

A Study on the Improvement of Naval Combat Management System for the Defense of Drone

Ki-Chang Kwon*, Ki-Pyo Kim*, Ki-Tae Kwon*

*Engineer, Naval R&D Center, Hanwha Systems, Gumi, Korea

*Engineer, Naval R&D Center, Hanwha Systems, Gumi, Korea

*Engineer, Naval R&D Center, Hanwha Systems, Gumi, Korea

[Abstract]

Recently, the technology of drones is developing remarkably. The role of military drones is so great that they can cause serious damage to the enemy's important strategic assets without any damage to our allies in all battlefield environments (land, sea, air). However, the battleship combat management system currently operated by the Korean Navy is vulnerable to defense because there is no customized defense system against drones. As drones continue to develop, they are bound to pose a major threat to navy in the future. This paper proposes a way for the warfare software of naval combat management system sets a combat mode suitable for anti-drone battle, evaluates the threat priority in order to preemptively respond to drone threats and eliminate drone threats through automatic allocation of self-ship-mounted weapons and sensors, and through a test of the improved warfare software in a simulated environment, it was proved that the time to respond to the drone was improved by 62%.

▶ **Key words:** Naval Combat Management System, Warfare, Anti UAV Defence System, Anti-Drone battle, Drone

[요 약]

최근 드론의 기술력은 급속하게 발전하고 있으며 군사용 드론은 모든 전장 환경(육상/해상/공중)에서 아군의 피해 없이 적의 중요한 전략 자산에 심각한 피해를 줄 수 있을 만큼 전장에서 역할이 커지고 있다. 그러나 현재 우리 해군이 운용중인 전투함의 함정 전투체계는 드론에 대한 맞춤형 방어체계를 갖추지 않아 방어에 취약하다. 기술의 발전을 미루어 보아 미래에는 해군에 큰 위협이 될 수밖에 없다. 본 논문에서는 전투체계 교전 소프트웨어가 대드론전 상황에 적합한 대응 모드를 설정하고 드론 위협에 선제 대응하기 위해 위협 세력의 우선순위를 평가하며 자함에 탑재 무장과 센서의 자동 할당 대응을 통해 드론 위협을 제거하는 방안을 제안하고 모의 환경에서의 개선된 교전 소프트웨어 시험을 통해 최종적으로 드론에 대응하는 시간이 62% 개선되었음을 확인하였다.

▶ **주제어:** 함정 전투체계, 교전, 무인기 방어시스템, 대드론전, 드론

-
- First Author: Ki-Chang Kwon, Corresponding Author: Ki-Chang Kwon
 - *Ki-Chang Kwon (kc6973.kwon@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
 - *Ki-Pyo Kim (kipyo.kim@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
 - *Ki-Tae Kwon (kt0830.kwon@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
 - Received: 2023. 02. 17, Revised: 2023. 03. 30, Accepted: 2023. 03. 31.

I. Introduction

우리가 흔히 알고 있는 드론은 사람이 타지 않는 무인 비행체를 총칭하여 부르는 것으로 2015년부터 급격하게 대중화되어 항공촬영, 농업, 물류 등 다양한 분야[1]에서 상업용으로 사용될 뿐만 아니라 인명구조, 화재진화, 산림 방제[2] 등 인간의 목숨을 살리고 환경을 개선하는데 많은 도움을 주고 있다.

하지만 드론의 역사는 군사적 목적의 무인기 개발에서 부터 시작되었고 최근 우크라이나 전쟁에서 사용된 예로 본다면 본진의 위치를 노출 시키지 않은 채 먼 거리에 있는 목표물을 탐지, 추적, 정찰, 파괴하는 임무를 수행하며 직접적으로 정밀 타격하는 능력이 높아진 만큼 전장에서 그 역할이 매우 중요해졌다고 볼 수 있다. 만약 드론이 해상에서 운용되어 전투함의 위치를 정찰하거나 전투함의 눈과 귀인 센서만 조준해서 파괴하여 전투 능력을 상실하게 만든다면 적군으로서 마주한 드론은 직·간접적으로 매우 큰 위협이 될 수밖에 없다.

전투함은 건조하는데 엄청난 시간과 노력, 비용이 소모 되는 대비 물질적 가치가 현저히 낮은 드론의 공격으로 전투 능력을 상실하게 되면 해군 전력에 큰 타격을 입기 때문에 드론은 절대적으로 방어를 해야 하는 높은 우선순위의 위협에 속한다. 따라서 드론 방어시스템은 필수적으로 갖추어져야 하며 드론의 공격과 정찰에 대한 새로운 방식의 위협평가와 대응 방안의 기술이 필요하다.

본 논문에서는 함정 전투체계 모듈 중에서 위협평가 및 교전 가능성을 판단하는 교전 소프트웨어에서 드론 방어에 최적화된 대응 모드 기능을 추가 구현함으로써 드론 위협에 대한 효율적인 자원 운용 및 방위에 도움을 주고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다.

II장에서 드론의 종류 및 특성에 대한 설명과 현재 함정 전투체계에서 드론 위협 대응의 한계에 대해 분석하여 본 연구의 필요성을 서술하고 III장에서는 드론 방어시스템이 적용되어야 하는 교전 기능들을 개선 대상으로 선정하여 각 교전 수행 기능 요소별 개선 가능 방향을 제시하며 IV장에서는 드론 방어를 위해 개선된 교전 기능이 함정 전투 체계에 미치는 기대 효과와 성능을 검증하며 V장에서는 제안된 기능이 적용된 교전 소프트웨어 연구 결과로부터 얻을 수 있는 효과와 향후 추가적인 연구 방향에 대해 정리하였다.

II. Preliminaries

1. Background

1.1 Types of drones

드론의 정식 명칭은 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)이며 사람이 탑승하지 않는 모든 무인 비행체를 의미하고 형태에 따라 고정익 드론과 회전익 드론 2가지 구분된다[3].

Fig. 1은 고정익 드론으로 전체적인 외관의 모양이나 날개 등의 형태가 일반적인 전투기와 흡사하고 체공시간이 길다. 정찰 임무뿐만 아니라 공대지 미사일 같은 무장을 탑재했을 경우 정밀 폭격과 같은 임무도 충분히 수행한다.



Fig. 1. Fixed-wing Drone

Fig. 2는 회전익 드론으로 여러 개의 프로펠러 형태로 만들어진 날개로 비행하며 프로펠러 구동체 개수에 따라 쿼드콥터, 헥사콥터, 옥토콥터로 불린다. 여러 개의 프로펠러날개의 장점을 이용해 호버링이 가능하고 빠른 방향 전환이 가능하지만 크기가 작아 배터리 탑재용량이 낮고 체공시간이 짧아 주변 지역 탐색이나 보급이 어려운 지역에 수송 임무에 주로 사용되었다. 최근에는 가벼운 무장을 장착하여 직접적인 공격을 가하는 형태로 발전하고 있다.



