.

4.4.3 지휘통제(Command & Control)

안티드론 시스템에 있어서 “지휘통제”는 핵심 기능이다. 드론의 이동속도와 식별기능의 한계를 감안한다면, 매우 짧은 실시간대에 오차 없이 대응 시스템을 작동시켜야 하기 때문이다.

이를 위해 관심-주의-경계-심각(핵심) 공역을 선정하고, 비행정보시스템과 군·경 등 지원기관 간의 통신기반 구축, 자체 탐지-식별-대응체계와 연동 시스템 구축, 위협 형태별 대응매뉴얼 준비 및 훈련, 대응방안을 적시에 결정하고 조치할 수 있는 지휘통제소 역량 강화 등이 선결되어야 한다.



[Figure 4] Operational Activity Model(OV-5)

4.4.4 대응(Response)

위협 드론으로 선포되어 적시에 파괴, 무력화, 드론 조정자의 추적 및 체포, 드론 제어권한 확보 또는 안전구역으로 유도 등 다양한 시스템을 구축하고, 대응역량을 강화하기 위한 직무훈련, 유관기관 통합훈련 등이 제도화되어야 한다.

위협 드론 조정자의 추적과 체포를 위해서는 평시 지형 분석 및 경찰 등 유관기관과의 협조된 노력이 전제되어야 하며, 재머(Jammer) 등을 활용한 드론의 무력화는 전파법 등 관련 법령의 요건 내에서 솔루션의 사용을 위한 절차, 사용 시기와 방법의 구체적인 검토가 선행되어야 한다.

5. 체계 관점(System View)

5.1 체계정의 기술서(SV-1a)

체계정의 기술서는 운용관점에서 식별된 조직이나 개인의 임무와 역할, 역량과 능력을 체계관점에서의 기능적 요구사항으로 전환한 산출물이다.



[Figure 5] System Definition Statement (SV-1a)

체계의 전체적인 구조와 구성에 대한 이해와 SV-1a 그림 5 체계정의 기술서는 체계노드에 존재하는 체계 및 기능을 식별하고 논리적인 체계식별을 통해 향후 아키텍처 수행에 필요한 기본 요건들을 식별한다.

안티드론 시스템은 5개의 사용자 그룹이 포함된 사용자, 4개의 조직으로 구성된 조직, 4개의 도메인으로 구성된 체계라고 정의할 수 있다. 사용자 그룹은 4개 그룹의 내부사용자와 3가지 종류의 외부사

용자로 구성된다. 조직에는 탐지반, 식별반, 지휘통제반, 대응반으로 명명한 팀조직으로 구성된다. 4개의 도메인중 탐지도메인에는 레이더체계와 RF 체계, 식별도메인에는 EO체계와 IR체계, 지휘통제도메인에는 상황판단체계와 의사결정체계, 대응도메인에는 파괴체계, 무력화체계, 조종자 체포체계로 구분할 수 있다.

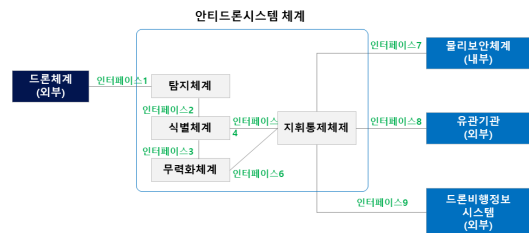
5.2 체계 인터페이스기술서 (SV-1b)

체계인터페이스 기술서는 OV-2의 운용노드에 상응하는 체계노드와 체계를 식별하고 체계노드간의 인터페이스, 체계간 인터페이스, 체계노드내의 체계간 인터페이스를 기술하는 산출물이다.

다음과 같이 체계노드간 인터페이스와 내부 인터페이스를 식별하였다.

5.2.1 체계노드간 인터페이스

체계 노드간 인터페이스는 그림 6과 같이 도식할 수 있다. 안티드론 시스템 체계노드는 외부의 드론 체계노드와 인터페이스 1로 연결되고, 물리보안 체계노드와는 인터페이스 7, 유관기관 노드와는 인터페이스 8, 드론비행 정보시스템과는 인터페이스 9로 연동한다.



