

# 다수의 근접 고속표적에 대한 교전거리에 따른 효과도 분석

이세준<sup>†</sup> · 신일섭 · 한창현 · 나범철

LIG Nex1

## Analysis of the Effectiveness of the Multiple Short Range High Speed Target According to the Engagement Distance

Sejun Lee · Ilseob Shin · Changhyun Han · Beomcheol Na

LIG Nex1

In order to defend facilities from the threat of multiple short range high speed target of North Korea, the counter long-range artillery intercept system(CLRAIS) is in progress. It is similar with air defense operations, however there is a characteristic that three thousand rounds per minuter are concentrated. To provide protection against low-altitude and multi target, threat and the weapon must be decided quickly and accurately with the shortest time. In this paper, we propose a threat assessment and weapon-target assignment in multi-target and multi-weapon environments. According to the engagement distance, we study the effectiveness of the engagement. In order to figure out the factor, we define the variables to be used in the simulation. according to engagement scenario, the effectiveness analysis is verified the monte-carlo simulation. The results of this study, It can be used to predict and analyze for intercept probability.

**Keywords:** Effectiveness for M-to-M Engagement, Threat Assessment, Weapon-Target Allocation

### 1. 서론

대한민국 수도권을 사정거리로 하는 북한의 근접 무기는 전방지역에 배치되어 주요 핵심 시설을 위협하고 있다. 특히 우리 군은 한반도 전 지역 방어를 위해 복합 다층방어체계 구축을 추진 중이며, 고속의 장사정포에 대한 동시 대응 능력 확보를 위해 한국형 아이언 돔인 장사정포요격체계 조기전력화를 위한 연구가 활발히 진행 중이다(Ministry of National Defense, 2022). 장사정포는 탄의 특성 상 유도 미사일이나 탄도 미사일에 비해 정확성이 떨어지지만, 다수의 포가 아군 방호영역에 집중되어 폭격되기 때문에 신속한 탐지, 추적, 교전을 보장하는 것이 필수적이다. 특히 전장 상황에서는 운용자가 의사결정을 내려 즉각 대응해야 하기 때문에 위협평가와 무기별 표적 할당이 짧은 시간 내에 정확히 이루어져야 한다. 하지만 표적과 무기 수량이 증가할수록 최적 해를 찾는 시간이 기하급수적으로 증가하는 문제점이 있다(Lloyd *et al.*,

1986). 이러한 문제를 해결하기 위해 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 근사 해를 찾는 방법들이 연구되었다. 휴리스틱 알고리즘은 최적해가 될 가능성이 없는 부분을 방지하여 만들어야 할 답의 수를 줄이는 것을 목표로 한다. 대표적으로 사용한 기법으로 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA), 담금질 기법(Simulated Annealing, SA), 개미 군집 최적화(Ant Colony Optimization, ACO), 개체 군집 최적화(Particle Swarm Optimization, PSO), 타부 서치(Tabu Search, TS)가 있다.

북한의 위협무기체계 중에서 근거리 고속표적인 장사정포의 요격체계는 개발 초기단계로 무기할당 관련 연구가 다수 진행 중이지만, 체계 효과도 분석 관련 연구는 미흡하다. 효과도 분석은 체계 개발 초기 단계에서 군 요구의 적절성 검토와 합리적 의사결정을 할 수 있는 매우 중요한 수단이다. 따라서 본 논문에서는 위협평가와 무기별 표적 할당 알고리즘을 제안하고 다수 표적의 동시 교전 시나리오에 대하여 교전거리에

<sup>†</sup> 연락처 : 이세준 선임, 13488 경기도 성남시 분당구 판교로 333 LIG넥스원, Tel : 031-5178-4996, Fax : 031-5179-7088,

E-mail : [sejun.lee@lignex1.com](mailto:sejun.lee@lignex1.com)

2023년 8월 27일 접수; 2023년 9월 4일 게재 확정.

다른 효과도를 분석하고자 한다. 효과도 분석 모델을 위해 근접 고속표적 요격체계는 레이더, 방호영역, 표적, 발사대, 요격탄으로 구성하였다. 레이더는 적탄을 탐지하여 추적하고 교전통제소는 요격탄별로 표적을 선별하여 할당 후 발사대는 장사정포 탄을 요격하기 위하여 요격탄을 발사하는 일련의 과정을 거친다(Kim *et al.*, 2022). 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 기존에 제안된 무기-표적 할당 및 효과도 연구를 소개한다. 제3장에서는 본 논문에서 다루는 위협평가 알고리즘 및 무기-표적 할당 정의를 제안한다. 제4장에서는 작성된 모델을 중심으로 시나리오를 바탕으로 근접 고속표적 요격체계 효과도 분석 결과를 제시한다. 제5장에서는 결론과 향후 발전 방향을 제시한다.