Fig. 2. Multi-rotor Drone

1.2 The dangers of drones to battle ships

최신 군사 기술들을 접목해 군에서 운용되는 드론은 미래 전장의 차세대 게임 체인저로서 현대전의 판도를 바꿀 수 있을 만큼 중요한 전력으로 발전하고 있으며 그 용도에 따라 목표물을 찾아 정찰하고 작전 지형을 파악하는 감시 정찰용, 화생방 등의 오염 지역을 제독하는 제독용, 식량과 탄약 등의 필요 물자를 보급하는 수송용, 직접적인 피해를 주는 타격용 등으로 분류되어 전술적 활용도가 매우 높다.

특히 타격용 드론은 여러 종류의 무장을 필요한 용도에 맞춰 탑재 가능하며 소형 유도 미사일을 탑재한다면 전투함의 특정 무장이나 센서를 파괴해 무장 능력을 해제시킬 수 있다. 고풍탄을 탑재하면 Fig. 3의 예시와 같이 함체로 직접 돌격해 자폭[5]하여 침몰시킬 수도 있고 소총/유탄 발사기를 탑재한다면 함 내 인명 피해를 주는 등 다양한 전술을 구사해 전투함 전력에 타격을 입힐 수 있다.

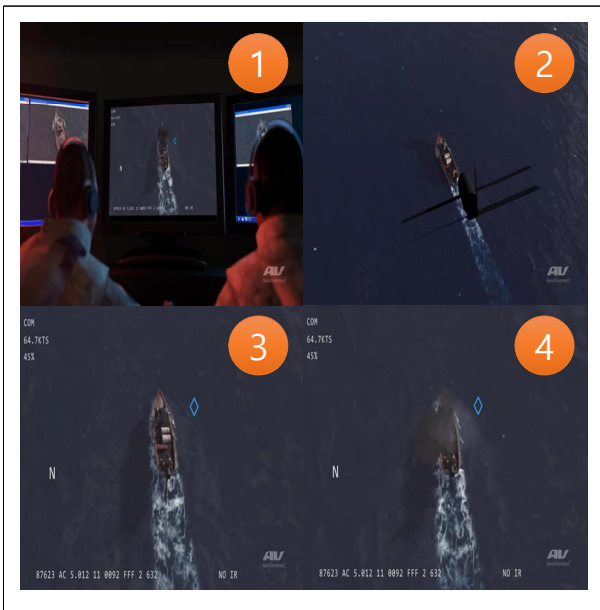


Fig. 3. A Battle Ship Sunk by a Drone

1.3 Anti-Drone Systems

안티 드론 시스템은 드론을 탐지 및 식별하는 기술과 무력화하는 기술이 융합된 시스템이다. 드론의 움직임을 탐지하기 위해 레이더, RF 스캐너, 광학/IR 카메라, 음향 센서 등[6]을 활용하고 육안이나 전자 ID를 통해 드론임을 식별하며 포획, 교란, 격추 등의 전술로 드론을 추락시키거나 통제 불능상태로 만들어 무력화시킨다.

무력화 기술은 하드 킬(Hard Kill)과 소프트 킬(Soft Kill) 두 가지로 분류되는데 하드 킬 방식은 드론에 물리적인 타격을 가하는 방법으로 그물/네트 건을 발포하여 움직

임을 봉쇄하거나 맹금류를 훈련해 드론을 포획하기도 하고 방공용 대공화기로 근거리 드론을 격추하거나 고에너지 레이저 집광으로 원거리 드론을 파괴하는 방법 등이 있다.[7]

소프트 킬 방식은 전파 신호에 교란을 주어 무력화하는 방법으로 드론 주파수보다 강한 세기의 주파수를 발사하는 재밍으로 조종사와의 통신을 차단하거나 가짜 위성항법 신호를 발사하는 스푸핑으로 항로 이탈을 유도하고 위성항법 주파수를 교란하여 자율 주행하는 드론을 비행 불능상태로 만들거나 프로토콜을 해킹하여 조종권을 탈취하는 등의 방법으로 비행을 방해한다.[8]

1.4 Drone identifying and threat evaluation in naval combat management system

1.4.1 Naval combat management system

함정 전투체계는 Fig. 4처럼 전투함에서 통신 체계, 탐지 체계, 무장 체계 및 지휘무장통제체계 등으로 구성되며 자함에 탑재된 센서를 통해 인지한 전술 상황과 외부로부터 수집한 전술정보를 통합 처리 및 분석 후 전체적인 전술 상황을 지휘관 포함 운용자에 전시하고 동시다발적인 전투상황에서 획득된 정보를 종합 처리하여 체계적인 전투 임무를 수행하여 최적의 전투 능력을 제공할 수 있도록 지휘 및 무장을 통제하는 시스템이다[9].

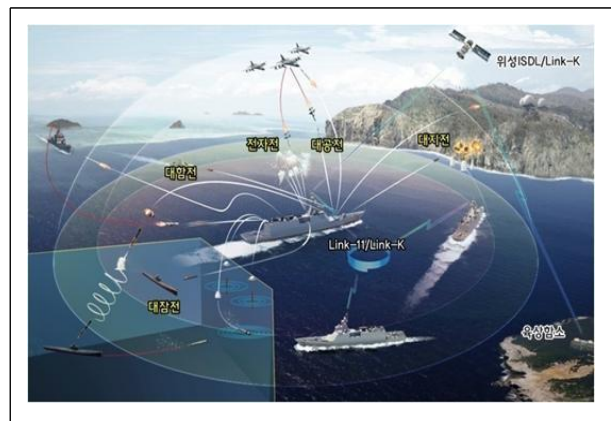


Fig. 4. Operation Drawing of Naval Combat Management System

1.4.2 Warfare software in naval combat management system

함정 전투체계의 교전 소프트웨어는 지휘무장통제체계의 핵심 기능으로 체계 내부에서 관리되는 표적정보를 실시간으로 처리하여 표적에 대한 위협순위를 평가한다. 자함에 탑재된 무장/센서 자원을 관리하며 위협 탐지 및 분석, 무장 할당 및 교전, 명중평가 등을 자동화하여 운용자

에게 정보를 제공하고 지휘관이 지휘 및 무장 통제에 대한 신속한 의사결정을 할 수 있도록 지원한다. 자함에 위협이 되는 표적을 제거 또는 무력화하는 것이 교전 소프트웨어의 최종 목적이며 표적의 분류에 따라 대공전, 대함전, 대잠전, 대지전, 전자전을 수행한다[10].

1.4.3 Drone identifying and threat evaluation

교전 소프트웨어에서 대공전 위협평가는 표적이 자함까지 도달하는 시간인 TTG(Time To Go)를 중심으로 위협의 속도 등을 고려하여 위협지수가 계산되며 그 값에 운용자가 입력한 위협지수 가중치를 합산하여 대공 위협지수로 사용된다. 하지만 대함 미사일처럼 자함을 향해 날아오는 표적만 기준으로 하는 현재의 위협평가 방식으로 전 방향으로 쉽게 방향 전환이 가능한 드론의 위협지수를 계산한다면 상황에 따라 위협도가 높은 표적임에도 불구하고 위협지수가 낮게 나오는 위험한 상황이 발생할 수 있다.