[Figure 6] Interface between System Nodes

체계간 인터페이스에서 주의할 점은 탐지시스템과 식별시스템간의 인터페이스는 생성체계와 소비체계관점에서 양방향의 인터페이스가 존재하는 것으로 정의하였다. 외부 드론체계는 레이더체계와 RF체계를 통해 탐지되는 구조를 가지고 있으며, 대응체계는 대응조치와 결과를 데이터 저장소에 저장할 수 있도록 데이터 저장소 인터페이스를 가지고

있다. 드론비행 정보시스템과의 인터페이스는 드론 기체, 조종자, 비행 정보를 받기 위한 인터페이스이고, 외부기관과의 인터페이스는 드론 출현 정보를 공유하거나 드론 위협상황에 대한 공유를 통해 외부 기관의 대응조치 지원을 받기 위한 인터페이스이다. 물리적방호 시스템은 안티드론 대응상황을 중앙지휘통제 시스템에 보고하거나, 의사결정이나 기존 물리적방호 시스템요소로부터 도움을 받기 위한 인터페이스이다.

5.2.2 체계노드 내부 인터페이스

체계간 인터페이스는 탐지시스템 체계노드의 레이더체계는 식별시스템 EO체계와 IR체계에 각각 인터페이스가 있고, RF체계도 동일하다. 식별시스템 EO체계와 IR체계는 대응시스템의 3가지 체계(과파체계, 무력화체계, 조종자 체포체계)와 각각 인터페이스를 가지고 있다. 지휘통제 체계노드내의 상황판단체계는 식별시스템 체계노드내 2가지 체계와 의사결정체계는 대응시스템 체계노드내 3가지 체계와 연동된다.

안티드론 시스템의 체계와 기능을 포함한 상세 인터페이스는 그림 7과 같이 기술할 수 있다.

탐지시스템 체계노드에는 레이더체계와 RF체계

로 구성되어 있고, 식별시스템 체계노드는 EO체계와 IR체계, 지휘통제시스템 체계노드는 상황판단체계와 의사결정체계, 대응시스템 체계노드는 과파체계, 무력화체계, 조종자 체포체제로 구성된다. 각 체계내 기능은 체계내 네모상자안에 표시된 기능을 수행하도록 표시하는 데, 예를 들면 의사결정체계의 기능은 대응방법 결정기능, 대응수단 결정기능, 지휘통제기능으로 구분할 수 있다는 점을 도식으로 표현하고 있다.

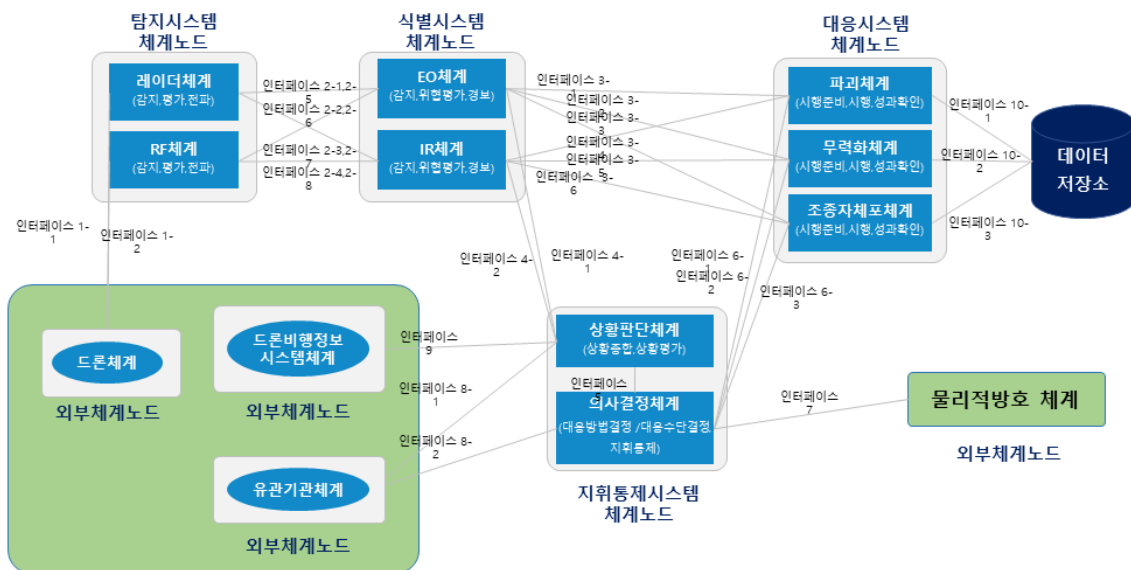
5.3 체계기능 기술서(SV-4)

체계의 기능을 정의하고, 그 기능을 계층화시켜서 체계 기능 간 데이터 흐름을 표현하고 프로그램목록을 식별하는 산출물이다.