## 2. 관련연구

위협평가 및 무기할당은 다수의 표적에 가용 무기 자원을 적절히 할당함으로써 자산 방어율을 최대화하거나 위협 표적 타격률을 최대화하는 목적을 실현할 수 있다. 무기별 표적 할당은 정적 무기할당과 동적 무기할당으로 구분된다(Cai *et al.*, 2006). 정적 무기할당은 전장상황을 고려하여 한 번의 의사결정을 통해 가용할 수 있는 무기를 할당한다. 동적 무기할당은 전장상황을 실시간성으로 극대화하기 위해 가용 가능한 무기 할당, 요격탄 발사, 격추평가에 이르기까지 각 단계에 걸쳐 의사결정을 한다. 하지만 교전 환경의 규모가 커지고 표적이 증가할수록 복잡도가 증가한다. 최적화 문제에 있어 계산시간을 단축하기 위해 메타 휴리스틱 기법을 사용하여 근사적으로 해를 찾는 방법들이 연구되고 있다. Lee *et al.*(2002)은 개미 군집 최적화 알고리즘을 이용하여 무기 할당 연구가 진행되었지만 국부 최적에 쉽게 빠지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Lee *et al.*(2011)은 기존 개미 군집 최적화 알고리즘에서 다양화와 강화의 조합을 통해 성능이 향상하는 방법을 제안하였다. Lee *et al.*(2003)은 Greedy Eugenics를 혼합하여 최적화를 통해 성능을 향상한 유전 알고리즘을 제시하였다. Xin *et al.*(2010)은 타부서치를 이용하여 근사해를 찾는 알고리즘을 제시하였다. 네 가지 제약 조건인 기능, 전략, 자원, 참여 타당성을 고려하여 효율성을 높였다. Choi *et al.*(2017)은 휴리스틱 알고리즘 중 무기-표적 할당에 적합한 알고리즘을 찾기 위해 기존 연구의 다섯 가지(GA, SA, ACO, PSO, TS)의 메타 휴리스틱 알고리즘을 구현 후 성능을 비교하였다. 그 결과 모든 표적을 격추하기 위해 무기 용량이 부족한 경우는 TS가 성능이 우수하고, 무기 용량이 풍족한 경우는 PSO가 성능이 우수한 것을 확인할 수 있었다, 또한, 지역 탐색 능력이 강하면서도 지역 최적에 쉽게 빠지지 않은 TS가 우수한 성능을 나타내었다. Jung *et al.*(2020)은 표적에 대응하기 위해 동적으로 무기를 할당하고 교전 계획을 작성하는 휴리스틱 기반의 Rolling-Horizon 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 이 중 다중구간-사건 기반 스케줄링 알고리즘이 기존의

Shoot-Look-Shoot(SSL) 알고리즘과 비교하였을 때 우수한 해를 도출할 수 있었다. Park *et al.*(2019)은 동적 무장 할당 문제에서의 최적해 도출을 위해 메타 휴리스틱 방법의 일종인 Greedy Randomized Adaptive Search Procedure(GRASP) 알고리즘 적용 방안을 제안하였다. 기존 메타 휴리스틱 알고리즘은 실시간성을 만족하는 준 최적해 도출에 이점이 있지만 GRASP 알고리즘을 이용하여 최적해 탐색 성능에 더하여 연산 성능을 개선할 경우 실시간성으로 만족하는 무장할당이 가능한 것을 검증했다. Kim *et al.*(2022)은 강화학습 기반의 알고리즘을 적용하여 다중 장사정포 공격에 대응하는 동적 무기할당 알고리즘을 제안하였다. 기존 장사정포와 성능이 개량된 장사정포를 혼합하여 발사하는 전술을 사용하는 경우를 고려하여 시뮬레이션을 실행했을 때 기존의 SSL 발사 방법을 적용하여 구한 해보다 우수함을 제시하였다. 나아가 장사정포 탄 요격 성능 향상을 위해 교전통제소의 명령 할당 방식을 제안하고 실험을 통해 검증했다. Yook *et al.*(2020)은 장사정포 요격체계의 운영개념 정립과 운용 효과도 프로세스를 수립하였다. 탐지자산, 교전통제, 발사대 성능 등 다양한 변수들을 조합하여 시뮬레이션을 수행하고 요격률과 방어성공률에 얼마나 영향을 미치는지 분석하였다.

