

드론 성능에 따른 방공무기체계 제압에 필요한 소요드론과 최적의 접근경로에 관한 연구

A Study on the Required Drone quantity and Optimal approach path for Suppressing Air Defense Weapon by Drone Performance

임성훈^{*.1)} . 김경수²⁾

Seonghoon Lim^{*.1)} . Kyongssoo Kim²⁾

[초 록]

무인무기체계에 의한 전쟁수행은 향후 전쟁의 판도를 바꿀 수 있는 Game Changer로 주목받고 있다. 그 중에서 드론을 이용한 작전수행은 가장 쉽게 접근할 수 있는 방법이며 이미 사용이 시작되었다. 드론을 이용한 공격작전 수행을 위해 다양한 공격방법에 대한 연구가 필요하지만 국내 군사 분야에서 자폭형 드론과 방공무기를 연계한 연구는 찾아보기 힘들다. 오히려 정찰용 드론이나 지원용 드론에 대한 최적경로 연구는 많이 이루어지고 있는 편이다. 자폭형 드론은 목표물을 향해 최단경로로 비행할 경우에 방공무기로 쉽게 요격당할 수 있다. 본 연구는 드론과 방공무기의 교전 시뮬레이션을 통해 자폭형 드론이 목표물에 최대한 근접할 수 있도록 원통형 곡선 비행경로를 따라 드론의 접근 경로점을 생성했고, 시뮬레이션 결과 수십 미터까지 접근 가능함을 확인했다. 또한, 방공무기체계 공격에 필요한 최소 드론 소요량과 요구되는 드론 성능에 관한 연구결과를 포함했다.

[ABSTRACT]

War performance by the unmanned weapon system is drawing attention as a game changer that can change the game of war in the future. Among them, Operation performance using drones is the easiest way to approach, and use has already begun. Research on various attack methods is needed to carry out attack operations using drones, but it is difficult to find research linking self-explosive drones and air defense aircraft in the domestic military field. Rather, many studies on the optimal path for reconnaissance drones or support drones are being conducted. Self-explosive drones can easily be intercepted by air defense weapon when flying in the shortest path toward a target. This study created an approach path point of the drone along the cylindrical flight path so that the self-explosive drone can get as close to the target as possible through the engagement simulation of drones and air defense weapon, and confirmed that the simulation can reach up to tens of meters. In addition, the research results on the minimum drone requirement required for air defense system attack and the required drone performance were included.

Key Words : Self-explosive drone(자폭형 드론), Air defense weapon(방공무기), Cylindrical path(원통형 경로), Path point (경로점)

1. 서론

1.1 연구배경

1) 국방대학교 국방관리대학원 무기체계전공 석사과정

2) 국방대학교 국방관리대학원 무기체계전공 교수

* Corresponding author, E-mail: tmandk@naver.com

Copyright © The Korean Institute of Defense Technology

Received : October 13, 2022 Revised : October 24, 2022

Accepted : December 12, 2022

전쟁에서 승리하기 위해 전쟁수행방식은 언제나 새로워져야 했으며 지금도 변하고 있다. 미래전 승리를 위해 전장공간은 육해공을 포함해 사이버 영역과 우주공간까지 확대되고 그 속에서 전쟁을 수행하는 방법은 더욱 복잡해지고 있다. 복잡한 전장 환경에서 사람이 담당해야 할 영역은 갈수록 넓어지고 복잡해진다. 미래전 승리를 위해 인간이 담당해야 할 영역에서 위험분야, 열악한 환경에서 희생을 강요하는 분야, 인내심을 가지고 버텨야 하지만 한시도 안심할 수 없는 분야 등

3D(Dangerous, Dirty, Dull) 영역이라고 불리는 분야를 자동화와 인공지능으로 무장한 로봇이 담당해주는 것은 선택이 아니라 필수가 되어버렸다^[1]. 갈수록 줄어드는 미래 병력자원은 가까운 미래에 인력에 의한 전쟁수행이 어려울 것이라는 신호를 보내주고 있으며, 오히려 인명중시사상이 확산하고 있다. 그래서 무인무기체계는 미래 안보위협을 극복하기 위해 모든 국가가 빠른 속도로 개발하고 발전시키려 하고 있다.

드론은 전투환경에서 인명손실을 줄이고, 실제 병력이 해야 할 임무를 대신하기 때문에 비용 대비 노력 절감, 위험 회피, 전투 효율성 향상시킬 수 있는 등 군사적 활용가치가 매우 높다. 육군은 2017년부터 ‘드론봇 전투체계’ 전력화와 작전을 수행방안 개발을 위한 노력을 이어오고 있다^[2]. 우리 군은 전력화한 드론은 정찰용 위주의 드론을 운영해왔지만 최근에는 육군이 이스라엘 IAI社의 하피(Harpy) 자폭형 드론을 도입하여 지상작전사령부 드론봇전투단 및 일선 부대에서 운용 시험을 거칠 예정이며, 공군도 예산문제로 인해 Harpy에 대한 군수지원이 불가하여 2021년 3월 대공제압 유도무기-II 사업 선행연구 조사 및 분석 공고를 내면서 국산화 사업에 착수했다.

1.2 연구필요성

자폭형 드론의 일반적인 모습은 우리나라 공군이 운용 중인 이스라엘 IAI社의 하피(Harpy)를 떠올리면 된다. 하피는 지상 차량에서 발사된 후 지정된 상공을 배회하면서 적 레이더 전파가 수신되면 전파를 발신한 대상을 추적하여 자폭하는 무기 체계이다. 우리 군은 지상군 전술제대에 정식 편제하여 운용하려는 구상을 가지고 있다. 그러나 자폭형 드론의 경우 보병부대 편제 장비로 운용하는 경우는 거의 없는 것으로 알려졌다^[3]. 이는 정찰용이나 지원용 드론 범용화 사례가 많은 것에 비해 대조적이다. 그리고 자폭형 드론의 운용개념에 대한 구상이 아직 완벽하지 않은 것이 사실이며, 이를 발전시킬 필요가 있다.