1.5 The need for specialized countermeasures against drones

전투함의 센서는 크게 주변을 탐색하여 표적을 식별하는 탐지 센서와 탐지된 표적을 추적하여 정확도 높은 정보를 제공하는 추적 센서가 있으며 현재 수상함에는 다기능 위상 배열 레이더, 전자 광학 추적 장비, 적외선 탐지 추적 장비, 전자전장비 등이 탑재되어 있다. 전파를 이용하여 주변을 스캔해 표적을 탐지하는 다기능위상배열레이더는 전 방향 탐지가 가능하나 일반 탐지 모드에서는 드론과 같은 소형 표적에 대한 탐지가 어려워 함정 전투체계에서 표적화되지 않으며 특정 표적을 추적하는 전자 광학 추적 장비는 표적화되지 않은 표적에 대해서는 추적 불가능하다.

탑재된 무장에는 함포, 대함 유도탄 방어 유도탄, 근접 방어 무기체계, 전자전장비 등이 있고 무장별로 대응 가능한 거리가 다르기에 효과적인 드론 대응을 위해서는 표적의 거리에 따라 무장을 적절한 순간에 할당하여야 한다. 특히 드론은 크기가 소형이고 운동성이 민첩함으로 자함에 접근해 육안상으로 발견할 때까지 식별하기 어렵고 근거리에서 식별이 되더라도 제한각 및 대응 시간의 부족으로 위험한 상황이 될 수 있다.

지금까지의 군사용 드론은 정찰 위주의 임무만 수행하였기에 위협적인 존재로 분류가 되지 않았으나 드론의 타격 능력은 우리 해군의 전투함 운용에 큰 위협이 되는 수준에 도달했기 때문에 유도 미사일이나 어뢰 위협처럼 별도의 대응 체계를 갖추고 적합한 무장과 센서 자원을 활용하여 특화된 대응 모드와 드론의 특성에 맞는 위협평가 및 자동 할당 방안이 필요하다.

본 논문에서는 드론을 중심으로 한 새로운 위협평가 기 능과 집중 방어 개념의 드론 대응 모드, 그리고 대응 가능한 무장을 선택하여 자동으로 할당하는 기능을 제시하여 드론을 효과적으로 방어할 수 있는 기술을 제안하고 모의 실험 및 시뮬레이션을 통해 기존 함정 전투체계 대비 드론 대응 시간이 62% 개선됨을 확인하였다.

III. The Proposed Scheme

1. Warfare software improvement measure against drone

현재 국산 함정 전투체계에서의 교전 소프트웨어는 전투함의 임무에 따라 대공전, 대함전, 대잠전, 대지전 등 작전 성분별로 설계 및 구현되어 있으며 앞으로 드론 집중 방어의 필요성에 의해 드론에 대한 위협평가를 비롯한 교전 대응 방안에 대한 개념을 개선하는 대상으로 선정하였다. Fig. 5는 드론 대응 모드 개념도이며 각 무장과 센서가 드론 대응에 적합한 설정으로 자동 변경되어 드론에 대응하는 그림이다.



Fig. 5. Conceptual Drawing of Drone Defense System

함정 전투체계에서는 드론 방어시스템을 위해 드론 대응 모드 설정, 위협평가, 무장 할당 및 교전 대응 총 3단계로 나누었다. 드론에 대한 대응 모드로 최적화된 위협평가 후 자동 할당하여 지휘관의 발사 결심에 의해 즉각적으로 교전이 이루어질 수 있는 수준을 목표로 하며 이러한 기능을 수행하기 위해 교전에서는 아래의 기능들이 추가로 구성된다.

Step 1 드론 대응 모드 : 센서와 무장 자원을 드론 표적에 대응 가능한 상태로 모드 변경

Step 2 드론 위협평가 방식 : 드론의 특성을 고려한 위협평가 방식 반영

Step 3 드론 자동 할당 : 높은 우선순위와 거리를 고려한 무장/센서 자동 할당

1.1 Drone response mode

교전에는 자함으로 접근하는 유도 미사일에 신속하게 대처하기 위한 교전통제 수칙이 존재하며 무장 별 대응 수칙 모드를 설정할 수 있다. 드론 대응 모드는 기존 교전통제 수칙보다 상위 독트린(Doctrine)인 임무 수칙의 개념으로 자함의 작전 수행 기능에 따라 운용자가 모드를 설정하게 된다. 임무 수칙을 드론 대응 모드로 설정하면 본 논문에서 제시하는 독트린의 개념에 따라 센서와 무장을 드론 대응에 적합한 상태로 자동 설정한다.

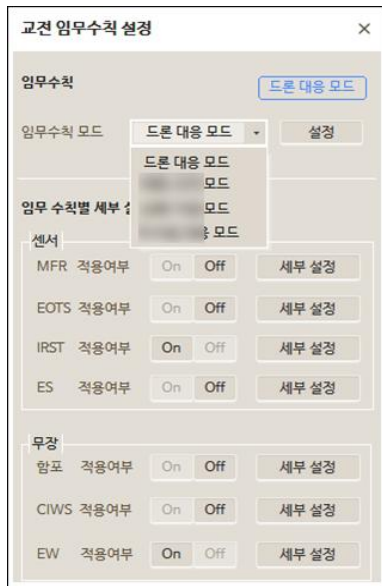


Fig. 6. Example of Engagement Mission Rule Setting Window

Fig. 6은 운용자가 교전 임무 수칙을 통제하는 화면을 구현한 예시이며 드론 대응 모드 임무 수칙과 임무 수칙에 따라 센서와 무장이 변경되는 사항들을 적용할지에 대한 임무 수칙별 세부 설정 기능을 제공한다. 드론 대응 모드 적용 중에도 우선순위가 높은 다른 위협이 발생할 수 있으므로 모든 자원이 드론 대응에 집중되지 않도록 운용자의 판단에 따라 센서와 무장 별로 On / Off를 선택해 현재 설정된 임무 수칙 모드의 적용 여부를 설정할 수 있다.

Fig. 6의 임무 수칙별 세부 설정에서 각 장비의 상세 설정이 가능한 세부 설정 버튼이 있으며 버튼 클릭 시 전시되는 창은 Fig. 7과 같다. 다기능 위상 배열 레이더의 세부 설정을 예시로 구현하였으며 선택된 임무 수칙에 맞춰 자동으로 설정된 장비 상태 값들이 전시되며 필요에 따라 설정값을 수동으로 변경할 수 있다.



Fig. 7. MFR Mission Rule Detail Setting Window

1.1.1 Sensor settings

1.1.1.1 Multi Function Radar(MFR)

다기능 위상 배열 레이더는 일반 대공 탐색 모드의 경우 소형 표적의 탐지가 어려워 집중 대공 탐색 모드로 변경하고 표적이 식별된 위치의 방위를 집중 탐색 구간으로 설정하여 소형 표적 정밀 탐색을 수행한다. 표적 탐지 개수를 조정하여 자원의 분산을 차단하고 추적 주기를 최대치로 설정하여 빠른 속력의 표적도 추적 가능하도록 한다. 표적 탐지 시 자동으로 추적이 가능할 수 있도록 소형 표적이 탐지된 구간을 자동 추적구간으로 설정하며 전자 광학 추적 장비와 같이 추적이 가능한 센서와 연계한 자동 추적이 될 수 있도록 연계 추적기능을 활성화한다.