강화학습 기반의 알고리즘을 적용한 기존 연구에서는 방호영역과 요격포대의 방어자산 재고를 고려하였으나 표적의 기동 특성을 반영하지 않았다. 장사정포 요격체계 운용 효과도 분석을 수행한 기존 연구에서는 표적의 발사 방위, 고각 정보만을 활용하여 무기할당을 수행하였다. 따라서 본 논문에서는 휴리스틱 알고리즘을 기반으로 근접 고속 표적의 기동 특성을 반영하여 거리, 속도, 고도, 진입 각도에 가중치를 두었고, 속도나 고도, 진입 각도가 위협평가 범위를 벗어나는 구간에서는 불필요하다고 판단하여 제외하였다.

## 3. 문제정의

북한이 보유한 근거리에서 빠른 속도로 공격하는 표적의 성능 및 제원은 <Table 1>과 같다(Korea Defense Industry Association, 2019). 시간당 1만여 발의 포격을 가할 수 있는 것으로 평가되고 있으며 대한민국 수도권의 주요 시설 및 대형 건물에 공격을 가하면 수많은 인명 피해가 예상된다. 본 논문에서는 근접 고속표적

Table 1. Specifications of Long Range Artillery

	A Target	B Target	C Target
Maximum Range(km)	53	64	200
Altitude(km)	12	12~24	32
Shell Speed(mach)	2.5~3	2.5~3.5	5.2
Rate of Fire	2shots/ 1min	22shots/ 40sec	-
Number of Launch tubes	1 (row)	22 (extension)	8 (extension)

의 위협평가 방식을 표적의 정보(거리, 고도, 속도, 침로)와 방호 영역의 중요도를 반영한 가중치 함수로 정의하였다.

근접 표적의 공격에 따른 방호영역별 가중치 함수를 정의하여 위협평가를 수행하고 무기별 표적 할당을 하였다. 개발한 모델을 활용하여 근접 고속표적 요격체계 효과도 분석을 수행하여 교전 시작거리별 요격 확률을 분석하여 성능을 검증하였다. 효과도 분석 수행 시 다음과 같이 가정 사항을 가지고 수행하였다. 1) 레이더의 탐지, 추적 성능은 오차가 없다. 2) 방호 영역의 중심점과 발사대 위치는 일치한다. 3) 요격체계 사정거리 0~00km 범위 내에서 운용자의 의사결정 없이 일정 시간 간격에 따라 위협평가와 무기별 표적 할당을 자동화한다. 교전 상황에서 효과도 분석을 위해 운용 효과도는 교전 거리 내에 있는 적탄의 예상 탄착점을 향해 요격 무기체계가 요격하는 확률로 정의하였다. 이를 통해 위협평가 및 무기할당의 적합성을 판단하고 운용개념 수립에 활용할 수 있도록 요격확률을 예측하여 다양한 교전 시나리오에 대한 효과도 변화를 분석할 수 있다.

### 3.1 표적 위협평가

본 논문에서는  $j$ 개의 방호 영역을 중심으로 각 표적의 기동 특성을 정량화하여 위협도를 산출하고자 위협도 함수를 크게 두 가지로 나누어 정립하였다. 첫 번째는 표적의 기동 특성을 정량화하기 위해 각각의 방호 영역과 표적 간의 거리, 기동 속도 및 고도, 침로 방향을 고려하여 모델링한다. 일반적으로 방호 영역으로 진입함에 따라 거리가 짧고, 속도가 빠르며 고도가 낮을수록 위협도가 높다. 두 번째로는 방호 영역의 중요도를 고려하여 위협치를 계산한다. 전장 환경에 따라서 방호 영역의 중요도를 구분하여 피해를 최소화하는 것을 목표로 한다. 표적이 레이더에 최초 탐지되어 교전 영역에 들어오기 전까지 시간  $t$ 에서 표적의 위협치는 식 (1)과 같이 표현한다.  $i$ 는 표적의 인덱스이며 1부터 표적의 최대 탐지 개수만큼 표현할 수 있다.  $j$ 는 방호영역의 인덱스이다.  $K_{i,j,n}$ 는 표적  $i$ 와 방호영역  $j$ 에 대한 위협치이다.  $K_1$ 은 거리,  $K_2$ 은 속도,  $K_3$ 은 고도,  $K_4$ 은 침로에 대한 위협치로 나타낸다.  $W_n$ 은  $K_n$ 에 대한 가중치로 표현된다.