작전사급 부대 공격드론의 운영개념과 요구능력으로 방공무기에 대한 대응은 자폭형 드론으로 제압하는 것으로 설명한다^[4]. 자폭형 드론은 아군지역 지상차량에서 발사되어 표적지역 상공까지 비행한다. 표적지역 인근 상공에서 배회하면서 대기하다가 적 레이더 신호를 수신하게 되면 수신된 레이더 신호의 위치를 향해 돌진하여 자폭한다.

자폭형 드론의 큰 한계는 빠른 속도로 돌진하는 자폭형 드론에 대응하기 위해서 방공무기의 무차별적인 사격으로 인한 요격 확률이 높아진다는 점이다.

자폭형 드론이 공격목적 달성을 위해 방공무기로부터 요격당하지 말아야 하며, 만약 요격을 당한다 하더라도 최대한 가까이 접근할 필요가 있다. 요격이 불가피하다면 자폭형 드론 추가 발사를 고려해야 하거나, 애초에 처음부터 다수의 자폭형 드론을 출격시켜야 한다.

1.3 관련연구

방공무기체계 제압을 위해서 드론을 활용한 연구는 국내에서 많이 이루어지지 않았다. 정우영 등(2015)은 다수의 무인기(4대의 이중 무인기)로 적 방공망 제압을 위한 시나리오를 구

성하고 이를 분석하여 적용가능성에 대한 연구를 하였다^[5]. 김정훈 등(2019)은 유·무인기의 협업을 이용하여 적 방공망 제압을 위한 임무 수행절차를 분석하기 위한 연구를 하였다^[6].

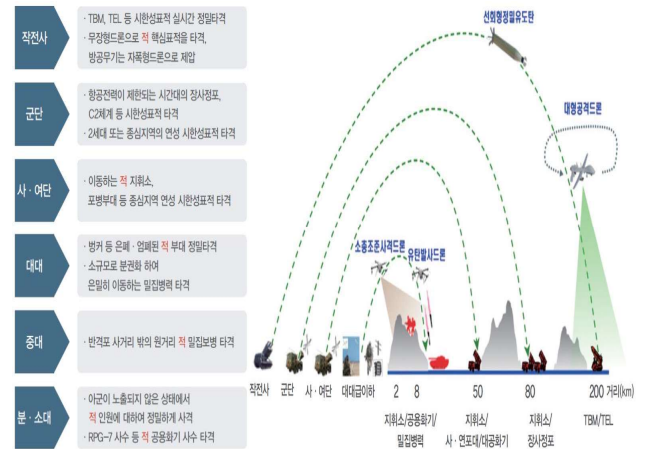


그림 1. 공격 드론의 운용 개념과 요구 능력

Fig. 1. Operational concept for attack drone and required capability^[4]

기존 연구들은 다수의 무인기 혹은 유·무인기 협업과 같이 3~4개의 정찰/공격용 무인기를 가정하였고, 이에 대한 적용가능성이나 임무 수행절차를 분석하였다. 그러나 자폭형 드론을 고려하지는 않았으며, 드론의 소요량이나 최적 접근경로에 대한 결과는 제시되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 자폭형 드론과 대상으로 하는 방공무기를 설정하고 방공무기를 제압하기 위한 소요 드론과 최적 접근경로에 대해서 분석한다.

본 연구는 자폭형 드론의 운용 개념과 관련한 연구이며, 구체적으로는 다음과 같은 질문에 대한 답을 도출하기 위한 연구이다.

- 1) 드론이 방공무기를 효과적으로 제압하기 위해 어떻게 움직여야 하는가?
- 2) 드론이 방공무기를 제압하는데 필요한 드론의 소요량은?

이를 위해 먼저 2장에서 본 논문에서 설정한 드론의 비행경로와 관련된 이론적 배경을 살펴본다. 3장에서 드론을 이용한 시뮬레이션의 구성에 대해 설명한다. 4장에서는 실험결과를 제시 및 분석하며, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 이론적 배경

2.1 드론 경로

일반적으로 자폭형 드론은 발사대에서 발사되어 표적 상공에서 선회 비행하면서 대기하는 도중에 표적을 발견하게 되면 적의 공격을 회피하려는 움직임 없이 직선에 가까운 움직임을 보이면서 돌진하여 표적을 파괴한다.

자폭형 드론은 방공무기를 제압하기 위해서 매우 근접하여 폭발하여야 한다. 방공무기에 근접하기 위한 최적의 접근경로는 방공무기를 향해 직선에 가깝게 움직일 때 짧은 시간과 적

표 1. 공격 드론의 접근 경로에 관한 선행연구
Table 1. Studies for attack drone's approaching path

Category	Content	Difference
Moon et al.(2003)	Simulation using flight path points that the aircraft must pass through	Focus on the shortest distance
Jeong et al.(2011)	Present various unmanned flight plans by designating path points	
Park et al.(2014)	Propose a path point determination technique to maximize survival	
Park et al.(2017)	Create an optimized flight path using a user-specified path point	
Han et al.(2018)	Implement optimal paths weighted on path points	
This paper	Simulation implementation for creating flight path points and suppressing air defense weapon	Focus on intercepting air defense weapon rather than the shortest distance

은 이동거리를 가질 것이다. 하지만 직선 움직임은 방공무기의 입장에서는 요격하기 쉬운 표적임에 분명하다.

방공무기는 직선으로 움직이는 드론을 향해 탐지되는 데로 직접 조준사격 한다면 드론을 격추하는데 실패한다. 방공무기는 드론의 비행속도와 방공무기에서 발사되는 탄의 속도와의 비율을 고려하여 방공무기의 조준각(리드각)을 결정하기 때문에 드론이 경로수정 없이 직선으로 움직이면서 방공무기의 조준각대로 진행한다면 정확하게 격추될 수밖에 없다. 그래서 드론은 격추되지 않기 위해 직선운동이 아닌 곡선운동을 하면서 접근하는 것이 필수적이다.

곡선운동은 물체가 곡선을 그리면서 움직이는 운동으로 원운동, 타원 운동, 포물선 운동, 쌍곡선 운동 등이 있는데 곡선운동은 굉장히 포괄적이고 광범위한 운동이다. 이 중에서 원통형 곡선운동을 적용한 분야는 굉장히 광범위해서 활용되지 않는 분야를 찾기가 어려울 정도로 삶 깊숙이 들어와 있다. 하지만 군사분야에서 드론에 적용한 사례는 찾아보기 힘들다.