각 체계에 의해 요구된 필요 정보(데이터 흐름)를 명백하게 설명하고 체계기능간 연결에 대한 완전성 확인하며 체계기능 분할에 대한 적절성 및 상세화 수준 확인한다. 체계의 요구 기능을 만족하는 프로그램 및 모듈(컴포넌트) 포트폴리오 정의하고 시스템 개발비용 산정을 위한 기반자료로 활용한다.

5.3.1 체계기능 분할도

안티드론 시스템 체계는 4개의 체계로 나누어지



[Figure 7] System Node Internal Interface



[Figure 8] Division of System Functions

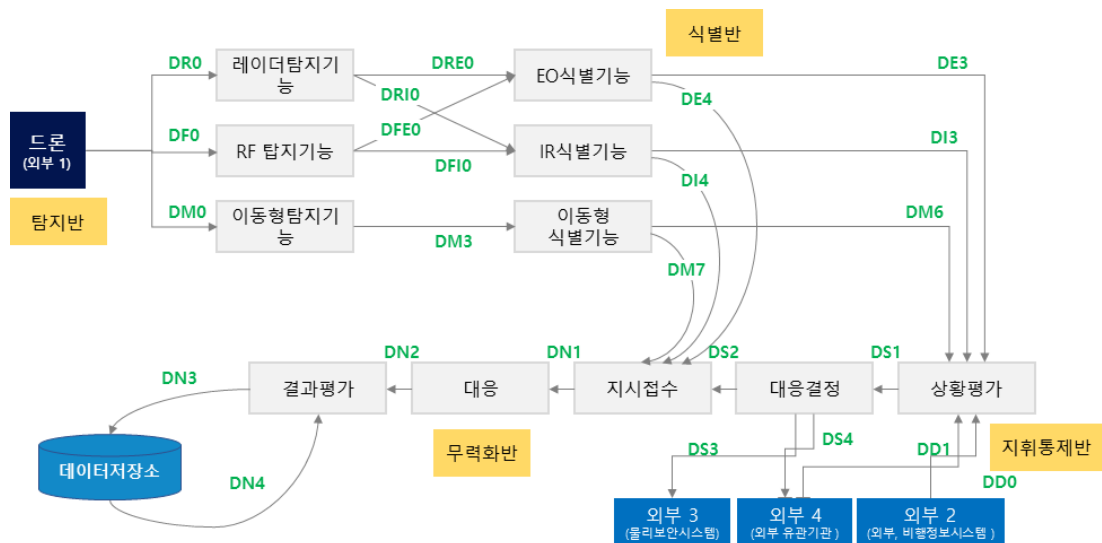
고 있다. 그림 8은 체계 기능 분할도이다. 탐지체계는 레이더 체계와 RF 체계로 구분하고 각각의 체계 기능은 감지기능, 평가기능, 전파기능으로 구성된다. 식별체계는 EO체계와 IR체계로 구분하고, 각각의 체계기능은 감지기능, 위협평가기능, 경보기능으로 구성된다. 지휘통제체계에는 상황을 종합하는 기능과 상황을 평가하는 두가지 기능으로 구성된 상황판단 체계가 포함된다. 그리고, 상황판단의 결과로 대응방법을 결정하는 기능, 대응수단을 결정하는 기능, 대응결정을 지휘통제하는 기능으로 구성된 의사결정체계가 있다. 대응체계에는 파괴체계와 무력화체계, 그리고 조종자 체포체계가 있는데, 파괴체계

와 무력화체계는 각각 시행준비기능, 시행기능, 성과확인기능을 수행한다. 그리고 조종자 체포체계에는 추적정보 공유기능과 시행기능, 성과확인기능이 포함된다.