$$V_{i,j}(t) = \sum_{n=1}^4 K_{i,j,n}(t) \times W_n \quad (1)$$

식 (1)에서는 표적의 기동 특성을 정량화하여 위협치를 결정했다면 방호 영역  $j$ 에 대한 가중치를 고려하여 방호 영역의 중요도를 구분한 최종 위협도 함수는 식 (2)와 같다. 여기에서 방호영역은  $DA_j$ 이고, 방호영역  $j$ 에 대한 표적  $i$ 의 위협치는  $V_{i,j}$ 이다.

$$Th_{i,j}(t) = V_{i,j}(t) \times DA_j \quad (2)$$

#### (1) 거리 위협치

방호 영역의 중심점, 즉 발사대 위치와 표적 간의 거리에 따라 거리 기준의 위협치 계산은 식 (3)과 같다.  $R_{i,j}$ 은  $t$ 시점에서 방호 영역  $j$ 의 중심과 표적  $i$ 간 거리를 의미한다.  $R_{sta}$ 는 거리 위협치 산출 시 기준이 되는 최대거리를 의미한다. 방호영역으로부터 표적의 거리가 가까울수록 위협치는 커진다.

$$K_1 = \frac{R_{sta}}{R_{i,j}} \quad (3)$$

#### (2) 표적 속도 위협치

방호 영역을 중심으로 측정된 표적의 속도를 이용하여  $K_2$  위협치를 계산한다. <Table 2>에서 정의한 바와 같이 표적 속도는  $M$ 으로 표현되며, 각 구간의 범위에 대한 위협치는 <Table 2>에서 우측과 같이 결정했다. 표적 속도가 빠를수록 위협도가 증가하고,  $M_A$  미만일 때는 최소한의 위협도로 설정하였다.

Table 2. Threat Based on Target Velocity

Velocity(mach)	Threat
$M < M_A$	0.6
$M_A \leq M < M_B$	$0.5326e^{0.126M}$
$M \geq M_B$	1.0

#### (3) 표적 고도 위협치

방호 영역을 중심으로 측정된 표적의 고도 정보를 이용하여  $K_3$  위협치를 계산한다. <Table 3>에서 정의한 바와 같이 표적 고도는  $H$ 으로 표현되며, 각 구간의 범위에 대한 위협치는 <Table 3>에서 우측과 같이 결정했다. 표적 비행 고도가  $H_B$  이상으로 높으면 방어자산이 도달할 확률이 낮기 때문에 위협도가 감소하도록 하였고,  $H_A$  미만일 경우에는 저층 방어체계에 변경되기 때문에 위협도가 감소하도록 설정하였다.

Table 3. Threat Based on Target Altitude

Altitude(m)	Threat
$H < H_A$	$\frac{1}{H_A}H$
$H_A \leq H < H_B$	1
$H \geq H_B$	$-\frac{1}{H_A}H + \frac{H_B}{1000}$

#### (4) 표적 진입 침로

방호 영역을 중심으로 표적의 진입 각도로부터  $K_4$  위협치를 계산한다. 이 때, 방호 영역 중심이 원점인 ENU 좌표계를 기준으로 표적 진입 각도( $\gamma$ )는 아래와 같이 계산된다. 표적의

자세는 시점  $t$  일 때, 고각( $\theta$ ), 방위( $\psi$ )이다. 방위는 East 기준으로 시계방향으로 양수이다. 그리고 표적 진입 각도는 표적의 기수를 중심으로 시계방향 양수로 <Figure 1>로 나타낸다.