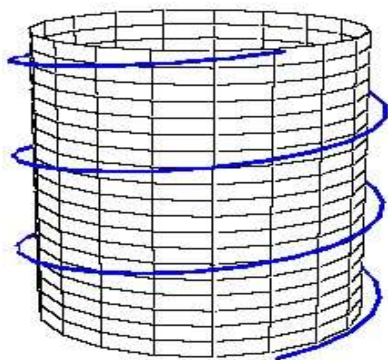


그림 2. 공격 드론의 원통형 경로
Fig. 2. Cylindrical path for attack drone

원통형 곡선은 Figure 2와 같이 가상의 원기둥이 있다고 가정할 때 원기둥의 표면을 따라서 원을 그리는 곡선이라 할 수 있다. 원통형 곡선운동을 하는 물체는 한마디로 원운동을 하면서 점점 나아가는 모습을 할 것이다. 지속적인 회전을 통해서

방공무기로 하여금 요격을 어렵게 만드는 것이 가능하다.

무인 이동체의 경로를 생성하고 최적화된 경로를 찾는 기법은 이전부터 활발히 연구되어 왔다. 문관영 등(2003)은 비행체가 통과해야 할 주요지점을 비행경로점으로 선정하고 이를 이용하여 시뮬레이션을 통해 최적 비행경로를 제시하였다^[7]. 정도희(2011)는 경로점 지정에 의한 무인 비행을 하는 다양한 방안에 대해서 제시하였다^[8]. 박상혁 등(2014)은 생존성을 최대화하기 위한 경로점을 결정하는 기법을 제안하였다^[9]. 박진혁 등(2017)은 사용자가 지정한 구역만 경로점(노드)를 생성하여 드론 비행 최적화 경로를 생성하였다^[10]. 한지수 등(2018)은 다양한 노드를 생성하여 다양한 경로를 만들고 각 경로마다 가중치를 부여하여 최적의 경로를 구현하였다^[11]. 이외에도 드론의 비행 경로 생성을 위해 경로점(혹은 노드)을 활용한 많은 연구들이 있다. 본 논문에서도 드론의 비행경로 생성을 위해서 경로점을 활용하였지만 선행연구들은 최단거리에 초점을 맞추었고, 본 논문은 최단거리보다는 방공무기 요격을 위한 경로점 선정에 초점을 맞추었다.

2.2 방공무기 사격방법

국방전력발전업무훈련령의 무기체계 분류에 따르면 방공무기에는 대공포, 대공유도무기, 방공레이더, 방공통제장비가 있다. 본 논문에서는 대공포 중 하나인 20mm 대공포 발칸(Vulcan)을 시뮬레이션 대상으로 하였다.

시뮬레이션에 반영할 저고도 방공무기 20밀리 대공포 발칸의 사격방법은 사수가 육안으로 표적을 조준사격하는 것과 화망을 구성하여 사격하는 방법이 있다. 이중 화망을 구성하는 사격을 제외한 움직이는 표적에 대해서 사격하는 방법으로 시뮬레이션을 구성하였다.

3. 시뮬레이션 구성

3.1 드론 경로

본 논문에서는 이스라엘 IAI社의 하피(Harpy)를 시뮬레이션에 사용할 자폭형 드론으로 설정하였다. 자폭형 드론의 형상과

구체적인 성능은 Table 2와 같다. 자폭형 드론의 움직임은 곡선운동 중에서 원통형 곡선운동을 하면서 표적을 향해 접근하는 움직임으로 설정하였다.

표 2. 이스라엘 IAI사 하피의 주요 제원
Table 2. Main specifications of Harpy, IAI, Inc^[12]

Category	Content
Length	2.7m
Width	2.0m
Height	50cm
Airspeed	180km/h
Maximum speed	250km/h
Flight time	2hour

드론의 원통형 운동을 위해서 원통형 경로점을 생성하고 생성된 경로점을 따라 드론이 움직이는 것으로 설정하였다. 3차원 공간상 드론의 경로점 $\vec{P}(x,y,z)$ 는 아래 제시된 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\vec{P}(x,y,z) = (r \sin 2\pi l) \hat{i} + (r \cos 2\pi l - r) \hat{j} + (Cl) \hat{k} \quad (1)$$

이때 $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ 는 각각 x,y,z축의 단위벡터이고, r은 드론의 '회전반경', $0 \leq C \in R$ 는 단위가 없는 무차원으로써 드론의 원운동 정도를 의미하는 양의 상수로써 정의한다. $0 \leq l \in R$ 는 0부터 0.01씩 증가하는 드론의 경로점을 생성하기 위한 양의 실수이다. l을 투입하여 경로점을 생성할수록 x-y평면상에서는 원운동을 지속적으로 하면서 z축상으로는 점점 고도가 높아지는 모양이다. 시뮬레이션에 적용하기 위해서 고도가 낮아지도록 경로점을 설정하였다. C값이 커질수록 '원운동의 빈도'는 낮아지고 작을수록 원운동의 빈도는 커진다. 즉, 원운동의 빈도는 C의 역수인 $1/C$ 로 이해하면 편하다.

경로점과 다음 경로점까지 가는데 걸리는 시간을 Δt 라고 하면 식 (2)와 같이 적용이 가능하다. 드론의 속도와 관련해서는 앞서 정의한 Δt 동안 경로점 사이의 거리를 움직이므로 드론의 '비행속도'를 변수로써 조절이 가능하다. 원통형 운동경로를 변화시키기 위해 드론의 회전반경, 비행속도 그리고 원운동 빈도를 변수로 설정하고 다양하게 적용했다.

$$\Delta t = \frac{\text{경로점 사이의 거리}}{\text{드론의 비행속도}} \quad (2)$$

z축 방향으로 고도를 낮추며 방공무기에 접근하는 드론 외에도 여러 방향에서 방공무기로 접근이 가능하다. 다양한 드론의 원통형 경로점을 생성하기 위해 아래의 회전변환 행렬식 식 (3)을 이용하였다. $R_z(\psi)$ 은 z축 회전변환행렬이고, $R_y(\theta)$

은 y축 회전변환행렬이다.

