



Received: 2024/02/23  
Revised: 2024/03/07  
Accepted: 2024/03/20  
Published: 2024/03/31

**\*Corresponding Author:**

**Sejun Lee**

Dept. of Fire Control System for Guided Rocket and Missiles, LIG Nex1  
333 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13488, Republic of Korea  
Tel: +82-31-5179-4996  
Fax: +82-31-5179-7088  
E-mail: sejun.lee@lignex1.com

# 함정 전투체계의 다수 고속 표적에 대한 위협평가 및 무장할당 알고리즘 제안

## Proposal of the Threat Assessment and Weapon-target Allocation for Multiple High Speed Target in Naval Combat Management System

이세준<sup>1\*</sup>, 신일섭<sup>1</sup>, 한창현<sup>1</sup>, 나범철<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 PGM통제기술연구소 선임연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 PGM통제기술연구소 수석연구원

Sejun Lee<sup>1\*</sup>, Ilseob Shin<sup>1</sup>, Changhyun Han<sup>1</sup>, Beomcheol Na<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Dept. of Fire Control System for Guided Rocket and Missiles, LIG Nex1

<sup>2</sup>Principal Researcher, Dept. of Fire Control System for Guided Rocket and Missiles, LIG Nex1

### Abstract

본 논문에서는 표적의 거리, 방위 기동 속도, 고도를 이용하여 자함에 대한 위협치를 산출하였다. 이때, 자함에 탑재된 무장의 방어 가능 범위(최대사거리, 고도)를 이용하여 무장 대 표적 교전이 일대일 대응으로 이루어지도록 가정하였다. 무장 특성에 따른 위협치를 산출하였고 보다 정확하고 신뢰성 높은 위협평가가 이루어졌다고 볼 수 있다. 본 논문에서 제시한 알고리즘을 활용하여 대함전 외의 복합전에도 표적과 무장 특성을 반영하여 위협치 산출 및 무장 할당에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

In this paper, we propose the threat assessment and target-weapon allocation in naval combat management system. The threat value for ships is calculated using the target distance, azimuth, velocity, and altitude. It is assumed that weapon-to-target engagement would take place in one-on-one correspondence using the defensible range of the weapon in ship. It can be more accurate and reliable threat assessment is achieved by calculating the threat value according to the characteristics of the weapon. It is expected to be used to other system as well.

### Keywords

위협평가(Threat Assessment),  
교전가능시간(Time Window),  
무장할당(Weapon-target Allocation),  
함정전투체계(Naval Combat Management System),  
다수고속표적(Multiple High-speed Targets)

## 1. 서론

아군 함정이 대공표적 및 대함표적과 교전을 수행할 때 가장 중요한 요소는 빠르고 정확한 위협평가 및 무장할당이다. 특히 적의 유도탄, 항공기 등 기동 특성이 복잡해지고 고속 표적이 함정으로 근접하는 경우 폭격이 아군 방호영역에 집중되므로 운용자가 신속한 교전 결심을 해야 하고, 이를 위해서는 위협평가와 무기별 표적 할당이 짧은 시간 내에 정확히 이루어져야 한다.

표적이 아군 무장이 요격 가능한 거리에 진입한 순간 또는 레이더가 탐지한 순간부터 위협평가를 통해 표적의 위협 순위를 매기고 합리적인 무기 할당을 구현하기 위해서 많은 연구가 진행되었다. 표적의 진입 속도와 방위각으로 위협치를 계산하는 것이 기본이지만 [1,2], 표적의 거리와 보호자산의 중요도를 기반으로 위협치를 계산하는 연구도 있다[3]. 또한 표적의 거리, 속도, 고도가 위험한 순으로 가중치를 매겨 퍼지 규칙을 적용한 사례도 있다[4]. 하지만 기존 연구들은 표적의 고도가 낮고, 속도가 빠르고, 거리가 가까울수록 위험하다고 판단하기 때문에 복합전에서 위협평가 정확도가 낮을

수 있다는 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 아군 함정을 기준으로 고속 표적의 특성을 기반으로 거리, 속도, 고도, 경로에 가중치를 두고 이를 반영한 위협평가 방식을 제안하고자 한다. 이를 통해 다수 표적에 무기 자원을 적합하게 할당함으로써 표적 타격률과 자산 방어율을 최대화할 수 있다.

## 2. 표적 특성을 반영한 위협평가 방식

아군 함정(자함)을 중심으로 각각의 표적 기동 특성을 반영한 위협도를 산출하고자 자함과 표적 간의 거리, 표적의 기동 속도, 표적 기동 고도, 자함에 대한 표적 상대경로 각을 고려하였다. 이때 가정사항 3가지는 다음과 같다.