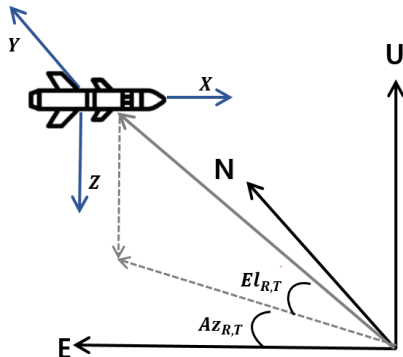


Figure 1. Target Entry Direction

식 (4)는 표적의 진입 침로  $\gamma$ 를 산출하는 식이고,  $K_4$ 의 위협치는 각 구간의 범위를 구분지어서 <Table 4>와 같이 위협치를 결정했다. <Table 4>에서 정의한 바와 같이 표적의 침로 각은  $\gamma$ 으로 표현되며, 각 구간의 범위에 대한 위협치는 <Table 4>에서 우측과 같이 결정했다. 방호영역을 중심으로  $\pm 00$ 도 이내로 진입하는 표적에 대해서 위협도가 있으며, 그 외의 침로로 비행하는 표적은 적이 아니라고 보기 때문에 위협도를 0으로 설정하였다.

Table 4. Threat Based on Target Aspect Angle

Aspect Angel(degree)	Threat
$0 \leq \gamma < \gamma_A$	$1 - \frac{\gamma}{\gamma_A}$
$\gamma_A \leq \gamma < \gamma_B$	0
$\gamma_B \leq \gamma < \gamma_C$	$\frac{\gamma - \gamma_B}{\gamma_A}$

$$C_N^B = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$P_B = C_N^B \begin{bmatrix} x_j - x_i \\ y_j - y_i \\ z_j - z_i \end{bmatrix} \quad \gamma = 360^\circ - \tan^{-1} \left( \frac{P_{B,y}}{P_{B,x}} \right)$$

(5) 방호 영역 가중치

방호 영역  $j$ 를 기준으로 표적  $i$ 의 위협도를 산출하였다. 방호 영역  $j$ 에 대한 순위의 가중치는 아래 <Table 5>와 같다. 표적의 목표 요격 지점은 주로 도심 지역의 주요 시설이 위치한 곳이므로, 주요 방호영역 순위로 가중치를 부여함으로써 생존 가치를 높이고자 한다.

Table 5. Threat of Defended Area

Ranking of Defended Area	Weight
1	1.0
2	0.9
3	0.8
4	0.7
5	0.6
6	0.5
7	0.4
8	0.3
9	0.2
10	0.1

3.2 무기할당 및 스케줄링 알고리즘

본 논문에서 무기할당은 <Figure 2>에 도시한 바와 같이 레이다로부터 표적이 최초 탐지되고 각각의 방호 영역  $j$ 에서 표적  $i$ 의 위협치가 높은 순서대로 정렬하여 표적  $i$ 에 무기를 순차적으로 추천한다. 이 때, 표적의 거리, 속도, 고도, 진입 침로, 방호 영역의 가중치를 고려하여 위협치를 산출한다. 요격 가능 영역으로 진입 전까지 일정한 주기로 스케줄링 후 운용자에 의해 요격탄이 수동으로 발사되거나 시스템이 자동으로 요격탄 발사를 처리할 수 있다. 만약 방호영역의 잔여 무기 수량이 없으면 해당 표적에 대한 차순위 방호영역에서 무기 할당해 준다. 요격탄 발사 후 조우 시점까지는 스케줄링에서 제외하고 격추 실패 시 해당 표적을 재 스케줄링 후 무기 할당한다.

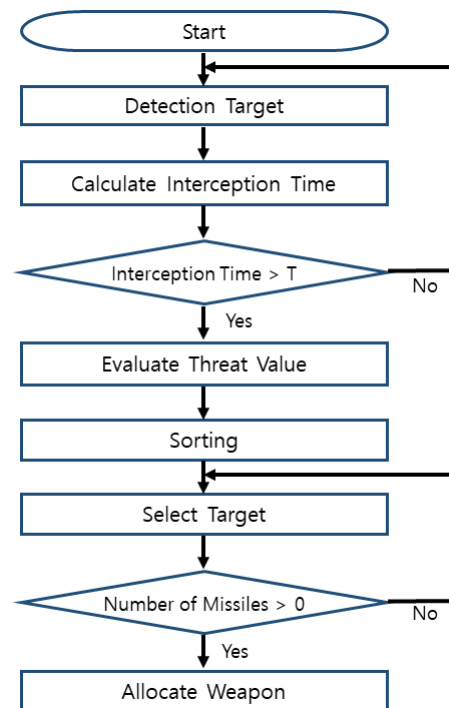


Figure 2. Flowchart of Weapon Allocation

본 연구에서는 무기 할당이 완료된 후 방호 영역에 배치되어 있는 각 발사대는 다수의 무기가 탑재되며 표적이 최소 교전 거리 내에 진입할 때까지 발사할 수 있다고 가정하였다.