5.3.2 데이터 흐름도

그림 9의 데이터 흐름도는 체계기능, 외부소스 및 목적지, 데이터 저장소간의 데이터 흐름을 기술하는 산출물이다.

데이터 흐름의 시작은 외부의 드론의 침입에서 시작된다. 드론 또는 드론 위협 시그니처는 레이더 감지 또는 RF 감지기능을 통해 경보데이터로 바뀌



[Figure 9] Data Flow Chart

어 탐지장비의 전파기능을 통해 식별장비로 전달되게 된다. 이때 어떤 종류의 데이터를 어떤 형식으로 얼마나 빨리 전달할 것인지는 탐지장비와 식별장비의 인터페이스를 통해 결정되게 된다.

식별장비의 감지기능을 통해 드론 또는 드론 위협의 식별내용은 식별결과를 포함하는 데이터 내용, 형식, 실시간성을 반영한 형태로 지휘통제체계로 전달되거나 아니면 특정 무력화체계로 데이터가 전달되게 된다.

지휘통제체계로 전달된 식별데이터는 상황판단체계의 상황종합 및 평가기능을 통해 위협내용에 대한 종합적인 판단을 내리게 된다. 이어서 대응방법과 수단이 결정되면 구체적인 대응체계를 실행시킬 수 있는 지휘통제를 하게 되는 의사결정체계를 거치게 되어 지휘통제 데이터가 만들어지고, 결정된 대응수단을 구체적으로 실행할 수 있도록 전달된다.

대응체계 각각은 수령한 지휘통제 데이터를 접수하고, 대응 수령을 준비하여 실행한 후 대응결과 데이터를 생성하여 데이터 저장소에 기록한다. 저장된 각각의 대응결과 데이터는 이후 대응건 사후 보고, 대응 상황 추적 및 증빙, 대응 내용 종합 및 평가, 대응 상황 분석 및 개선사항 도출 등으로 활용할 수 있도록 한다.

5.4 체계성능 목록

SV-7 체계성능요소목록(System Performance Parameters Matrix)은 체계 및 체계를 구성하고 있는 기반구조의 현재 성능 특성과 미래의 특정시점에서 기대되거나 또는 요구되는 성능 특성을 기술한 산출물이다.

이는 체계에 할당된 임무목표를 충족하기 위하여 어떤 성능 특성이 가장 핵심적인지를 식별하며 식별된 성능 특성은 획득 및 배치 결정에 결정적인 요소로 사용될 수도 있으며, 획득결정절차와 체계설계 상세화를 위한 체계분석과 시뮬레이션에 사용된다.

안티드론 시스템은 공항, 원자력발전소, 유류저장 시설, 기타 중요시설에서의 위협의 정의, 환경과 대응개념이 다르기 때문에 정량적 요구성능이 다르다.

본 연구에서는 해당 체계의 정량적 요구성능을 정의하지않고 체계평가척도와 구성시스템의 체계성능척도를 제시하여 시설별 환경 및 요구조건에 기초한 요구분석 및 설계, 개발 및 통합, 운용시험평가 등의 검토시 체계분석과 시뮬레이션에 활용하도록 한다.

5.4.1 안티드론 시스템 체계 평가척도

안티드론 시스템은 다수의 체계가 연결되어 드론 위협에 대처하는 시스템이기 때문에 단위 시스템의 성과만으로 전체 시스템의 성능이라고 평가할 수 없으므로 통합시스템 수준에서 종합적으로 평가할 수 있는 성능지표가 필요하다.