- (1) 자함 발사대를 중심으로 하는 NED 좌표계를 적용한다.
- (2) 무장의 종류는 저층방어, 중층방어, 상층방어 3가지로 두고, 각각의 최대사거리( $R_{stand}$ ), 최대고도( $H_{stand}$ )는 고정값으로 설정한다.
- (3) 무장 1대에 표적 1개 교전이 가능하다.

### 2.1 거리 위협치

자함에 설치된 발사대 위치로부터 표적까지의 거리에 대한 위협치( $T_{i,j,R}(t)$ ) 계산은 식 (1)과 같다.

$$T_{i,j,R}(t) = \begin{cases} 0 & R_i(t) > R_{stand,j} \\ 1 - \frac{R_i(t)}{R_{stand,i}} & R_i(t) \leq R_{stand,j} \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $R_i(t)$ 는  $i$ 번째 표적이 탐지된 후 시간  $t$ 일 때의 자함까지의 거리를 나타내고,  $R_{stand,j}$ 는  $j$ 번째 무장의 최대사거리이다. 자함으로부터 표적 거리가 작을수록 위협치가 증가하고, 같은 거리에 놓인 표적에 대해서는 최대사거리가 큰 무장이 위협치를 크게 가진다. 이때, 무장의 최대사거리가 표적거리보다 작은 경우 표적까지 비행하지 못하므로 위협치는 없다.

Fig. 1은 거리에 따른 거리 위협치를 도시한 것이다. 위협치는 표적이 무장사거리 내에 위치하면서 자함에 근접할수록 1에 가까워짐을 확인할 수 있다.

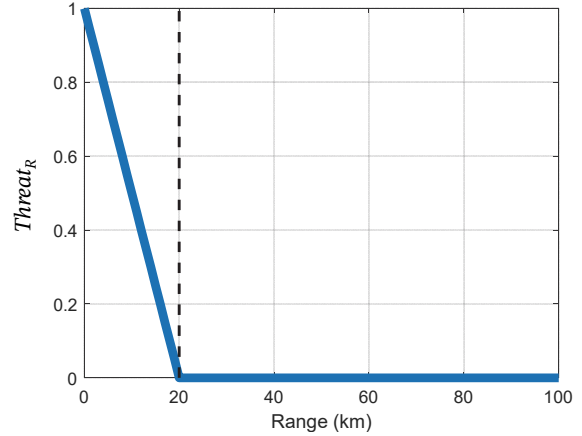


Fig. 1. Threat of range according to target range

### 2.2 속도 위협치

표적 속도에 대한 위협치( $T_{i,j,V}(t)$ ) 계산은 식 (2)와 같이 산출할 수 있다.

$$T_{i,j,V}(t) = \begin{cases} 1 & V_i(t) < V_{\min} \\ 1 + \frac{(V_i(t) - V_e)}{V_e - V_{\min}} & V_{\min} \leq V_i(t) < V_e \\ 1 & V_{\min} \leq V_i(t) \geq V_e \end{cases} \quad (2)$$

여기서,  $V_i(t)$ 는  $i$ 번째 표적이 탐지된 후 시간  $t$ 일 때의 표적 속도를 나타낸다. 표적 속도가 지정한 일정 속도 ( $V_e$ )를 초과하는 경우 위협치가 최댓값 1로 산출되고, 최저 속도( $V_{\min}$ ) 미만일 경우 위협치가 산출되도록 설정하였다.

Fig. 2는 표적 속도에 따른 속도 위협치를 도시한 것이다. 속도가 빠를수록 위협도가 증가함을 확인할 수 있다.

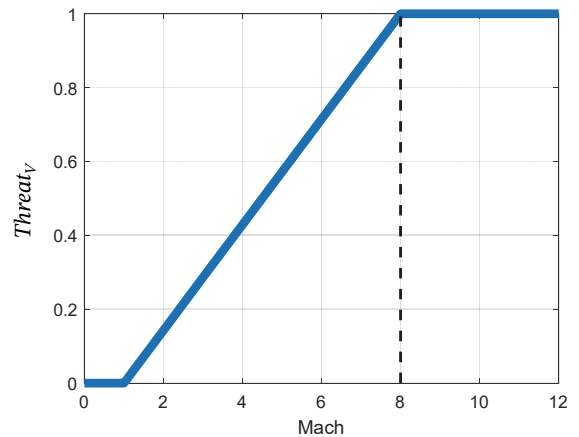


Fig. 2. Threat according to target velocity

### 2.3 고도 위협치

탐지한 표적 고도에 대한 위협치( $T_{i,j,H}(t)$ ) 계산은 Fig. 3와 같이 산출할 수 있다.

