

A Study of Multi-to-Majority Response on Threat Assessment and Weapon Assignment Algorithm: by Adjusting Ballistic Missiles and Long-Range Artillery Threat

Jun Sung Im* · Byeong Chun Yoo** · Ju Hyun Kim*** · Bong Wan Choi†

*Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University

**Naval Force Analysis T&A Group

***Hanwha Systems

다대다 대응 위협평가 및 무기할당 알고리즘 연구: 탄도미사일 및 장사정포 위협을 중심으로

임준성* · 유병천** · 김주현*** · 최봉완†

*한남대학교 산업경영공학과

**해군전력분석시험평가단

***한화시스템

In weapon assignment studies to defend against threats such as ballistic missiles and long range artillery, threat assessment was partially lacking in analysis of various threat attributes, and considering the threat characteristics of warheads, which are difficult to judge in the early flight stages, it is very important to apply more reliable optimal solutions than approximate solution using LP model, Meta heuristics Genetic Algorithm, Tabu search and Particle swarm optimization etc. Our studies suggest Generic Rule based threat evaluation and weapon assignment algorithm in the basis of various attributes of threats. First job of studies analyzes information on Various attributes such as the type of target, Flight trajectory and flight time, range and intercept altitude of the intercept system, etc. Second job of studies propose Rule based threat evaluation and weapon assignment algorithm were applied to obtain a more reliable solution by reflection the importance of the interception system. It analyzes ballistic missiles and long-range artillery was assigned to multiple intercept system by real time threat assessment reflecting various threat information. The results of this study are provided reliable solution for Weapon Assignment problem as well as considered to be applicable to establishing a missile and long range artillery defense system.

Keywords : Ballistic Missile and Artillery, Flight Trajectory, Rule-Based Threat Evaluation and Weapon Assignment

1. 서 론

북한은 1980년대 이후 ICBM인 화성 15 등 다양한 탄도 미사일을 개발하여 실전 배치하고 있으며, 최근에는 요격이 어려운 이스칸데르 탄도미사일과 300mm 신형방사포 등의 개발을 통해 미사일과 장사정포의 능력을 고도화하여 전력화를 수행하고 있다[4, 19, 25]. 또한 탄도미사일의 비행경로각, 페이로드 무게, 연료량, 비추력, 연소시간 등을 조절하는 방식과 여러 개의 발사관으로 동시에 쏠 수 있는 장점을 가진 장사정포를 탄도미사일의 비행궤적과 유사하게 개발하여 위협을 증가시키고 있다[2].

한국은 국가 중요시설, 군사시설 등 핵심시설에 대해 북한의 탄도미사일, 장사정포와 같은 위협의 증가에 대비하기 위해 한국형미사일방어체계와 장사정포 요격체계 구축을 추진하고 있다[5, 6]. 미사일방어체계는 발사된 탄도미사일의 발사지점, 비행경로, 탄착지점 등을 분석하고 가용한 요격자산으로 방어하는 다층방어체계이며, 장사정포 요격체계는 여러 장소에 유도탄 발사대를 설치해 돔 형태의 방공망을 구축하여 요격하는 개념으로 구축될 것으로 보인다[5, 14, 23, 24, 26].

전쟁 초기에 다수의 탄도미사일과 장사정포 등으로 방어자의 고가치 목표물에 대한 동시다발적 공격이 이루어질 경우 방어자는 보유한 탐지자산과 요격 무기체계를 활용하여 다층 방어를 통해 피해를 최소화해야 할 것이다. 다층방어체계를 구축하기 위해서는 요격 무기체계 배치를 통하여 효과적인 방어영역을 담당하는 위치를 선정하는 것뿐만 아니라[10] 방어자가 합리적인 방어계획을 수립하고, 결정하도록 위협을 평가하고 가용한 요격자산에서 최적의 무기를 지정하여 할당할 수 있도록 지원하는 알고리즘의 개발이 매우 중요하다 할 수 있다.