안티드론 시스템 전체에 대한 종합성능지표는 기본 성능, 성능 저하, 취약성 평가지표 3가지로 구분할 수 있다. 기본 성능 평가지표는 실제 시험을 통한 평가를 통해 실시하는 것이 일반적이며, 특별한 예외 상황시 성능저하를 평가할 수 있는 성능 저하 평가지표, M&S 등을 통한 종합적인 취약성 평가지표가 있다. 표 4는 미 샌디아 연구소의 연구결과를 참조하여 3가지 평가지표의 사례로 작성한 것이다.[8]

<Table 4> Anti-Drone System System Evaluation (Example)

| 구분 | 내용 | 측정방법 및 단위 | 비고 |
|-------|-------------------------------|---|---|
| 기본 성능 | 탐지확률 00% (00% CL) | 00회 시험에 00번 탐지 성공 (탐지확률 = 감지확률 * 식별확률 * 전송시간) | 전송시간은 0으로 간주. 00회 이상은 비용부담 |
| 기능 저하 | Drone 종류, 속도, 고도, 방향에 따른 기능저하 | 종류(초소형/Stealth/자율) 속도(저속), 고도(저고도비행) 방향(횡방향) 시 탐지 성공률 | Drone 종류 (U S 기준 Group 1,2). 전문가 의견 |
| 취약성 | 유효성 평가 | <ul style="list-style-type: none"> 디지털 트윈모델에 방호 시스템과 드론 위협을 특성화하여 몬테카를로 시뮬레이션으로 평가 유효성 = 대응성공 건수 / 총 위협 발생 건수 | 원전 평가 모델 Risk(위험) = 발생가능성(F) * 피해결과(C) * 취약성(1-P(e)) |

5.4.1.1 기본성능지표

기본 성능은 대상 장비의 기본적인 성능을 점검하는 것으로 가장 간단한 방법은 안티드론 시스템의 사양서나, 각 제조사가 제공하는 기술문서 요청하여 확인하거나, 또는 제조사 장비를 사용하는 타 고객의 사례를 확인 함으로써 수행할 수 있다.

그러나, 안티드론 시스템은 하나의 공급업체가 모든 장비를 공급하지 못하고, 여러 체계를 하나로 통합하여 운영해야 하는 것이 빈번하게 발생할 수 있으므로 이들 간의 연동성(Interoperability)과 통합성(Integration)을 사전에 시험으로 점검해야 할 것이다.

5.4.1.2 기능성능 저하지표

안티드론 시스템의 성능저하 평가지표는 드론의

종류, 속도, 고도, 방향이 시스템의 성능 발휘에 얼마나 영향이 있는지를 측정하는 것이다.

예를 들어 탐지장비의 탐지 기술적 특성을 이용하여 드론에 대한 탐지 추적의 성능을 저하시키는 비행을 할 수 있다.

드론의 경우는 특정 시설의 날씨 및 지형지물을 감안하여 회피 비행을 할 수도 있고 빠른 속도로 이동할 수도 있지만, 공중의 한 장소에서 머무르거나, 천천히 속도를 조절하여 이동하는 것이 가능하다.

특정 고도 이상으로 비행하거나, 지형지물이나 숲 지역 근방으로 비행할 수도 있다. 목표지역 접근을 기만하기 위해 목표물까지 최단시간 이동을 하는 대신 횡보 경로를 사용하여 접근할 수도 있고, 이 과정에서 계획되거나 제어된 경로뿐 아니라 현장환경을 자율적으로 판단하여 이동을 하는 것도 가능하다.