1.1.1.2 Electro-Optical Tracking System(EOTS)

전자 광학 추적 장비는 종속추적 모드로 설정하여 다기능 위상 배열 레이더에서 수신한 표적에 대한 방위와 고도를 사용해 종속추적을 수행할 수 있도록 한다. 추적 방식은 목표물 주변의 상관관계를 고려해 소형 표적 추적에 적합한 상관추적 방식으로 설정한다. 전자 광학 추적 장비의 추적 영상에서 표적이 드론으로 추정되면 운용자의 판단에 따라 표적의 속성을 드론으로 설정한다. 종속추적 실패 시 자동 추적될 수 있도록 구역 탐색모드로 전환하여 드론 표적이 마지막으로 발견된 방위를 탐색 구역으로 설정하

고 지속 탐색한다.

1.1.1.3 Infrared Search and Tracking System(IRST)

적외선 탐지 추적 장비는 센서 민감도를 높여 드론 표적의 프로펠러 모터에서 발생하는 열을 이용해 탐지하고 추적할 수 있도록 설정한다. 드론이 식별된 위치 외 구역을 탐지 금지 영역으로 설정하여 센서 자원 낭비를 차단한다. 표적이 탐지되면 위협도가 높은 표적에 다기능 위상 배열 레이더 및 전자 광학 추적 장비에 표적의 위치 정보를 전달하여 정밀 추적을 시도한다.

1.1.1.4 Electronic Warfare System(EW)

전자전장비는 타 센서로부터 탐지된 드론의 위치 정보를 함정 전투체계 내부 표적 메시지로 수신한다. 해당 위치에 방위보고 표적 생성을 요청하여 드론 표적을 식별해 재밍(Jamming) 공격을 준비할 수 있도록 한다.

1.1.2 Weapon settings

1.1.2.1 Naval Gun(GUN)

함포는 주변 물체를 인지해 가까운 거리에서 폭발할 수 있는 근접 신관탄을 탑재하도록 설정한다. 탑재된 탄약에 근접 신관탄이 미장착 상태라면 운용수에게 탄 장착을 요청한다. 함포 발사율을 최대치(분당 20발)로 상향하여 대응하도록 설정한다.

1.1.2.2 Close-in Weapon System(CIWS)

근접 방어 무기체계는 대공 모드로 변경하고 교전 금지 상태를 교전 허용으로 설정한다. 장비에 탑재된 센서 사용에 대해 방사 허용 금지를 해제하여 표적 탐지가 가능하도록 설정한다. 함정 전투체계에서 센서가 식별한 드론 표적의 정보로 드론 표적만 독립 교전 허용하도록 위협 리스트를 생성하여 근접 방어 무기체계 장비가 드론에만 대응할 수 있게 한다.

1.1.2.3 Electronic Warfare System(EW)

전자전장비는 장비 특성상 전자전 표적에 대해서만 재밍을 승인할 수 있다. 만약 드론을 전자전 표적으로 획득 불가 시 장비를 수동 운용 모드로 전환하고 운용자에게 드론이 있는 방위, 거리 정보를 전달하여 수동 재밍으로 대응할 수 있도록 한다.

1.2 Drone threat assessment method

고정익 드론과 회전익 드론은 각각 비행 기동 패턴이 다르므로 위협평가의 방식도 차이가 있어야 한다. 고정익 드

론은 크기와 기동 패턴이 전투기와 유사하므로 자함으로 향하는 방향성이 고려되는 기존 대공 위협지수 계산 방식을 적용하여 위협평가를 하더라도 큰 문제가 없다.

하지만 회전익 드론은 급격한 방향 전환이 가능해 진행 방향을 예측하기 어렵다. 방향성이 고려된 기존 위협평가 방식으로는 회전익 드론의 움직임이 자함 방향인지, 반대 방향인지, 좌우 방향인지에 따라 위협지수 값이 큰 폭으로 변하게 되며 만약 지그재그 패턴의 기동한다면 낮은 위협지수를 유지하며 자함에 접근이 가능하다. 이러한 기동 패턴 특성을 보이는 대공 표적을 회전익 드론으로 예측하거나 추적 센서의 영상으로 확인 가능한 경우 운용자 판단하에 표적 속성을 드론으로 식별하고 드론 위협평가 방식을 적용한다.

기존 함정 전투체계에서 현재 사용되고 있는 대공 위협평가는 위협지수의 TTG 계산 시 벡터인 현재 속도를 반영하게 되지만 드론 위협평가에서는 방향성이 고려되면 안 되기 때문에 최대속력을 반영해서 위협지수가 계산되어야 한다. 이러한 이유로 교전 소프트웨어는 드론 표적의 운동 정보가 갱신될 때마다 속력을 비교하고 최대속력 값을 표적별로 저장하여 아래와 같은 공식으로 위협지수를 계산한다.

$$\text{드론위협지수} = \left(1000 - \frac{\text{거리}}{\text{최대속력}} \times C \right) + \text{운용자가중치}$$

거리가 가까울수록 더 위험한 표적인 것은 당연하고 방향성은 고려대상이 아니기 때문에 현재 속도가 아닌 최대속력을 반영해 최악의 경우 드론이 급격하게 방향을 틀어 최대속력으로 자함을 향해 접근할 때 걸리는 시간을 드론 위협지수 계산에 반영하였으며 그 외에 교전에서 가중치를 주는 상수 C와 운용자가 영상을 통해 식별한 드론 크기나 무장 탑재 능력에 대한 운용자 가중치를 반영하여 드론 위협지수 계산식을 도출하였다.

1.3 Automatic assignment and fast response to drone

1.3.1 Weapon/Sensor automatic assignment by distance

복합적인 상황에서 드론에 효율적으로 대응하기 위해서는 거리에 따라 적합한 무장과 센서를 자동 할당하는 방안이 필요하며 장거리, 중거리, 단거리로 나누어 대응한다.

1.3.1.1 Long distance allocation

추적하는 센서는 다기능 위상 배열 레이더와 무장으로 함포를 우선 할당한다. 장거리에 있는 대공 표적은 대함 유도탄 방어 유도탄으로 교전을 하는 것이 일반적이나 회

전익 드론의 경우 크기가 작고 기동성이 좋아 회피할 확률이 높으며 비용 측면에서도 유도탄보다 저렴하므로 효율적이지 못하다. 그 외 자함을 향하는 유도 미사일에 대응해야 하는 경우를 위해 할당하지 않는다.

1.3.1.2 Middle distance allocation

추적하는 센서는 전자 광학 추적 장비와 무장으로는 전자전장비를 할당한다. 전자 광학 추적으로 표적의 정확한 위치 정보를 갱신하며 비교적 가까운 거리에서는 영상으로 표적의 크기와 탑재한 무장에 대한 식별이 가능하다. 그리고 외부에서 원격 조정하는 컨트롤러와 드론 사이의 전파 연결을 전자전장비의 재밍 공격으로 차단한다[11]. 이때 드론의 반응은 호버링, 착륙, 회귀 3가지의 패턴을 보여야 하는데 재밍을 받은 후에도 계속 자함 방향으로 움직인다면 자체 알고리즘에 의해 움직이는 드론으로 판단하고 드론의 눈이 되는 영상에 혼선을 주기 위해 대유도탄 기만 체계에 할당해 구름탄 전개로 자함을 영상으로 인지하지 못하도록 대응한다.