3차원 공간상 임의의 지점에 드론이 위치해 있다고 가정하였을 때 위치한 드론의 고도각(θ)과 방위각(ψ)을 추출하고, 식 (1)과 식 (3)을 이용하여 z축을 중심으로 임의의 방위각(ψ)만큼 회전한 후 y축을 중심으로 임의의 고도각(θ)만큼 회전하여 원통형 곡선운동 경로점을 생성한다. 최초 임의의 드론이 위치해 있다고 가정했던 지점에서 방공무기를 잇는 직선과 수직인 가상의 평면상에서 원운동을 하며 방공무기를 향해 접근하는 원통형 곡선운동을 하는 경로점을 생성할 수 있다.

$$R_z(\psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

3.2 방공무기

본 논문에서는 육군에서 실전배치하여 사용중인 K263 자주발칸(Vulcan)을 방공무기로 설정하였다. 차체는 K200 장갑차이고, 20mm 발칸포가 탑재되어 있다. K263 자주발칸의 주요 제원은 아래 Table 3과 같다. 발칸은 레이더에 의해 표적을 탐지할 수 있고 자체적으로 사격제원을 결정할 수 있는 방공무기이다. 일정한 시간동안 관찰된 이동하는 표적의 두 점을 근거로 발칸이 조준해야하는 지점을 지속적으로 최신회하는 방법을 사용하였다. 세부과정은 시뮬레이션 모의절차에서 설명한다.

표 3. K264 발칸의 주요 제원

Table 3. Main specifications of K263 vulcan^[13]

Category.	Content
Length	5.49m
Width	2.91m
Height	2.92m
Caliber	20mm
Effective Range	1.5km
Muzzle velocity	1,050m/s

3.3 가정사항

드론과 방공무기의 교전상황 시뮬레이션을 용이하게 하기 위해서 하피의 정면, 측면, 상부의 모습을 바라보았을 때 표면적을 계산하여 평균값인 약 반경 1m의 구의 형태로 가정하였다. 육안상 직육면체에 가까운 발칸의 형태도 드론과 마찬가지로 정면, 측면, 상부의 모습을 바라보았을 때 표면적을 계산하여 평균값인 약 반경 1.7m의 구의 형태로 가정하였다. 3차원 공간상 발칸은 평평한 평지에 위치해 있으며 드론과의 떨어진 거리는 발칸의 유효사거리를 고려하여 약 1.5km로 가정하였

으며 발칸의 포탑 회전속도와 관련한 제원은 초당 90°로 가정하였다.

3.4 모의절차

드론이 1대일 경우 실시한 모의는 Figure 3의 절차에 따라 진행하였다. 발칸 이동표적 사격방법을 시뮬레이션에 적용하기 위해서 일정한 시간동안 관찰된 이동하는 표적의 두 점을 근거로 발칸이 조준해야하는 예상 조준지점을 지속적으로 최신화하는 방법을 사용하였다.

3차원 공간상 임의의 지점에 드론의 위치를 생성하고, 식 (1)과 식 (3)을 이용하여 드론의 원통형 곡선운동 경로점을 생성한다. 최초 관측된 드론의 첫 번째 관측지점(\vec{P}_1)과 일정한 시간(Δt)이 지난 후 드론의 두 번째 관측지점(\vec{P}_2)을 발칸이 식별한다. 직선운동이라는 가정하에 발칸의 입장에서는 Δt 경과 후 예상되는 드론의 이동거리를 x,y,z축 방향별로 드론의 두 번째 관측지점과 첫 번째 관측지점 위치의 차이($\vec{P}_2 - \vec{P}_1$)로 예상할 수 있으며, Δt 동안 이동하였기 때문에 예상되는 드론의 방향별 속도는 $\vec{P}_2 - \vec{P}_1 / \Delta t$ 로 계산이 가능하다.

다음으로 드론의 두 번째 관측지점(\vec{P}_2)을 조준하여 발사한다고 가정하였을 때 소요되는 발칸 탄의 비행시간은 두 번째 관측지점(\vec{P}_2)까지의 거리를 발칸의 포구초속으로 나누어 구할 수 있으며, 소요 비행시간만큼 발칸 탄이 비행하였을 때 발칸이 예상할 수 있는 드론의 위치를 알 수 있다. 이 예상되는 드론의 위치가 실제로 발칸이 두 개의 관측지점으로부터 예측할 수 있는 예상 조준점이다.

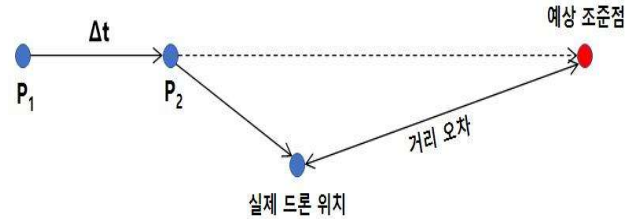


그림 4. 드론의 예상 조준점과 발칸 탄 사이의 거리 차이
Fig. 4. The distance difference between the expected point of the drone and the valcan bullet