무기할당 완료 후, 각각의 요격탄이 근접 고속 표적을 향해 발사될 때 표적의 발사 위치와 발사각을 알 수 없기 때문에 탄 궤적을 추정하기 위해서는 레이더로부터 표적의 위치, 속도 정보를 획득하고, 이를 이용하여 궤적을 추정한다. 일반적인 탄도 궤적 방정식은 식 (5)와 같이 표현할 수 있다. 중력을 반영한 포물선 방정식으로 표적의 초속과 발사각도로부터 시간에 따른 속도, 거리 및 고도 성분을 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_x(t) &= V_0 \cos \theta \\ V_y(t) &= V_0 \sin \theta - gt \\ x(t) &= V_0 \cos \theta t \\ y(t) &= V_0 \sin \theta t - \frac{1}{2}gt^2 \end{aligned} \quad (5)$$

시점  $t = t_{radar}$  일 때, 레이더로부터 획득한 표적의 위치, 속도 정보( $V_x, V_y, x, y$ )를 이용하여 표적의 초속( $V_0$ )과 발사각( $\theta$ )을 식 (6)과 같이 역산할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_x &= V_0 \cos \theta \\ V_y &= V_0 \sin \theta - gt_{radar} \\ x &= V_0 \cos \theta t_{radar} = V_x t_{radar} \\ t_{radar} &= \frac{x}{V_x} \\ V_0 \sin \theta &= \sqrt{V_0^2 - V_x^2} = V_y + gt_{radar} = V_y + g \frac{x}{V_x} \\ \therefore V_0 &= \sqrt{\left(V_y + g \frac{x}{V_x}\right)^2 + V_x^2}, \theta = \cos^{-1}\left(\frac{V_x}{V_0}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

이로부터 발사대로부터 최초 요격가능영역에 진입하는 시간  $t_{kill}$ 을 식 (7)로부터 산출하여 그 때의 표적 위치를 예측할 수 있다. 이 때, 요격가능영역은  $y(t_{kill}) = 00km$ 일 때로 정의한다. 최초요격가능시간부터 최소 교전거리 내에 표적이 진입할 때까지 일정 시간 간격으로 요격체계를 발사한다.

$$t_{kill} = \frac{V_0 \sin \theta}{g} \pm \frac{\sqrt{V_0^2 \sin^2 \theta - 2gy(t_{kill})}}{g} \quad (7)$$

#### 4. 시나리오 선정 및 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 <Table 6>과 같이 표적의 근거리, 고속 비행 특성에 초점을 맞추어 위협평가 시 가중치를 부여하고 다수 표적에 대해 다수 방호영역이 다대다 교전하는 시나리오에 대한 효과도 분석을 수행하였다. 표적 000대가 동시에 방호영역을

향해 0~30도 침로 각, 고각 45~60도, 속도 마하 0.0~0.0으로 진입하고, 교전 시작거리는  $R_s km$ 부터  $R_s - 5km$ 로 500m 간격으로 설정하였다. 시뮬레이션 시간 간격은 0.02초, 위협평가 가중치는 거리 성분이 0.55로 가장 크고, 속도 0.25, 고도 0.1, 침로 0.1로 부여하였다. 레이더는 100% 탐지하며 방어자산의 직경은 0.00m이고, 발사 장전 시간은 0.1초, 발사 명령에 따른 방위 및 고각 오차는 0.7mrad으로 설정하였다. 이로부터 최소 및 최대 교전 거리 내에서 거리에 따른 요격확률 변화를 분석할 수 있었다. 교전시나리오에 대한 몬테카를로 1,000회 수행 결과는 <Figure 3>과 같으며 표적 000대 중에서 1대를 식별하여 교전 시작거리 별로 평균 요격확률을 도시화한 것이다.