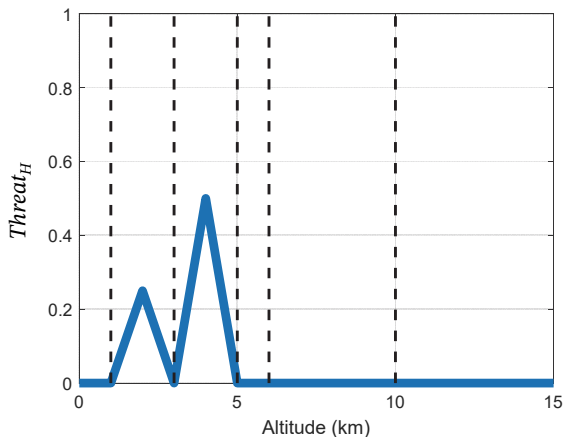
```

for i=1:length(target)
  for j=1:length(weapon)
     $T_{i,j,H}(t) = 0;$ 
    if  $H_{stand,j} > H_i(t)$ 
      if  $H_i(t) \geq H_1 \ \& \ H_i(t) < H_2$ 
         $T_{i,j,H}(t) = \frac{H_i(t) - H_1}{H_{stand,j} - H_1};$ 
      elseif  $H_i(t) \geq H_2 \ \& \ H_i(t) < H_3$ 
         $T_{i,j,H}(t) = \frac{H_i(t) - H_2}{H_{stand,j} - H_2};$ 
      elseif  $H_i(t) \geq H_3 \ \& \ H_i(t) < H_4$ 
         $T_{i,j,H}(t) = \frac{H_i(t) - H_3}{H_{stand,j} - H_3};$ 
      end
    end
  end
end
end

```

**Fig. 3.** Altitude threat calculation algorithm

여기서  $H_i(t)$ 는  $i$ 번째 표적이 탐지된 후 시간  $t$ 일 때의 표적 고도를 나타낸다. 표적고도를 저층, 중층, 상층 방어용 무장의 최대고도와 비교하여 각 무장  $j$ 에 대한 위협치를 산출하였다. 각 무장별 최대 고도는 Table 1에 나타난 바와 같다. Fig. 4는 표적 고도에 따른 위협치를 도시한 것으로, 무장 방어고도 6 km일 때를 예로 들었다.



**Fig. 4.** Threat according to target altitude

**Table 1.** Classification of defensible altitude

Parameter	Altitude (km)
Low floor	$[H_1 H_2]$
Middle floor	$[H_2 H_3]$
High floor	$[H_3 H_4]$

### 2.4 표적 경로 위협치

자함에 설치된 발사대로부터 표적 경로( $\gamma$ )는 식 (3)과 같고, 표적 자세를 반영한 따른 위치는 아래첨자  $B,t$ 를 써서 표기하였다.

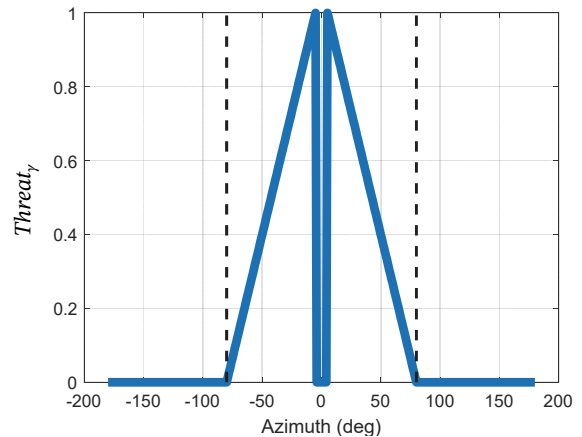
$$\begin{bmatrix} x_{B,t} \\ y_{B,t} \\ z_{B,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서,  $\gamma = 360^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{y_{B,t}}{z_{B,t}}\right)$ .

표적의 경로에 대한 위협치( $T_{i,\gamma}(t)$ ) 계산은 식 (4)와 같이 산출 가능하며, 방호영역을 중심으로  $\pm \text{OO}$ 도 외부에 있는 표적의 위협도는 0으로 산출하였다.

$$T_{i,\gamma}(t) = \begin{cases} 0 & |\gamma_i(t)| < \gamma_{\min} \\ \frac{\gamma_{\max} - |\gamma_i(t)|}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} & \gamma_{\min} \leq |\gamma_i(t)| \leq \gamma_{\max} \\ 0 & |\gamma_i(t)| > \gamma_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

Fig. 5는 자함을 기준으로 임의로 설정한  $\gamma_{\max}$ ,  $\gamma_{\min}$ 에 대한 위협치를 산출한 예시를 도시한 것이다.