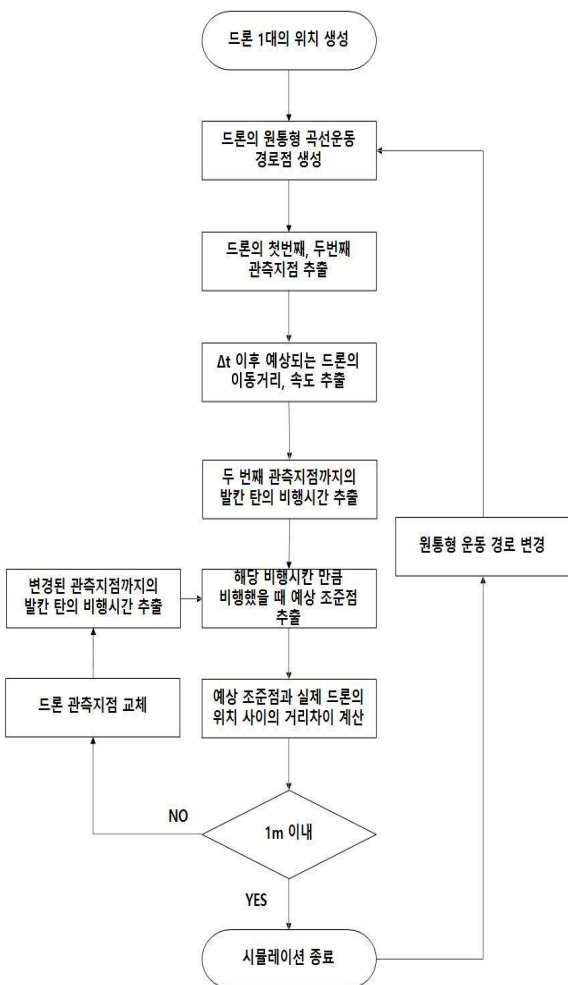


그림 3. 1대의 드론 접근 시뮬레이션 논리
Fig. 3. Simulation logic for single drone approach

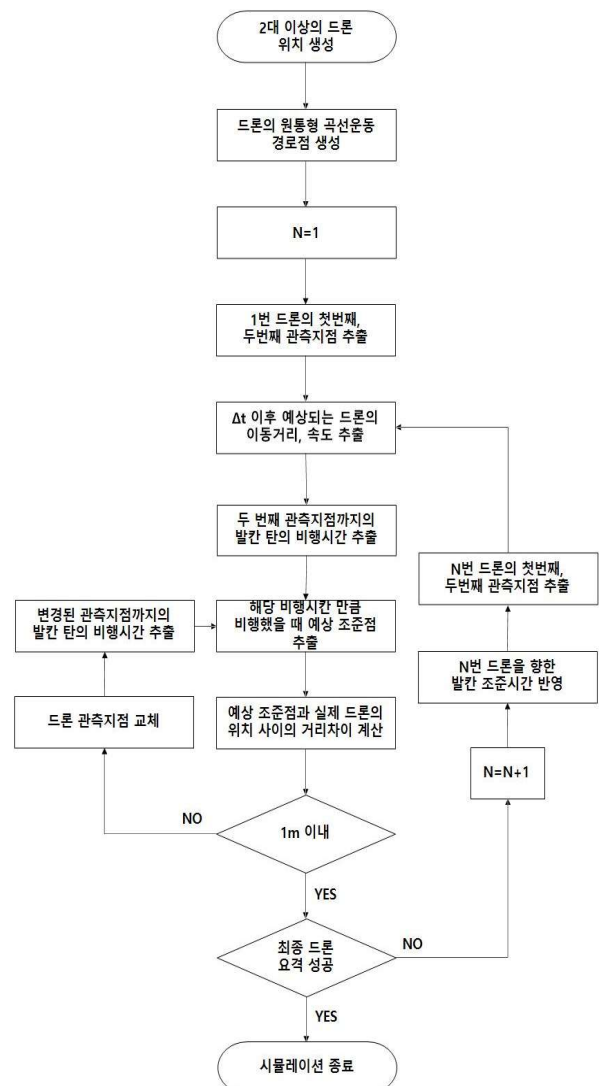


그림 5. 2대 이상의 드론 접근 시뮬레이션 논리
Fig. 5. Simulation logic for dual drone approach

하지만 실제 드론은 발칸이 예측한 예상 조준점으로 움직이지 않는다. 실제 드론의 위치와 발칸의 예상 조준점간의 거리 차이가 발생하게 되는데 이 차이가 드론과 발칸 탄과의 거리 오차이다. 처음에는 이 거리오차가 매우 클 것이다. 드론 관측 지점을 교체하고 예상 조준점을 계속해서 최신화하여 거리오차를 점차 줄여나감으로써 발칸은 드론을 요격할 수 있다. (Figure 4 참조)

첫 모의절차 이후 앞서 드론의 형태를 약 1m의 구형으로 가정하였기 때문에 드론과 발칸 탄과의 거리가 1m 이내가 아닐 경우 드론의 관측지점을 교체하여 앞서 실시한 과정들을 되풀이한다. 변경된 관측지점까지의 발칸 탄의 비행시간을 추출하고, 해당 비행시간 만큼 비행했을 때 예상 조준점을 추출한다. 예상 조준점의 위치와 실제 드론 위치의 거리오차를 점차적으로 줄이는 과정을 계속해서 반복한다. 예상 조준점의 위치와 실제 드론 위치의 거리오차가 1m 이내가 되어서 드론이 요격되었을 경우 해당 지점과 발칸과의 거리를 '요격거리'라고 정의한다. 예상 조준점의 위치와 실제 드론 위치의 거리오차가 1m 이내일 경우 시뮬레이션을 종료한다. 드론의 이동경로를 변화시키기 위해서 드론의 회전반경, 비행속도 및 접근속도를 변화시키면서 요격거리 변화를 추출한다.

드론이 2대 이상일 경우 실시한 모의는 Figure 5의 절차에 따라 진행하였다. 드론이 2대 이상일 경우에는 첫 번째 드론을 요격한 이후에 차후 드론에 대한 발칸의 재조준하는 시간을 추가로 반영하였다. 앞서 발칸의 포탑 회전속도를 가정하였기 때문에 이를 이용하여 첫 번째 드론의 요격지점과 차후 요격할 드론의 요격지점에 대한 방위각과 고도각의 차이를 이용하여 발칸의 재조준시간을 설정하였다.