Table 6. Scenario Parameter

Item	Value	Unit
Radar Location	[0 0 0]	m
Radar Detection Probability	100	%
Maximum Engagement Distance	$R_s$	km
Minimum Engagement Distance	$R_s - 10$	km
Maximum Number of Targets	000	-
Aspect Angle	0~30	deg
Launch Elevation	45~60	deg
Velocity	0.0~0.0	mach
Diameter	0.00	m
Distance Weight	0.55	-
Velocity Weight	0.25	-
Altitude Weight	0.1	-
Aspect Angle Weight	0.1	-
Simulation Time	0.02	sec
Launcher Reload Time	0.1	sec
Launch Angle Error	0.7	mrad

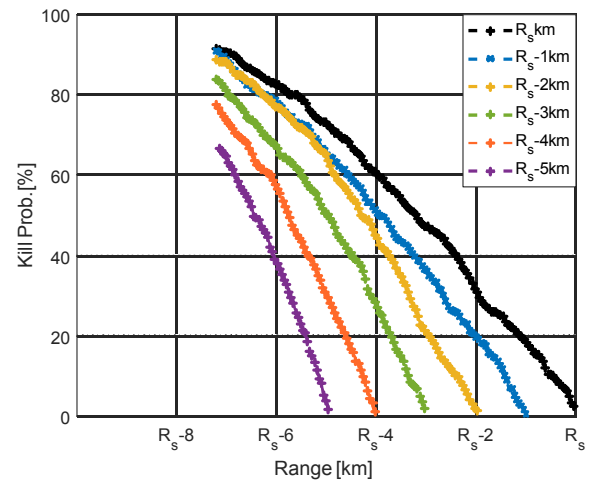


Figure 3. Result of Kill Probability

요격 무기 자원에 제한을 두지 않았기 때문에 교전 거리 내에서 표적에 대한 사격이 모두 실시되었다. 방호영역의 교전 시작거리를  $R_s$  km부터 500m씩 감소하여 표적이 최소 교전거리인  $R_s - 5$  km에 도달하였을 때의 표적 000대에 대한 평균, 최대, 최소 요격확률을 <Table 7>에 나타내었다. 최대 교전거리(교전 시작거리)가 감소할수록 거리  $R_s - 6$  km에서의 평균 요격확률은 감소하고,  $R_s$  km에서 교전 시작 시 81.65%,  $R_s - 5$  km에서 교전 시작 시 33.59%로 2배 이상의 요격 차이를 보이는 것을 확인하였다.

Table 7. Result of Monte Carlo

Maximum Engagement Distance	Monte Carlo 1,000 Average (Minimum Engagement Area)	Maximum	Minimum
$R_s$	81.65	88.4	73.4
$R_s - 0.5$	79.88	86.2	72.6
$R_s - 1$	77.30	85.1	66.5
$R_s - 1.5$	74.98	84.6	64.6
$R_s - 2$	71.98	81	61.8
$R_s - 2.5$	68.49	76.2	58.6
$R_s - 3$	64.22	72.8	53.4
$R_s - 3.5$	58.94	67.8	48.8
$R_s - 4$	52.88	63.6	42.8
$R_s - 4.5$	45.89	58.6	35.4
$R_s - 5$	33.59	46.4	20.4

교전 영역 내에서 거리  $R_s - 6$  km에서의 평균 요격확률 00%를 만족하기 위한 교전 시작 거리는 <Table 8>에 표기 하였다. 예를 들어, 평균 요격확률 50% 이상을 만족하기 위해서는 거리  $R_s - 4.3$  km부터 표적 요격을 시작해야 한다.

Table 8. Result of Average Kill Probability

Average Kill Probability(%)	Engagement Start Distance(km)
40	$R_s - 4.7$
50	$R_s - 4.3$
60	$R_s - 3.2$
70	$R_s - 2.4$
80	$R_s - 0.4$

결과적으로 방호영역으로 진입하는 표적에 대해 거리  $R_s - 0.4$  km부터 교전을 시작해야 최소 교전거리에서 평균 80%의 요격확률을 가지는 것을 확인하였다. 이를 활용하여 평균 요격확률을 만족하기 위한 교전 시작거리를 역산함으로써, 다수 근접 고속 표적과 교전 시 빠르고 정확한 대응을 할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 근접 고속표적 요격체계 효과도 분석을 수행하기 위해 크게 표적의 궤적 및 기동정보 생성, 위협평가 및 무기 할당 알고리즘, 요격체계 조준점 계산 및 발사 모델로 구성하였다. 교전 가능 영역 내로 빠르게 진입하는 다수 표적과의 교전 시나리오를 선정하여 교전 시작거리 별로 요격확률을 산출하여 분석하였다. 가정 사항으로 제시한 내용을 보완하여 추후 연구 활동으로 제시한다. 첫째, 위협평가 시 근접 고속표적의 기동 특성을 반영하여 표적의 거리, 속도, 고도, 침로를 반영한 가중치 함수로 반영하였는데 거리, 속도, 고도 범위를 세분화하여 함수화하면 방호영역 배치에 대한 정확도가 올라갈 것으로 기대된다. 둘째, 요격체계 사정거리 내에서 일정 시간 간격에 따라 위협평가와 무기별 표적 할당을 자동화 계산하였는데 방호영역 별로 가용 무기 자원을 제한하여 교전 상황을 보다 현실적으로 모사할 수 있을 것으로 보인다. 셋째, 본 연구의 주목적은 휴리스틱 알고리즘을 활용하여 근접 고속 표적에 최적화된 위협평가 방식을 적용한 체계 효과도 분석에 있기 때문에 기존 연구에서의 연산 속도나 위협평가 결과와의 비교는 수행하지 않았다. 추후 강화학습 기반의 알고리즘을 적용한 기존 연구와의 비교를 후속 연구로 진행할 필요가 있다.