1.3.1.3 Short distance allocation

최후의 방어 수단으로 근접 방어 무기체계에 할당하며 근접 방어 무기체계는 다기능 위상 배열 레이더로부터 포착된 드론의 위치 정보를 전달받아 해당 표적이 있는 구역에 자체 센서로 표적을 추적 탐지하도록 설정하고 표적의 움직임이 관측되면 거리에 따라 0km 이내 단발 점사, 0.0km 이내 3발 연사, 000m 이내 분당 최대 발사 탄수인 3000발의 연사로 대응한다.

1.3.2 Fast response to drones

드론에 신속하게 대응하기 위해서 기존의 교전 절차의 시간 지연 요소에 대한 개선이 필요하다. 교전 소프트웨어에서는 위협이 되는 표적에 대해 무장으로 대응하기까지 여러 안전장치의 확인 절차를 거쳐야 한다.

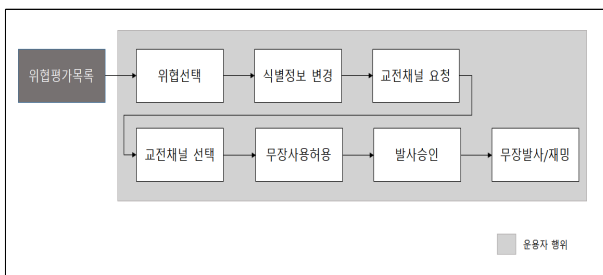


Fig. 8. Safeguards for Existing Engagement Procedures

Fig. 8은 기존 교전 절차의 안전장치를 순차적으로 나타낸 그림이다. 위협선택, 식별정보 변경, 교전채널 요청, 교전채널 선택, 무장사용허용, 발사승인, 무장발사/재밍까지 총 7단계에서 운용자의 개입이 있어야 최종적으로 드론과 교전할 수 있다. 숙련된 운용자라 하더라도 모든 안전장치를 해제하기까지 최소 20초 이상의 시간이 소모된다.

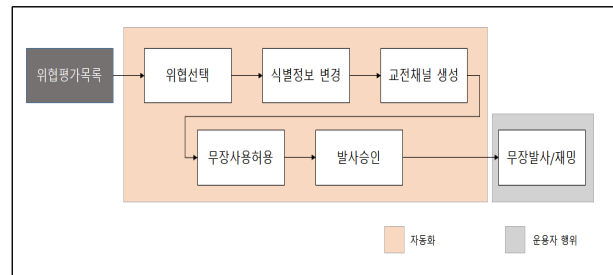


Fig. 9. Improved Engagement Procedures Safeguards

Fig. 9는 드론 신속 대응 시 교전 절차의 마지막 안전장치인 무장 발사만을 운용자 판단에 맡기고 나머지 절차에 대해서는 자동화하여 신속하게 대응할 수 있도록 개선한 절차를 나타낸다. 개선된 안전장치는 운용자 개입 없이 교전 소프트웨어에 의해 자동으로 설정되며 절차별 자동화가 적용되는 부분은 다음과 같다.

1.3.2.1 Threat selection

앞서 설명한 거리에 따른 무장/센서 할당 방안과 드론 위협평가 방식을 적용해 표적의 거리, 속력으로 계산된 위협지수가 가장 높은 표적을 선택한다.

1.3.2.2 Change identification

일반적인 경우 최초 식별정보는 식별 보류 상태이며 표적이 드론으로 식별되면 식별정보를 적군으로 변경한다.

1.3.2.3 Engagement channel creation

운용자가 교전채널을 요청하고 교전채널에 무장과 센서를 각각 선택해 할당하는 과정 없이 드론 표적에 대한 거리별 무장/센서 자동 할당 방안을 적용해 교전 채널을 할당하고 교전 목록을 생성한다.

1.3.2.4 Use of weapon permission

드론으로 식별된 표적이라면 무장 발사금지(Hold Fire)인 경우 무장 발사허용(Open Fire)으로 변경하고 무장 사용불가(Veto on)인 경우 무장 사용허가(Veto off)로 설정한다.

1.3.2.5 Fire approval

함포, 근접방어무기체계의 발사승인 상태의 기본값이 발사금지이므로 발사승인 상태로 변경한다.

7단계였던 기존 안전장치를 교전채널 요청 및 선택을 통합해 6단계로 축소했고 그 중 무장발사/재밍을 제외한 5단계를 자동으로 수행하도록 교전 소프트웨어에 적용하였기 때문에 실제 운용자는 무장 발사 버튼을 누르는 행위만 하면 된다. 속달 시 10초 이내에 바로 드론에 대한 교전이 가능하며 그만큼 드론 대응까지의 지연 시간을 최소화할 수 있다.

IV. Test and Evaluation

1. Analysis of drone response performance in warfare software

제안된 드론 방어를 위한 함정 전투체계 개선방안의 성능검증을 위해 실제 환경에서 운용하여 테스트하는 것이 정확하나 실장비 및 실효적 지원 불가와 같은 제한으로 Fig. 10과 같이 모의 시뮬레이션 환경에서 실제 상황을 모사한 시나리오를 구성하여 성능검증을 진행하였다.

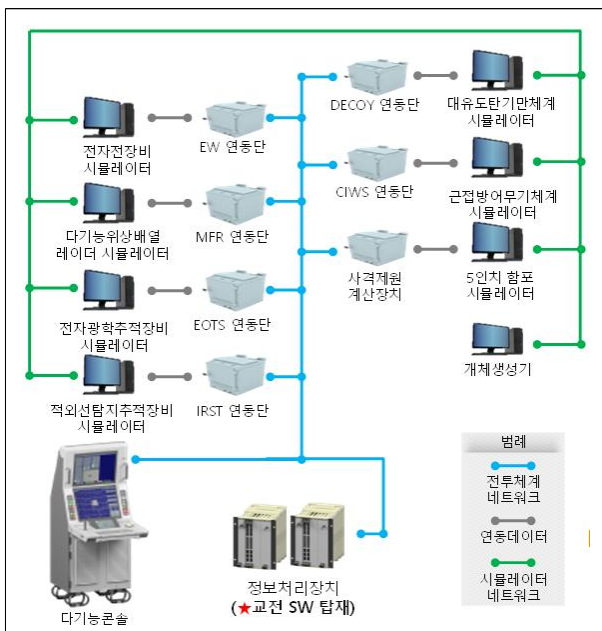


Fig. 10. Test Environment

시험 환경은 개체 생성기 1대, 시뮬레이터 7대, 연동단 7대, 다기능 콘솔 1대, 정보처리장치 1대로 구성된다. 개체 생성기는 모의 표적을 생성하여 시뮬레이터에 전송하

고 각 시뮬레이터는 실제 장비와 동일하게 모사된 동작을 한다. 시뮬레이터는 연동단을 통해 전투체계와는 연결되어 있으며 각 연동단은 시뮬레이터에서 전송된 장비 상태나 표적, 교전 정보와 같은 메시지를 주고받으며 다기능 콘솔과 정보처리장치로 송신한다. 다기능 콘솔에서는 전장에 대한 종합적인 상황을 전시하고 전투체계를 지휘하고 통제하기 위한 화면이 제공된다. 정보처리장치에는 체계관리, 표적관리, 교전 등 전투체계 핵심 소프트웨어가 실행되며 전투체계 내부 장비 HW와 SW 상태 및 정보를 관리하고 연동단을 통해 들어온 외부 환경과 상황을 종합하고 위협을 판단하고 대응을 결정하게 된다.