<Table 6> Component System MOP(Measure of Performance) : Example

| 구분 | 핵심지표 | 내용 | 특정방법 및 단위 | 비고 |
|---------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| 탐지 시스템 | 정확도 | 총 발생 건당 탐지건수 | 전과된 건수로 판단 | 순차적 |
| | | 동시 탐지건수 | 동일시점 발생 Event(군집드론등) 동시 탐지능력 | N(동시발생 최대수) |
| | | 위치별 탐지건수 | 거리, 고도별 그룹당 탐지건수 | 거리/고도 Group화 |
| | | False Positive | 각 Event 당 오탐지 횟수 | Type1 에러(오탐지) |
| | | False Negative | 각 Event 당 미탐지 횟수 | Type 2에러(미탐지) |
| | 탐지속도 | Event 감지~전파 시간 | 초 | Event주입~탐지결과 출력 시간 |
| 식별 시스템 | 정확도 | 총 탐지 건당 식별 건수 | 전과된 건수에서 식별된 건수로 판단 | 순차적 |
| | | 동시 식별건수 | 동일시점 발생 Event동시 식별능력 | 탐지된 것보다 적은 수 |
| | | False Positive | 각 Event당 오식별 횟수 | Type1 에러(오식별) |
| | | False Negative | 각 Event 당 미탐지 횟수 | Type 2에러(비식별) |
| | 자동 식별 기능 | 수작업이 아닌 방법으로 식별하는 능력(딥러닝 등 활용) | | |
| 식별속도 | 인지~보고 시간 | 초 | 식별결과 출력까지 시간 | |
| 무력화 시스템 | 정확도 | 총 무력화 시도당 성공 건수 | 지시된 무력화 건수에서 무력화 건수로 판단 | 무력화 성공에 대한 장비별 정의 |
| | | 동시 무력화 건수 | 동일 시점 발생 Event 동시 무력화 능력 | 식별된 것보다 적은 수 |
| | | 무력화 정도 | 소프트킬, 하드킬 등 목표기능대비 무력화된 정도 | 유효기능 성공정도 (PH/PK) |
| | | 자동 무력화 기능 | 자동화 도구 활용 무력화하는 능력 | |
| | 무력화 대응시간 | 무력화 대응까지 소요 | 무력화 성공까지 소요되는 시간(무기 준비시간 구분 표시) | 최대,평균,최대 발생 |
| | 총무력화 대응시간 | 결과 보고까지 소요 | 지시접수부터 대응조치후 보고까지 소요되는 총 시간 | 무력화 핵심평가지표 |

안티드론 시스템은 이와 같이 예외적인 다양한 시나리오 발생시에도 성능이 크게 저하되지 않는다는 것을 입증해야 한다. 이와 같은 예외적 상황에서 안티드론 시스템이 얼마나 성능이 저하되는지를 평가하는 지표가 성능저하 평가지표이다.

국내에서 판매되고 시험평가되는 안티드론 시스템간에는 실제 성능저하 평가 시나리오에서 상당한 차이를 보여주고 있다. 가장 일반적인 성능저하 평가지표 중의 하나는 작고 빠른 드론이나, 스텔스기능을 갖춘 드론의 위협발생시를 가정한 RCS(레이더 평가 핵심지표) 축소와 같은 평가지표가 있다.

일반적 크기의 상용드론을 대상으로 한 레이더 시스템 간의 감지 비교도 중요하지만, RCS가 크게 작아진 경우에도 동일한 비교성능을 낼 수 있는지는 매우 중요한 성능 구분점이다.

5.4.1.3 취약성 평가지표

안티드론 시스템의 취약성 평가는 드론 위협에 대한 안티드론 시스템의 유효성을 평가하는 것이다. 안티드론 시스템이 설치된 시설에서의 유효성에 대한 평가를 하는 방법으로는 원자력 시설에서 활용되고 있는 Force on Force 방법을 참고로 할 수 있다. 실제 현장 상황에서 적의 위협과 방호인력의 방호능력을 훈련의 형식으로 측정하고 평가하는 것이다.[9]

전통적인 Force on Force 훈련 구조에 맞추어 안티드론 시스템이 설치된 사이트 운영자를 Blue Force 방호인력으로 하고, 드론 위협으로 공격하는 적을 Red Force로 가정하여 가상의 위협시나리오에 따라서 실제 드론 위협을 실행하고, 이를 얼마나 효과적으로 방호하는지를 정해진 지표에 맞추어 평가해 볼 수 있다.

현재 드론 위협에 대한 합의되거나 규정된 DBT(Design Basis Threat)가 없을 뿐 아니라, 안티드론 시스템의 성능과 효과성을 객관적이고 과학적으로 평가할 수 있는 평가체계가 규정화 되지 않았고, 연구도 부족하기 때문에 실제 현실 상황에서 유효성 평가체계를 정립하는데는 앞으로도 많

은 시간이 소요되고, 유사 사례의 적용이 누적되어야 한다.

5.4.2 구성시스템 체계 성능척도

표 5와 같이 각 시스템은 정확도와 소요시간을 기준으로 성능평가를 할 수 있다. 드론이 여러대가 한꺼번에 나타나거나 동시에 군집의 형태로 위협이 발생할 수 있기 때문에 각 체계는 자체적인 동시처리 능력과 자동화 처리 기능뿐 아니라 체계간 연동에 있어서도 얼마나 실시간적으로 자동처리를 할 수 있는지를 성능지표를 정한다.