**Fig. 5.** Threat according to target route

### 3. 위협평가 및 무기할당

2장에서 계산한 표적의 거리, 속도, 고도, 경로 위협치를 합산하여 표적 및 보유한 무장별 위협평가를 수행한다. 이를 통해 빠르고 정확한 무기할당을 해야 적시에 표적을 요격할 수 있다. 위협치 산출은 식 (5)와 같고, 각 요소마다 가중치를 두어 동일한 무장에 대해 각 표적의 위협치가 다르게 산출되도록 하였다.

$$T_{i,j}(t) = 1.5(T_{i,j,R}(t) + T_{i,j,H}(t)) + T_{i,V}(t) + T_{i,\gamma}(t) \tag{5}$$

Figs. 6-7과 같이 자함 위치를 원점으로 하는 NED 좌표계를 기준으로 표적 4대의 위치를 도시하였다. Table 2는 5개의 무장 및 4대 표적의 거리, 속도, 고도, 방위이며, 위협평가 및 무기할당 결과는 Table 7과 같다. 각각의 무장 대 표적에 대한 거리, 속도, 고도, 경로 위협치 계산은 Tables 3-6에 나타냈다.

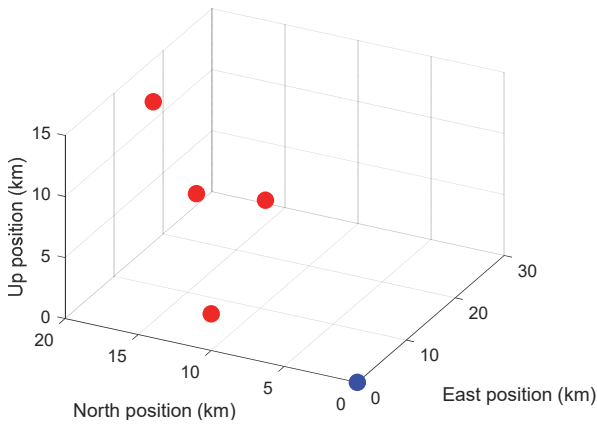


Fig. 6. Creation of the target scenario

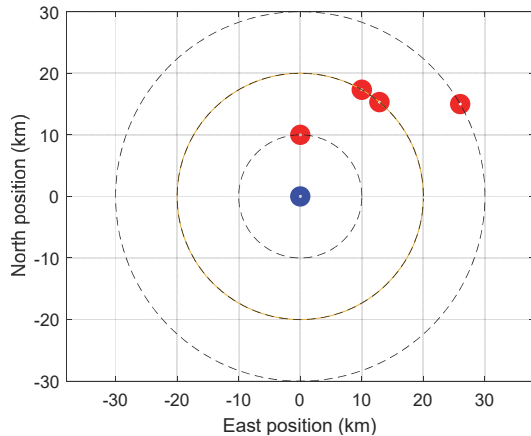


Fig. 7. Target plane schematic

Table 2. Information target and armed status

Weapon/target	Range (km)	Velocity (m/s)	Altitude (km)	Azimuth (deg)
Weapon	1	20	-	2
	2	30	-	4
	3	30	-	5
	4	30	-	8
	5	50	-	10
Target	1	30	200	2
	2	10	300	3
	3	20	300	7
	4	20	500	15

Table 3. Threat according to target distance

Weapon	T1	T2	T3	T4
1	0	0.5	0	0
2	0	0.667	0.333	0.333
3	0	0.667	0.333	0.333
4	0	0.667	0.333	0.333
5	0.4	0.8	0.6	0.6

Table 4. Threat according to target velocity

Weapon	T1	T2	T3	T4
1-5	0.625	0.75	0.75	1

Table 5. Threat according to target altitude

Weapon	T1	T2	T3	T4
1	0	0	0	0
2	0.5	2	0	0
3	0.333	1	0	0
4	0.167	0.4	2	0
5	0.125	0.286	0.667	0

Table 6. Threat according to target route

Weapon	T1	T2	T3	T4
1-5	0.571	0	0.286	0.286

**Table 7.** Result of the threat assessment

Weapon	T1	T2	T3	T4
1	1.196	1.5	1.036	1.286
2	1.946	<b>4.751</b>	1.536	1.786
3	1.696	3.251	1.536	1.786
4	1.447	2.351	<b>4.536</b>	1.786
5	<b>1.984</b>	2.379	2.937	<b>2.186</b>