성능 비교를 위해 기존에 개발되어있는 교전 모듈을 비교군으로 정하고 제안된 교전 모듈이 얼마나 신속하게 효과적으로 드론에 대응하는가를 평가하였다.

1.1 Improved drone detection performance

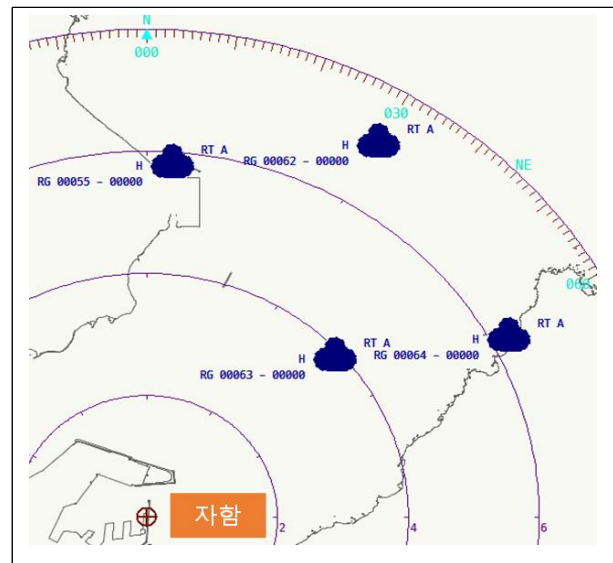


Fig. 11. Small Target Detection Performance (Missile Response Mode)

운용자가 드론의 탐지 결과를 시각적으로 볼 수 있는 장치는 다기능 콘솔이며 다기능 콘솔에는 전술 화면이 전시된다. 전술 화면은 전장 상황을 한눈에 파악할 수 있는 화면으로 거리환 중심에 있는 적색 원과 십자가가 합쳐진 심볼인 자함을 중심으로 표적의 위치를 전시하며 화면의 좌측과 우측에는 현재의 교전 상황의 정보와 표적에 대한 상세 정보 등이 전시된다. Fig. 11은 일반적인 독트린에서 자함 주위의 표적을 탐색한 전술 화면이며 다기능 위상 배열 레이더가 일반 대공 탐색 모드로 전투기와 같이 크기가 큰 대공 표적만 탐지하는 모습이다.

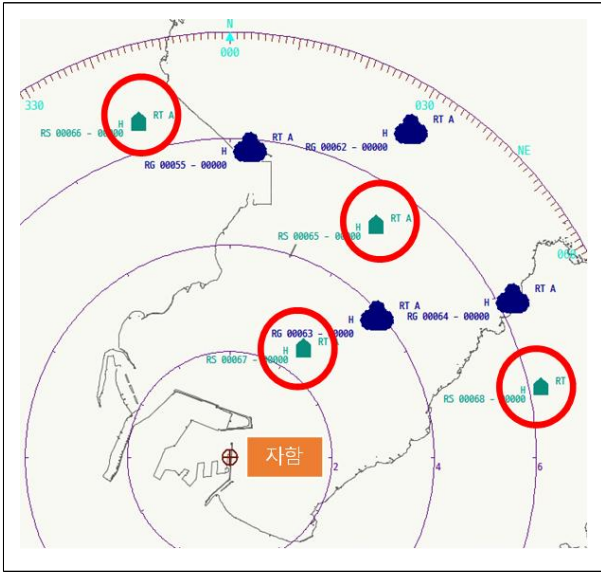


Fig. 12. Small Target Detection Performance (Drone Response Mode)

Fig. 12는 Fig. 11과 같은 상황에서 독트린을 드론 대응 모드로 변경했을 때 적색 원으로 표시된 것처럼 소형 표적 인 드론이 식별되어 녹색 오각형 모양으로 전시되는 전술 화면의 캡처이다. 다기능 위상 배열 레이더는 드론 대응 모드 상태에서 집중 대공 탐색으로 전환되고 스캔 표적으로 소형 표적을 탐지했으며 교전 소프트웨어로부터 소형 표적에 대한 정밀 추적 요청을 받아 탐지 주기를 높여 드론의 위치와 속도, 침로 등의 운동 정보가 높은 정확도로 갱신된다.

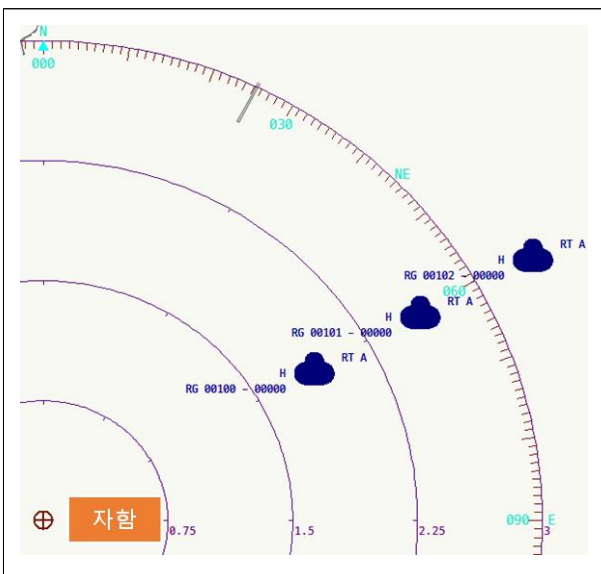


Fig. 13. Proximity Drone Detection Performance (Missile Response Mode)

Fig. 13은 일반 대공 탐색 모드 시 최대 탐지 거리는 길지만 최소 거리의 제한이 생겨 최소 탐지 거리로부터 자함과 사이에 있는 표적에 대해서는 정확하게 식별이 되지 않는 상황의 전술 화면을 보여준다.

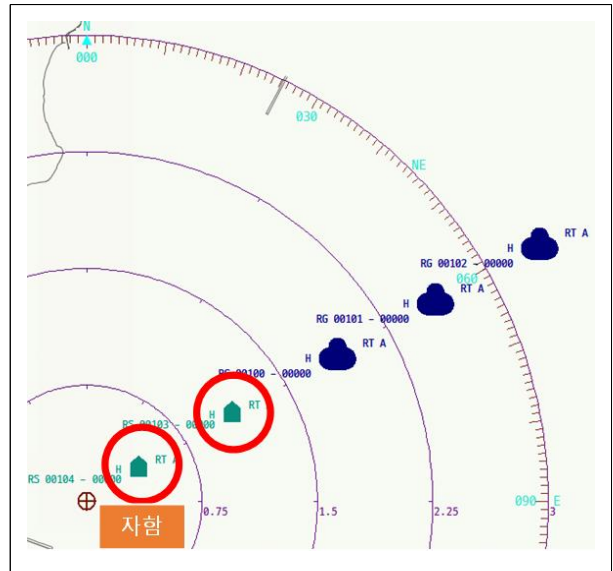


Fig. 14. Proximity Drone Detection Performance (Drone Response Mode)

Fig. 14는 Fig. 13과 같은 상황에서 독트린을 드론 대응 모드 변경했을 때 다기능 위상 배열 레이더가 집중 대공 탐색 모드가 되어 최대 탐지 거리는 줄어들지만 최소 탐지 거리의 제한은 없어지기 때문에 적색 원으로 표시해 놓은 것처럼 자함의 근거리에서 소형 표적이 탐지되는 상황을 보여준다.