4. 시뮬레이션 결과

4.1 드론의 비행속도 및 원운동 빈도 일정, 회전반경 변화

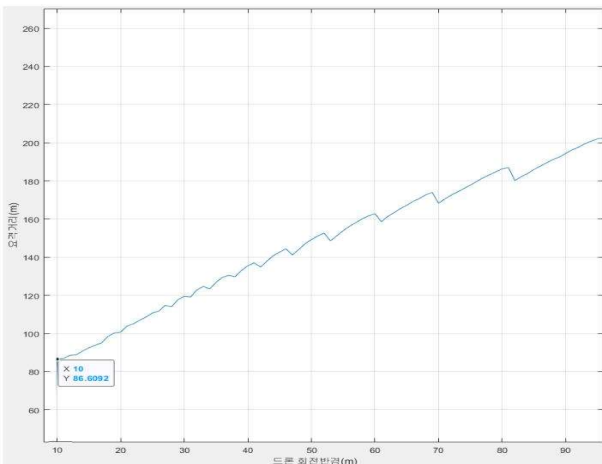


그림 6. 드론의 비행속도 및 원운동 빈도는 일정하고 회전반경 변화에 따른 발칸과 요격된 드론까지의 거리
Fig. 6. Distance from Vulcan to intercepted attack drone under constant maximum flying speed and frequency of circular motion with respect to radius of curvature variation

드론의 비행속도와 원운동 빈도(C=10)는 일정하게 고정시키고, 회전반경을 변화시켜며 요격거리의 변화를 살펴보았다. 하피의 회전반경 제원에 대한 정보는 확인이 제한되어 최소 10m에서부터 1m씩 증가시켜 최대 100m까지, 비행속도는 하피의 최대속도인 시속 250km로 설정하였다. Figure 6은 드론 1대가 일정한 최대속도와 원운동 빈도를 가질 때 회전반경의 변화에 따른 요격거리에 대한 시뮬레이션 결과이다.

드론의 회전반경이 점점 작아질수록 드론의 요격거리는 점차 감소함을 확인할 수 있다. 즉, 방공무기에 더 가깝게 다가갈 수 있음을 의미한다. 드론 회전반경이 10m일 때 요격거리는 86.61m로 최소 요격거리를 가진다. 원통형 곡선운동은 원운동을 하면서 진행한다. 직선의 곡률은 0으로 표현이 되고 원의 곡률은 반지름의 역수로 표현이 되는데 반지름이 작을수록 곡률은 커지고 반지름이 클수록 곡률은 작아진다. 드론의 회전반경이 커질수록 곡률이 작아지므로 회전반경이 큰 자폭형 드론일수록 방공무기는 더 멀리서 요격이 가능함을 알 수 있다.

4.2 드론의 회전반경 및 원운동 빈도 일정, 비행속도 변화

드론의 회전반경(r=10)과 원운동 빈도(C=10)는 일정하게 고정시키고 하피의 일반적인 비행속도인 180km/h(51m/s)에서부터 최대속도인 250km/h(69m/s)까지 변화시켜 요격거리의 변화를 살펴본다. 드론이 일반적인 비행속도로 비행할 때 117.1m의 가장 큰 요격거리를 나타내었고, 드론이 최대속도로 비행할 때 86.61m로 가장 작은 요격거리로 나타났다. 드론의 회전반경과 원운동 빈도가 일정하다고 할 때 드론의 비행속도가 빠를수록 드론의 요격거리는 줄어들음을 확인할 수 있다. 아래 Figure 7은 드론 1대가 일정한 회전반경과 원운동 빈도를 가질 때 비행속도의 변화에 따른 요격거리에 대한 시뮬레이션 결과이다.

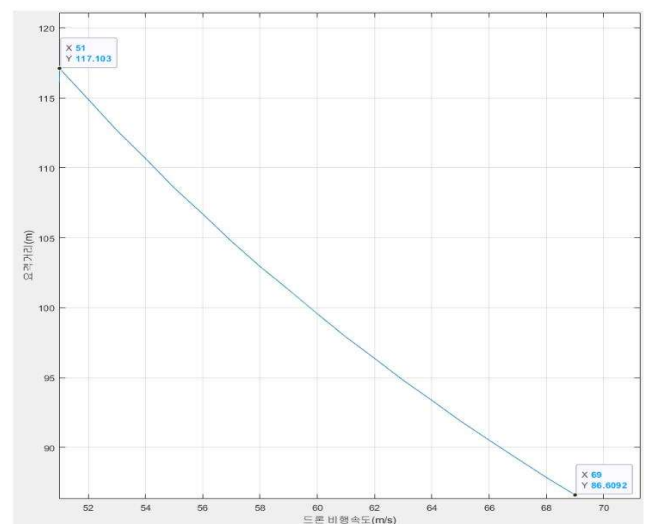


그림 7. 드론의 회전반경 및 원운동 빈도는 일정하고 비행속도의 변화에 따른 발칸과 요격된 드론까지의 거리
Fig. 7. Distance from Vulcan to intercepted attack drone under constant radius of curvature and frequency of circular motion with respect to flying speed variation

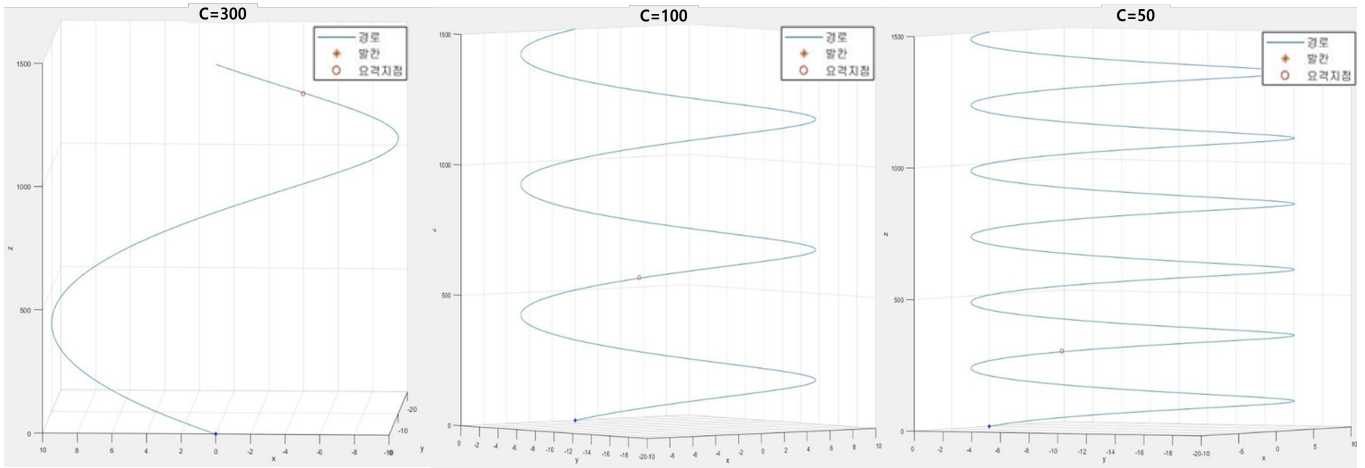


그림 8. 원운동 빈도에 따른 드론의 비행경로

Fig. 8. Drone's approaching paths with respect to frequency of circular motion variation