무기할당(WTA, Weapon Target Assignment) 문제는 표적의 위협을 최소화하는 목적함수를 가지며, 1986년에 Lloyd에 의해 NP-Complete 문제에 해당 된다고 증명하였다[21]. 이후 무기할당 문제는 위협을 최소화하는 해법을 제시하기 위해 모형을 선형화하거나, 메타휴리스틱인 유전자 알고리즘, 타부(tabu) 탐색, PSO(Particle Swarm Optimization) 등을 활용하여 근사해를 구하는 연구들이 주를 이루었으며[3, 11, 12, 15] 무기할당을 위한 표적의 위협수준은 동일 표적에 대한 공격횟수, 다무장 다표적 환경에서 표적군과 사격군 및 보호자산과의 거리 근접도 등으로 비교적 단순하게 평가하였으며[28], 하나의 위협속성으로 위협을 평가하고 요격우선순위를 부여하여 무기할당을 하였다[8].

다수의 연구[1, 2, 16, 17, 20, 27]에서 탄도미사일과 장사정포의 위협양상에 대하여 비행궤적 특성으로부터 면밀한 평가와 분석을 하였으나, 이를 활용하여 위협평가 및 무기할당에 적용한 연구는 진행되지 않아, 본 연구에서는

첫째로, 탄도미사일, 장사정포의 비행궤적에 기초하고, 갱신되는 위협정보를 위협평가 및 무기할당에 적용하였다. 탄도미사일과 장사정포의 위협은 비행궤적이 탄도궤적을 이루고 있어 발사 후 연소가 종료되면 속도와 비행경로각 등을 활용하여 궤적을 예측할 수 있으며, 예측된 비행궤적을 기반으로 방어자산의 사거리 및 요격고도에 따른 요격시간, 잔여비행시간을 계산할 수 있다. 추가적으로 북한판 이스칸데르와 같은 탄도미사일은 탄도궤적을 따라 비행하는 중 비행경로를 변경하는 기동을 할 수 있어 이러한 위협요소를 실시간으로 반영이 가능하도록 고려해야 할 것이다. 또한 대량살상이 가능한 탄두가 탑재된 경우 가장 우선적으로 요격하는 것이 필요하다.

둘째로, 탄도미사일과 장사정포 위협상황은 복잡성과 난이도 측면에서 메타휴리스틱 및 본 연구에서 제시하는 규칙 기반의 방법 모두 해를 구하는 시간상의 문제는 없으나, 미사일 또는 장사정포 요격체계 할당, 대량살상탄두 탑재 표적 최우선 할당, 비행 도중 위협 재평가 등 표적 및 요격체계의 특성을 반영하는 규칙 기반의 알고리즘 해법으로 방어계획의 신뢰성을 확보할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 방어계획의 신뢰성을 높이기 위해 규칙에 기반한 위협평가 및 무기할당 알고리즘을 적용하였다.

규칙에 기반한 무기할당은 사전에 정의한 규칙에 따라 속성이 다른 위협정보들로 표적들에 우선순위를 부여할 수 있다. 비행궤적 특성 분석에서 확보하는 표적의 종류(탄도미사일, 장사정포), 요격체계와의 거리 및 비행고도, 잔여비행시간, 요격 가능 무기체계 종류와 수량, 요격가능시간 등 다양한 데이터들을 활용하여 위협 우선순위를 부여하고, 방어자가 보유한 모든 요격수단에 대한 할당을 통해 피해를 최소화 할 수 있는 신뢰성을 확보 할 수 있다.

2. 탄도미사일 및 장사정포의 비행궤적 특성 및 요격 가능성 평가

2.1 탄도미사일 및 장사정포의 비행단계별 특성

탄도미사일의 경우 초기 연료소모단계인 부스트단계, 추진체 연소가 종료 후 대기권에 재진입전까지의 중간단계, 재진입부터 목표지점까지의 종말단계인 3단계로 구분한다[1, 13, 20].