1.2 Improvement of drone threat assessment

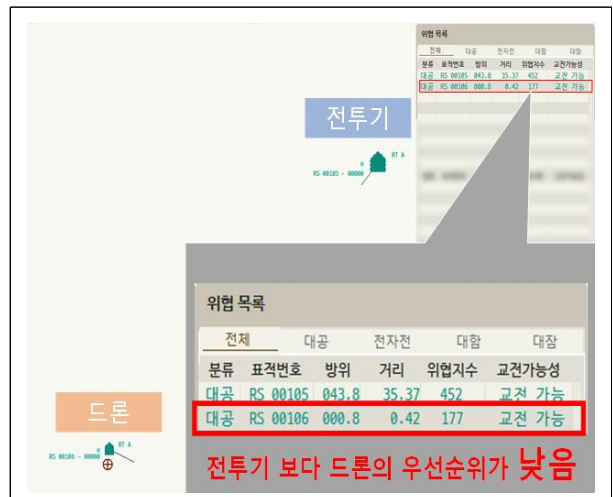


Fig. 15. Treat Priority of Drone (Missile Response Mode)

TTG 중심으로 계산되는 기존의 대공 위협평가 방식으로 위협지수를 계산하여 위협의 우선순위를 평가하면 Fig. 15와 같이 자함 가까이 있는 드론(표적 번호 RS00106) 보다 자함 방향으로 빠른 속도로 접근하는 전투기(표적 번호 RS00105)가 위협목록에서 보이는 것과 같이 위협지수가 더 높게 계산되어 우선순위가 더 높은 위협으로 평가되고 있다.

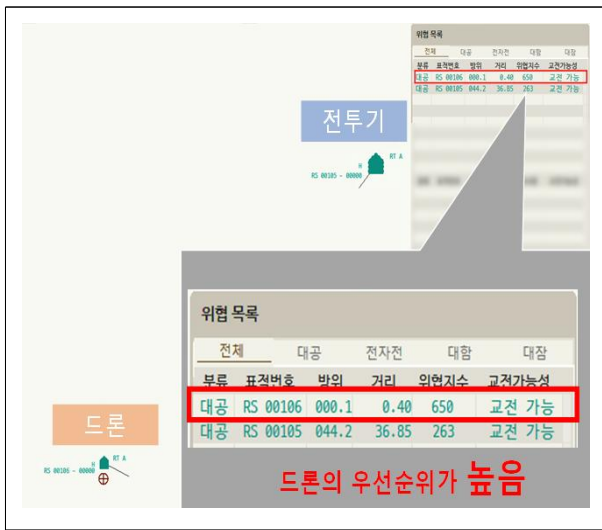


Fig. 16. Treat Priority of Drone (Drone Response Mode)

Fig. 16은 Fig. 15와 동일 상황에서 Fig. 6에서 임무 수칙 모드를 드론 대응 모드로 설정하여 드론 위협평가 방식으로 계산되어 위협지수가 반영된 위협목록이다. 방향성이 있는 속도가 아닌 각 표적의 최대속력이 계산에 반영되어 자함으로 향하는 전투기보다 자함과 가까운 거리에서 언젠가 최대속력으로 접근해 타격을 가할 수 있는 드론의 우선순위가 더 높게 평가되어 드론이 전투기보다 더 높은 우선순위로 평가된 위협목록을 확인했다.

1.3 Reduction of drone response time

Fig. 17은 기존에 수행하던 방식과 동일한 교전 절차로 드론 표적에 대응 시 안전장치마다 운용자에게 요구되는 행위를 나타낸 그림이다. 각 과정은 숙달된 운용자에 의해 순서대로 진행되었으며 운용자 행위로 최대 00초의 지연이 발생했다. 이렇게 기존의 교전 절차 지연 시간과 신속 대응의 교전 절차 지연 시간을 그래프로 비교하여 운용자의 수동 조작 대비 신속 대응이 지연 시간이 얼마나 감소했는지 Fig. 18에서 시각적으로 나타내었다.

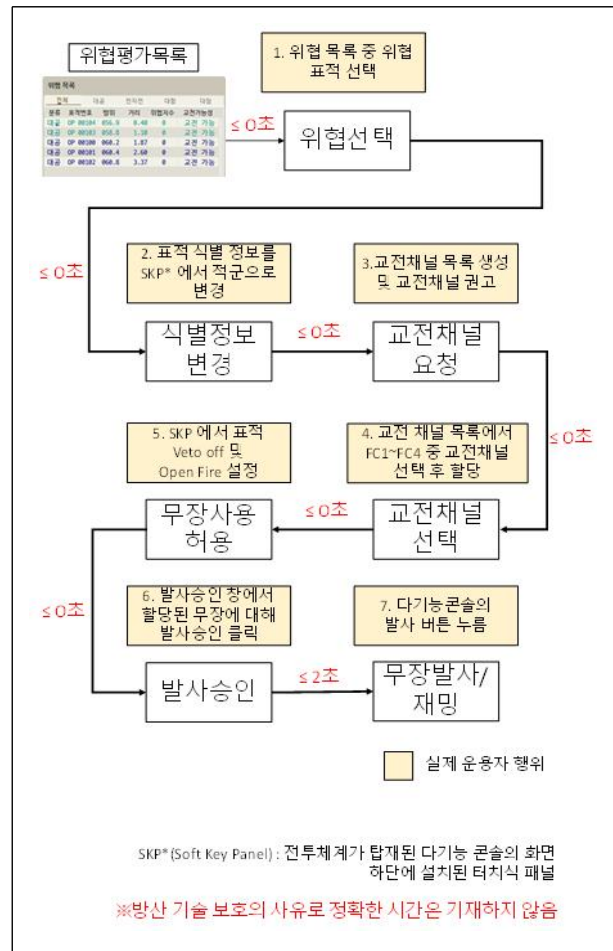


Fig. 17. Process and Latency of Existing Engagement Procedures

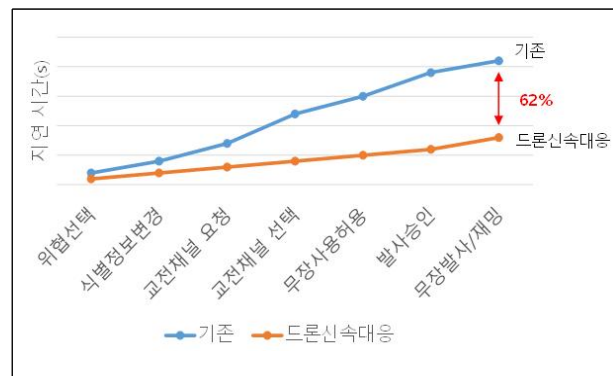


Fig. 18. Latency Comparison During Engagement

교전 직전 마지막으로 무장 발사 단계에만 운용자 행위가 요구되며 기존과 동일하게 버튼을 누르는 행위인 2초 정도의 시간이 소모되었다. 그 외의 과정은 함포 할당 시 포구 방향 전환에 소모된 최대 시간을 포함하여 드론 신속 대응에서는 드론과 교전하기까지의 지연 시간이 최대 0초의 지연이 발생했으며 기존 지연 시간 대비 약 62% 개선되었다.