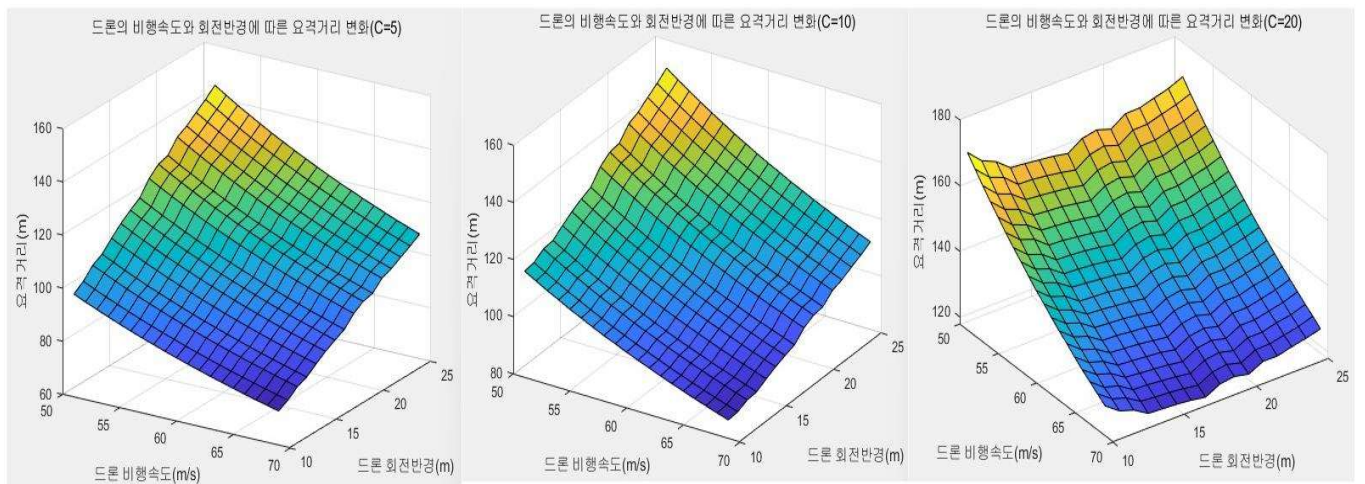


그림 9. 드론의 회전반경, 비행속도 및 원운동 빈도의 변화에 따른 발칸과 요격된 드론까지의 거리

Fig. 9. Distance from Vulcan to intercepted attack drone with respect to radius of curvature, flying speed and frequency of circular motion variation

4.3 드론의 회전반경 및 비행속도 일정, 원운동 빈도 변화

드론의 회전반경($r=10$)과 비행속도(250km/h)는 일정하게 고정시키고, 원운동을 변화시켜며 요격거리의 변화를 살펴 보았다. Figure 8은 좌측부터 원운동 정도 C 값이 300, 100, 50일 때 드론의 비행경로를 나타낸 그림이다. 파란선은 드론의 비행경로점을 이은 비행경로이고, 원점의 별모양은 발칸이 위치한 지점, 드론의 비행경로상 빨간 동그라미로 표시된 지점이 드론 요격지점이다. C 값이 300, 100, 50일 때 요격거리는 각각 1.38km, 538m, 276m로 나타났다. z 축을 기준으로 x - y 평면을 바라봤을 때 C 값이 300, 100, 50일 때에서 드론의 원운동 횟수는 각각 약 1회, 3회, 6회 지속되었다. 원운동 빈도가 작을수록 점점 직선의 형태로 변해가고, 원운동 빈도가 클수록 원운동을 지속하면서 방공무기를 향해 접근해간다. 즉, 원운동의 빈도가 작을수록 곡률이 작아지고, 원운동의 빈도가 클수록 곡률이 커지는 특성이 있다. 곡률이 작아지는 것은 직선에 가까워지는 것을 의미하기 때문에 방공무기의 입장에서

요격하기 쉬운 표적이 될 수 있다.

Figure 9는 드론의 회전반경, 비행속도 및 원운동 빈도의 변화에 따른 요격거리의 변화를 나타낸 그래프이다. 원운동 빈도가 커질수록 드론의 요격거리는 줄어들었다. 드론의 원운동 빈도와 회전반경에 관계없이 드론의 속도가 빨라질수록 요격거리는 줄어들었다. 드론이 원운동 빈도가 $C=15$ 이상이 되었을 때(z 축을 기준으로 x - y 평면을 바라봤을 때 원운동 횟수 약 20회) 드론의 비행속도나 회전반경에 관계없이 요격거리는 100m 이상으로 벌어졌다. $C=5$ 인 원운동 빈도를 가지는 드론이 최소 회전반경($r=10$), 최대 비행속도일 경우에 요격거리는 약 73m로 방공무기에 가장 가깝게 다가갈 수 있었다.

4.4 2대 이상의 드론 동시 투입

드론이 2대 이상일 경우에는 차후 드론을 향한 발칸의 재조준 시간을 반영한다. 첫 번째 드론이 요격된 순간 첫 번째 드론과 두 번째 드론의 방위각과 고도각 차이만큼 발칸은 포탑

을 회전해야하기 때문에 초당 90°로 가정한 포탑 회전속도를 이용하여 재조준 시간을 시뮬레이션에 반영하였다. 앞서 드론이 1대일 경우 회전반경이 작고 원운동 빈도가 크며 최대 비행속도를 가질수록 최적의 접근경로를 가질 수 있었다. 드론의 회전반경 10m, 원운동 빈도 C=5, 최대 비행속도를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 아래 Figure 10은 드론을 2대 투입했을 경우 비행경로를 나타낸 것이다. 첫 번째 드론의 경우 Figure 10에서 드론의 비행경로상 빨간 동그라미로 표시된 지점에서 발칸까지 약 72.99m의 요격거리를 보였고, 두 번째 드론은 발칸을 제압하는데 성공하였다.