끝으로 본 논문에서 근접 고속표적 요격체계 효과도 분석을 위해 개발한 모델은 향후 수많은 표적에 대한 다대다 교전 시나리오에 대한 요격확률을 예측하고 분석하는데 활용될 것으로 기대된다. 또한, 훈련이나 시험에서 교전 시나리오 수립 시 표적의 진입 속도, 고도, 침로에 따른 위협평가와 그 결과로부터 개별 방어자산의 교전 시작거리도 최적화할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

Ministry of National Defense (2022), Defense White Paper.  
 Agency for Defense Development (2022), Long Range Artillery Intercept Technology. <https://add.re.kr/board?menuId=MENU02766>.  
 Korea Defense Industry Association (2019), Defense & Technology, **489**, 114-129.  
 Cai, H., Liu, J., Chen, Y., and Wang, H. (2006), Survey of the Research on Dynamic Weapon-Target Assignment Problem, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, **17**(3), 559-565.  
 Choi, Y. H., Lee, Y. H., and Kim J. E. (2017), Comparative Study on Performance of Metaheuristics for Weapon-Target Assignment Problem, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **20**(3), 441-453.  
 Jung, J. K., Uhm, H. S., and Lee, Y. H. (2020), Rolling-Horizon Scheduling Algorithm for Dynamic Weapon-Target Assignment in Air Defense Engagement, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineering*, **46**(1), 11-24.  
 Kim, H. H., Kim, J. H., Kong, J. H., and Kyung, J. H. (2022), Reinforcement Learning-based Dynamic Weapon Assignment to Multi-Caliber Long-Range Artillery Attacks, *Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering*, **45**(4), 42-52.

- Kim, T. G., Kim, Y. G., Kim, D. G., Park, I. C., Shim, D. H. (2022), Analysis of the Effectiveness of the Long-range Artillery Intercept System According to the Command Assignment Algorithm of the Control Center, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **48**(2), 185-197.
- Lee, D. E., Oh, H. R., Kauh, J. H., Park, Y. W., and Lee, Y. J. (2011), Improved Ant Colony Optimization Algorithm Design for Weapon-Target Assignment, *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 410-411.
- Lee, Z. J., and Su, S. F. (2003), Efficiently Solving General Weapon-Target Assignment Problem by Genetic Algorithms With Greedy Eugenics, *IEEE Transactions on Systems*, **33**(1), 113-121.
- Lee, Z. J., Lee C. Y., and Su S. F. (2002), An Immunity-Based Ant Colony Optimization Algorithm for Solving Weapon-Target Assignment Problem, *Applied Soft Computing*, **2**(1). 39-47.
- Lloyd, S. P. and Witsenhausen, H. S. (1986), Weapons allocation is NP-Complete, *Proc. Conf. on Summer Computer Simulation Conference*, 1054-1058.
- Park, K. K., Kang, T. Y., Ryoo, C. K., and Jung, Y. R. (2019), GRASP Algorithm for Dynamic Weapon-Target Assignment Problem, *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, **47**(12), 856-864.
- Xin, B., Chen, J., Zhang, J., Dou, L., and Peng, Z. (2010), Efficient Decision Makings for Dynamic Weapon-Target Assignment by Virtual Permutation and Tabu Search Heuristics, *IEEE Transactions on Systems*, **40**(6), 649-662.
- Yook, J. K., Hwang, S. J., and Kim, T. (2020), Impact of MOPs on Effectiveness for M-to-M Engagement with the Counter Long Range Artillery Intercept System, *Journal of the Korea society for simulation*, **29**(3), 57-72.