탐지시스템과 식별시스템은 환경적 요소로부터 발생하는 이벤트와 실제 드론 위협을 얼마나 잘 구분할 수 있는지를 평가하기 위해 뉴스스 경보율(Nuisance Alarm Rate)을 평가한다. 예를 들면, 최근 인공지능의 기술을 적용한 식별 알고리즘을 적용하여 성능이 우수할수록 새와 드론을 구분하는 능력의 차이가 있다. 또한 전체 경보중에서 구체적인 원인이 밝혀지지 않은 경보의 비율(False Alarm Rate)도 성능지표로 평가한다.

6. 결론

안티드론 시스템의 표준화를 위해서 국방아키텍처 프레임워크의 산출물을 준용하여 제시하였다. 국방부에서 권고하는 선행연구단계의 산출물 기준에서 구성 제품들이 상용화 되어있는 점, 안티드론 시스템의 운용개념과 드론 위협에 대한 정의로부터 시스템의 표준화에 필요한 기본적인 각 구성품의 기능, 인터페이스, 데이터플로우의 정의, 체계 성능 및 효과 척도 등을 중심으로 하였다.

운용관점, 체계관점 위주로 체계 획득의 선행연구 단계에 산출기준으로 작성하는 9개의 산출물 작성을 권고하고 있다. 상용화하고 있는 장비의 표준화를 제시하는 차원에서 11개의 산출물로 조정하였다.

본 연구는 MND-AF 산출물을 얼마나 정확하게

작성하느냐보다는 안티드론 시스템의 표준화에 중점을 두고 있어 산출물의 목적이나 양식에서 차이가 있다. 해당 산출물을 보다 정확하기 위해서는 해당 시설에 따라 작성되어야 하고, 본 연구의 결과는 여건이 다른 각 시설의 안티드론 시스템 체계획득시 기준으로 활용 가능할 것이다.

이러한 표준안은 안티드론 시스템 구축의 선결조건이다. 새로운 위협으로 등장한 불법 드론에도 불구하고 전체 통합시스템 차원에서의 정부 지침이 부족한 점을 고려하여 작성하였다.

드론은 현장의 국가 및 공공 중요시설의 경영진 및 보안 책임자와 장비 제작 업체 관계자들에게 드론위협에 대한 대응 장비들의 구성요소 기술과 해당 환경에서의 요구 성능의 정부 차원의 객관적 기준이 반드시 필요하다.

본 연구의 결과가 이러한 표준화의 첫걸음으로 활용될 것으로 기대한다.

사 사

이 연구 논문은 ETRI 부설연구소의 위탁연구과제[2021-015]로 수행한 연구결과입니다.(This work is the result of commissioned research project supported by the affiliated institute of ETRI[2021-015].)

References

1. 황순필 외, 국가중요시설 방호를 위한 안티드론 시스템 구축방안 연구, 디지털융복합연구 제 18권 제11호, 2020. 11
2. 이재원, 국가중요시설 보호를 위한 안티드론시스템 연구, 공주대학교, 2021. 2
3. 원자력안전위원회, 원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 시행령 제2장 핵물질 및 원자력시설의 물리적방호, 2021. 10. 5
4. 이동혁 외, 안티드론 개념정립 및 효과적인 대응체계 수립에 관한 연구, 한국경호경비학회지, 제 60호, 11-29. 2019
5. 국방 아키텍처프레임워크 Version 1.5, 국방부, 2019. 12
6. 차승훈 외, MND-AF를 활용한 운용개념기술서(OCD) 및 운용요구서(ORD)에 대한 보완 연구, 시스템엔지니어링 학술지 16권 2호, 2020. 12
7. 국방부, 상호운용성 관리지침, 방위사업청예규 제 731호, 2021. 7. 23
8. Christian Robby etc, Methodology and Application of Physical Security Effectiveness Based on Dynamic Force-on-Force Modeling, INL/EXT-20-5-9891, U.S. Department of Energy Office of Nuclear Energy, 2020
9. C. Kouhestani' etc. Counter Unmanned Aerial System Testing and Evaluation Methodology, Sandia National Laboratories. 2017