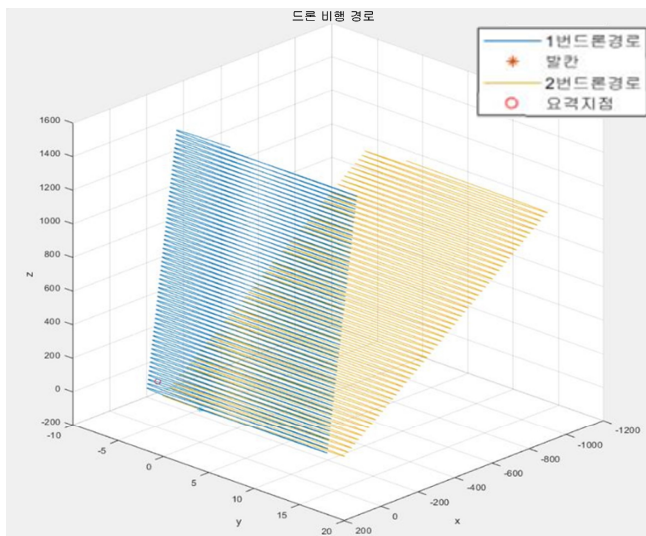


그림 10. 2대의 드론이 접근하는 경로

Fig. 10. Drone's approaching paths for dual attack

최소 회전반경인 10m에서 발칸 방공무기 제압을 위한 드론의 최소 소요량은 2대임을 확인하였다. 이스라엘 하피 뿐만 아니라 각국에서 운용중인 자폭형 드론의 경우 제원에 대한 구체적인 확인이 제한된다. 원통형 곡선운동의 경우 회전반경, 비행속도 및 원운동 빈도가 중요한 변수인데 드론이 방공무기에 가장 가깝게 다가가기 위한 최적의 접근경로는 비행가능한 최대 비행속도를 유지한 상태에서 최소의 회전반경으로 원운동 빈도가 C가 15미만 일 때 최적의 접근경로를 가짐을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 육안으로 조준사격을 하는 방공무기인 K263 발칸을 대상으로 자폭형 드론의 최적 경로와 소요량에 대해서 시뮬레이션을 이용해 다루었다. 드론의 최적경로는 일반적으로 최단거리로써 직선에 가까운 경로를 의미하지만 자폭형 드론은 방공무기로부터 피해를 최소화하기 위해서는 최단거리를 비행하기 보다는 곡선운동을 통해 방공위협을 최소화하는 것이 중요하다.

원통형 곡선운동 경로점을 이용하여 드론이 1대일 경우에 드론의 운동경로를 생성하고 드론과 방공무기의 요격 시뮬레

이션을 통해서 드론의 최적 경로를 선별한 후 드론의 수량을 늘려가면서 발칸을 제압할 수 있는 드론의 소요량을 제시하였다. 각국에서 운용중인 자폭형 드론의 경우 제원에 대한 구체적인 확인이 제한된다. 원통형 곡선운동의 경우 회전반경, 비행속도 및 원운동 빈도가 중요한 변수인데 방공무기에 가장 가깝게 다가가기 위한 최적의 접근 경로는 드론이 최대의 비행속도로 비행할 수 있는 최소의 회전반경으로 원운동 빈도가 클수록 최적의 접근 경로를 가질 수 있다. 일반적으로 빠른 속도로 돌진하여 방공무기를 제압하는 자폭형 드론의 기존 운용 개념을 발전시킬 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 방공무기를 평평한 지면에 있는 것으로 가정하였다. 하지만 방공무기의 경우 외부로부터 노출된 환경에 있지 않고 높은 건물이나 산속에 은엄폐하여 작전을 수행하기 때문에 지리적인 환경을 고려할 필요가 있어 향후 더 정확한 시뮬레이션을 위해 지리적인 위치를 고려할 뿐만 아니라 노후화된 발칸을 대체할 30mm 차륜형 대공포를 대상으로 한 연구가 필요하다.

References

- [1] Kim, S. S., Lim, S. H. (2022). "Types of Future Unmanned Weapon Systems and Key Technologies", Defense & Technology, (518), 152-161.
- [2] Ministry of National Defense. (2020). "2020 Defense White Paper".
- [3] Lee, Y. G. (2020). "Considerations for Self-explosive Drone Unit Plan", KIDA Defense Issues & Analyses, (1791), 1-9.
- [4] Lee, G. J. (2022). "A Study on the Implementation of the Drone Combat System", Defense & Technology, (515), 64-71.
- [5] Jeong, W. Y., Kim, K. D., Lee, S. H., & Bang, H. C. (2015). "Experimental Validation of Multiple UAVs with Vector Field Guidance for SEAD(Suppression of Enemy Air Defense)", J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, 43(3), 282-287.
- [6] Kim, J. H., Seo, W. I., Choi, K. Y., & Yoo, C. G. (2019). "Analysis of SEAD Mission Procedures for Manned-Unmanned Aerial Vehicles Teaming", J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, 47(9), 678-685.
- [7] Moon, K. Y., & Kim, Y. D. (2003). "Optimal Flight Path Design Passing Through Waypoints". The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Conference, 379-382.
- [8] Jeong, D. H. (2011). "A study of new application using unmanned airship way point flight". The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Conference, 1608-1612.

- [9] Park, S. H., Hong, J. H., Ha, H. J., Yoo, C. G., & Shin, W. Y. (2014). "Determination of Waypoints to Maximize the Survivability of UAV against Anti-air Threats". J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, 42(2), 127-133.
- [10] Park, J. H., Lee, G. M., Jang, B. J., Lee, S. H., & Kwon, G. R. (2017). "Method for Generating Optimization Paths of Drone Flight in User-defined Zones", IEIE Conference, 860-861.
- [11] Han, J. S., Hong, S. B., & Choi, W. H. (2018). "Route Optimization of Drones in Designated Areas Using Algorithm", SASE 2018 Spring Conference, 76-77.
- [12] Choi, C. G., Seong, C. S., & Lee, Y. W. (2014). "Introduction to air defense weapon". NODE MEDIA.
- [13] ROK Army. (2010). "Field Manual 36-6 20mm Antiaircraft Artillery".