탄도미사일 발사 시 비행궤적 특성 결과에 영향을 미치는 중요변수는 최소에너지방식(Minimum Energy Trajectory, MET)과 로프트(Lofed Trajectory, LT) 방식, 디프레스(Depressed Trajectory, DT) 방식이며, 비행경로각을 조절하여 비행거리는 같지만 정점고도와 비행시간을 다르게 하여 동일한 목표지점까지 비행할 수 있다[9, 16, 17, 27]. 장사정

포의 경우도 탄도미사일과 유사한 비행궤적 특성을 보여주고 있다[27].

2.2 비행궤적에 기초한 위협분석 및 요격가능성 평가

탄도미사일과 장사정포는 비행경로각, 페이로드 무게 등으로 비행궤적을 다양하게 운용할 수 있어 비행궤적에 기초하여 위협을 분석하고 요격가능성 평가가 다음과 같이 이루어져야 한다. 첫째, 사거리와 정점고도가 비행궤적에 따라 다양하기 때문에 방어자는 모든 탄도미사일과 장사정포에 대해 요격할 수 있는 것이 아니라 보유하고 있는 요격체계의 사거리와 요격고도 안에 비행궤적이 위치해야 요격계획을 수립할 수 있다. 표적 1은 요격체계 A와 B의 사거리 밖에 비행궤적이 위치해 요격이 제한된다. 표적 2는 비행궤적의 정점고도가 요격체계 B의 요격고도보다 낮으며, 요격체계 A만이 사거리와 요격고도 모두 조건 안에 위치하여 요격이 가능하다(<Figure 1A> 참조)

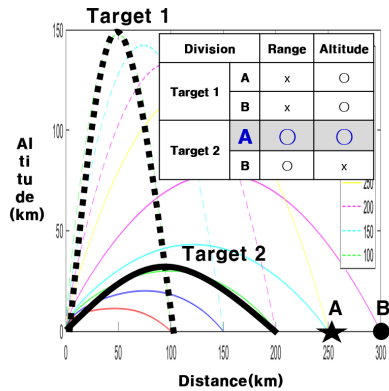
둘째, 탄도미사일 및 장사정포 발사위치로부터 이격거리가 같은 목표지점을 공격하는 경우 비행궤적에 따라 요격체계의 요격가능시간이 다르다. 표적 1과 2는 목표지점

까지 200km 이격된 동일한 목표지점으로 비행하지만, 요격체계 A의 요격가능시간은 비행궤적에 따라 표적 1보다 표적 2가 많음을 알 수 있다(<Figure 1B> 참조). 즉, 발사지점과 목표지점 간 이격거리는 같으나, 목표지점까지 도착하는데 걸리는 시간(이후 잔여비행시간)은 MET, LT, DT 방식과 같이 비행궤적에 따라 달라진다. 따라서 탄도미사일과 장사정포는 비행궤적에 기초한 위협분석과 요격가능성 평가가 이루어져야 한다.

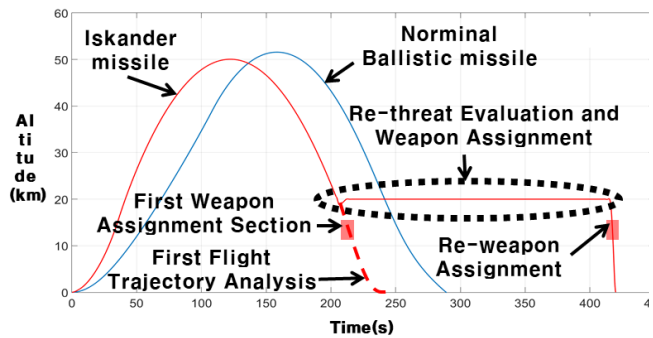
셋째, 북한판 이스칸데르 미사일의 경우 초기에 일반적인 비행궤적을 갖는 탄도미사일로 위협분석이 될 수 있지만 일정시간이 경과하고 활공도약하여 비행궤적이 변동될 경우[27] 비행궤적에 대해 재평가가 필요하다(<Figure 1C> 참조). 그리고 비행 중인 표적에 대규모 피해를 유발하는 탄두가 탑재되었다는 정보가 획득될 경우에는 시간이 경과하면서 변동되는 정보들이 갱신되어 재평가가 이루어져야 한다.