V. Conclusions

본 연구에서 기존 함정 전투체계에서 드론 대응 시 위협이 될 수 있는 요소를 분석하고 체계 내에서 개선 할 수 있는 방안에 대해 제시하였다. 드론 대응 모드 독트린 설정 한 번으로 함에 탑재된 무장과 센서가 드론 대응에 적합한 자원 설정을 수행하고 드론 위협평가로 위협의 우선순위가 실제와 다르게 평가될 수 있는 위험성을 개선했다. 또한, 장/중/단거리에 따라 나누어 무장/센서를 자동 할당하고 신속 대응을 통해 최소한의 지연 시간으로 드론 위협을 제거할 수 있는 기술을 검증하였으므로 향후 개발되는 함정 전투체계의 드론 대응 설계 시 본 연구가 도움이 될 것이다.

아쉬운 점은 업체간 계약 관계, 비밀 공개 불가 같은 사유로 장비업체에서 전투체계업체로 모든 기능 제어에 대한 인터페이스를 제공하지 않기 때문에 해당 장비의 통제 시스템에서 직접 운용 시 더 많은 기능을 설정할 수 있는 부분이 있음에도 함정 전투체계 내에서는 본 연구에서 제시된 설정 외에는 제어 불가능한 점이 있었다.

그리고 여전히 유도 미사일이 전투함의 전투 능력을 상실시키는 가장 큰 위협이기 때문에 대유도탄 교전을 드론보다 우선 대응해야 함은 부정할 수 없는 현실이다. 그러므로 대유도탄 및 대드론 교전 기능을 동시에 수행하기 위해 적 위협에 대해 효과적인 무장 스케줄링 및 교전 대응 모드에 대한 연구도 진행되어야 한다.

REFERENCES

- [1] Seong hyun Yoo, Chun ki Ahn, Jung hun Kim, "Technology and Development of Drones," The Korea Institute of Electrical Engineers, Vol. 66, No. 2, pp. 19-23, Feb 2017
- [2] Sang chun Lee, Byeong cheol Yun, Dong eok Kim, Ji in Chae, "The Utilization of Drones in Public Duty," Journal of the Korea Information & Communications Magazine, Vol. 33, No. 2, pp. 100-106, 2016
- [3] Jeong Hoe Jin, Gwi Bong Lee, "Understanding and Trends of UAV / Drones," Korea Institute of Science and Technology Information, Vol. 33, No. 2, pp. 80-85, Jan 2016
- [4] Ghazlane Yasmine, Gmira Maha, Medromi Hicham, "Survey on current anti-drone systems: process, technologies, and algorithms," International Journal of System of Systems Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 235-270, Oct 2022 DOI : 10.1504/IJSSE.2022.10050209
- [5] Jong woon Chung, Chang han Lee, Tae myoung Lee, "Development Plan for the National Assembly Anti-Drone Defense System against the Spread of Drone," Journal of the Korea Security Science Association, Vol. 65, pp. 277-298, Dec 2020. DOI: 10.36623/kssr.2020.65.12
- [6] Florin-Lucian Chiper, Alexandru Martian, Calin Vladeanu, Ion Marghescu, Razvan Craciunescu, Octavian Fratu, "Drone Detection and Defense Systems: Survey and a Software-Defined Radio-Based Solution," Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Sensors, Vol. 22, No. 4, Feb 2022. DOI :10.3390/s22041453
- [7] Jin chul Choi, Seung hyuk Lim, "Anti-Drones," Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, Vol. 10, Aug 2021
- [8] Honggu Kang, Jingon Joung, Jinyoung Kim, Joonhyuk Kang, Youngsoo Cho, "Protect Your Sky: A Survey of Counter Unmanned Aerial Vehicle Systems," Institute of Electrical and Electronics Engineers, Access, Vol. 8, pp. 671-710, Sep 2020. DOI : 10.1109/ACCESS.2020.3023473
- [9] Soon ju Ko, Do hyeon Park, "Overseas Technology Trends and Domestic Development Pattern of Naval Combat Management System," Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies, Vol. 16, No. 2, pp. 237-258, 2009
- [10] Ki tae Kwon, "A Study on the Assessment of Threats of Warfare to Our Forces in the Naval Combat Management System," The Korean Institute of Defense Technology, Vol. 2, No. 1, pp. 109-110, 2015
- [11] Sang hyuk Choi, Jong seok Chae, Ji hoon Cha, Jae young Ahn, "Recent R&D Trends of Anti-Drone Technologies", Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 33, No. 3, pp. 78-88, Jun 2018
- [12] Seok hyeoung Lee, Yoon young Jung, "Current Status and Prospects of Drone Defense System Technology," Journal of the Information and Communications Magazine, Vol. 37, No. 10, pp. 62-68, Sep 2020
- [13] Gwang ryoung Hwang, Kyoung chang Ok, Young jin Kim, Bong wan Choi, Hyun seung Oh, Gwan sun Choi, "A Study on Development direction of Next-generation Naval Combat System Architecture," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 19, No. 1, pp. 105-118, Feb 2016. DOI: 10.9766/KIMST.2016.19.1.105
- [14] Chi sun Baek, Jin hyang Ahn, "A Study of the Standard Interface Architecture of Naval Combat Management System," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 26 No. 1, pp. 147-154, Jan 2021. DOI: 10.9708/jksci.2021.26.01.147
- [15] Hyung jae Lee, "Research of response for drone terrorism on military airfields," The Korean Association for Terrorism Studies, Vol. 13, No. 2, pp. 25-56, Jun 2020
- [16] Chan jeong Park, Ki yong Kim, "Patent Trend Analysis of Anti-Drone : Focusing on the Neutralization Means and Methods," Journal of the Korea Institute of Next Generation Computing, Vol. 16, No. 2, pp. 7-17, Apr 2020

Authors



Ki-Chang Kwon received the B.S. degrees in Information and Communication Engineering, from Yeungnam University, Korea, in 2015. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2015.

He is interested in Combat System Software, warfare module, interface control unit and data processing algorithm.



Ki-Pyo Kim received the M.S degree in Electrical Engineering and Computer Science from Gwangju Institute Science Technology, Korea in 2004. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2004.

He is interested in warfare and track management software of the naval combat management system, parallel computing, interactive genetic algorithm and graph theory.



Ki-Tae Kwon received the B.S. degrees in Computer Engineering from Kyungpook National University, Korea, in 2009. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2009.

He is interested in Combat System Software, weapon system and Information processing algorithm.