Table 7에서 보유한 무장 5번에 대해 표적 1과 표적 4가 동시에 할당되는 문제점이 발생하므로 예외처리가 필요하고, 이는 Fig. 8에 나타낸 바와 같다.

```

weapon=[5 2 4 5];
count=100;
while count~=0
    for j=1:w
        temp=find(weapon==j);
        if length(temp)>1
            for i=1:length(temp)-1
                if T(j,temp(i))<T(j,temp(i+1))
                    [a,b]=sort(T(:,temp(i)), 'descend');
                    if count==100
                        weapon(temp(i))=find(b==2);
                    else
                        weapon(temp(i))=find(b==3);
                    end
                end
            end
        end
    end
    count=count-1;
end
    
```

**Fig. 8.** Enhanced threat assessment algorithm

여기서, 'weapon(i)'는 i번째 표적에 할당된 무장의 번호를 의미하고, 'w'는 보유한 무장 개수이다. 예를 들어 1번 표적에 대해 무장 5번이 할당될 때, 4번 표적이 무장 5번에 대해 위협치가 높아 우선순위를 가지면 다음으로 위협치 결과가 높은 무장으로 할당되는 알고리즘을 반복한다. 이를 적용하면 Table 8과 같이 표적 1대에 대한 무장 1대가 대응되는 것을 확인할 수 있다.

**4. 결론**

현대전에서는 함정전투체계에 있어 다수의 고속표적이 아함으로 접근할 때, 빠르고 정확한 교전 결정이

**Table 8.** Result of the threat assessment for enhanced algorithm

Weapon	T1	T2	T3	T4
1	1.196	1.5	1.036	1.286
2	1.946	<b>4.751</b>	1.536	1.786
3	<b>1.696</b>	3.251	1.536	1.786
4	1.447	2.351	<b>4.536</b>	1.786
5	1.984	2.379	2.937	<b>2.186</b>

이루어져야 표적을 격추하여 자산 방어를 극대화할 수 있다.

이에 따라 본 논문에서는 표적의 거리, 방위 기동 속도, 고도를 이용하여 자함에 대한 위협치를 산출하였다. 이때, 자함에 탑재된 무장의 방어 가능 범위 (최대 사거리, 고도)를 이용하여 무장 대 표적 교전이 일대일 대응으로 이루어지도록 가정하였다. 표적 4대가 각각의 운동 상태를 가질 때 5개의 무장 특성에 따른 위협치를 산출하였고 이로부터 최적의 무장할당이 이루어짐을 확인하였다. 단, 한 개의 무장에 대해 표적 2대가 대응되는 경우는 존재할 수 없기 때문에 위협치가 낮은 표적을 가용할 수 있는 무장이 대응하도록 예외 처리하였다.

이러한 위협평가 및 무장할당 방식은 기존의 연구와 같이 표적의 속도나 거리만으로 판별하는 것이 아닌 자함에 탑재된 무장의 특성도 반영하였기 때문에 보다 정확하고 신뢰성 높은 위협평가가 이루어졌다고 볼 수 있다. 하지만, 다수 표적 및 다수 무장에 대한 검증 및 다양한 시나리오에 대한 검토가 필요하다. 본 논문에서 제시한 알고리즘을 활용하여 대함전 외의 복합전에도 표적과 무장특성을 반영하여 위협치 산출 및 무장할당에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

**참고문헌**

[1] H. S. Koh, "The Threat List Acquisition Method in an Engagement Area using the Support Vector Machines," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 19, No. 2, pp. 236-243, 2016.  
 [2] K. C. Hwang, "A Study on the Gun-Oriented Anti Air Warfare Capability of the Patrol Killer Combat System," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 62-72, 2007.

- [3] M. H. Yoon, J. H. Park and J. H. Yi, "A Threat Assessment Algorithm for Multiple Ground Targets," *International Journal of Contents*, Vol. 18, No. 7, pp. 590–599, 2018.
- [4] B. J. Choi, J. E. Kim, J. S. Kim and C. O. Kim, "Fuzzy Rule-Based Method for Air Threat Evaluation," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 57–65, 2016.
- [5] Y. R. Jung, "A Study on Multi Sensor Track Fusion Algorithm for Naval Combat System," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 10, No. 3, pp. 34–42, 2007.
- [6] Y. H. Choi, Y. H. Lee and J. E. Kim, "Comparative Study on Performance of Metaheuristics for Weapon-Target Assignment Problem," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 441–453, 2017.