따라서 탄도미사일, 장사정포 공격에 대해 비행궤적에 기초한 다양한 정보와 시간 요소를 포함한 위협을 평가하고, 요격자산의 사거리, 요격고도, 요격체계 배치위치 등을 종합적으로 고려하여 방어자가 합리적인 방어계획을 수립할 수 있도록 지원하는 알고리즘 개발이 필요함을 알 수 있다.

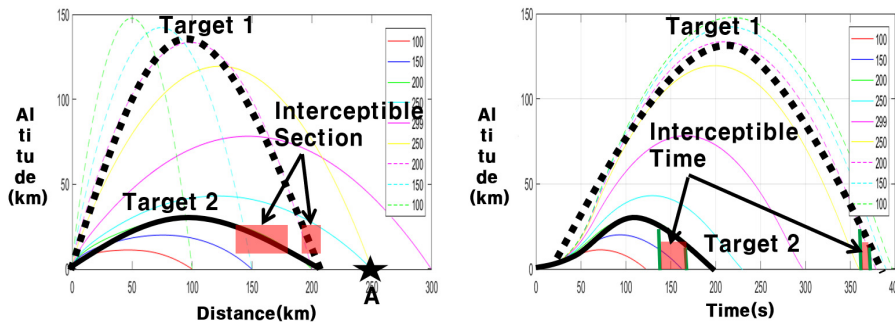
<Figure 1A> Intercept Limitation Situation based on flight trajectory
 Interceptor A : Range 150km, Altitude : 15~20km
 Interceptor B : Range 200km, Altitude : 40~60km



<Figure 1C> Trajectory of the Iskander and General Ballistic Missile



<Figure 1B> Remaining Flight Time and Interceptible Time



<Figure 1> Threat and Intercept Assessment for Flight Trajectory of Ballistic Missile and Artillery

3. 위협평가 및 무기할당 방법론

3.1 위협평가 및 무기할당 개념

위협평가의 주요역할은 상황을 평가하고 탐지된 표적에 대해 일련의 정의를 내리는 것으로 표적을 감시 및 추적하고, 비행궤적의 예측과 획득한 정보를 융합해서 다각적으로 분석하여 다수의 표적에 우선순위를 부여함으로써 무기할당을 위한 요격 계획수립의 기본정보를 제공해야 한다.

위협평가를 통해 표적에 우선순위를 부여한 이후에는 표적과의 교전가능성을 결정하고 선택 가능한 무기를 표적에 할당하는 무기할당이 이루어진다.

규칙 기반 위협평가 및 무기할당은 탄도미사일 및 장사정포가 갖는 다양한 비행궤적 등의 정보를 활용하여 표적을 분류하여 무기할당을 할 수 있다.

규칙에 따라 위협치를 산출하여 대량살상탄두 탑재·탄도미사일·장사정포 표적 등을 분류할 수 있고, 가용한 요격자산으로 위협치가 높은 표적부터 무기할당이 이루어짐으로서 위협치를 최소화하면서 최적해에 대한 신뢰도를 높일 수 있다. 규칙에 적용하는 위협평가의 정보는 탄두종류, 대량 살상이 가능한 탄두의 탑재여부, 요격 가능 무기체계 종류의 수, 요격가능시간, 잔여비행시간 등이 있으며 규칙에 따라 표적들을 분류하여 우선순위를 부여하고, 우선순위 순으로 요격체계의 배치현황, 사거리 및 요격고도 진입 여부 등에 따라 무기를 할당한다.

<Table 1> Target Classification and Weapon Assignment by Rules

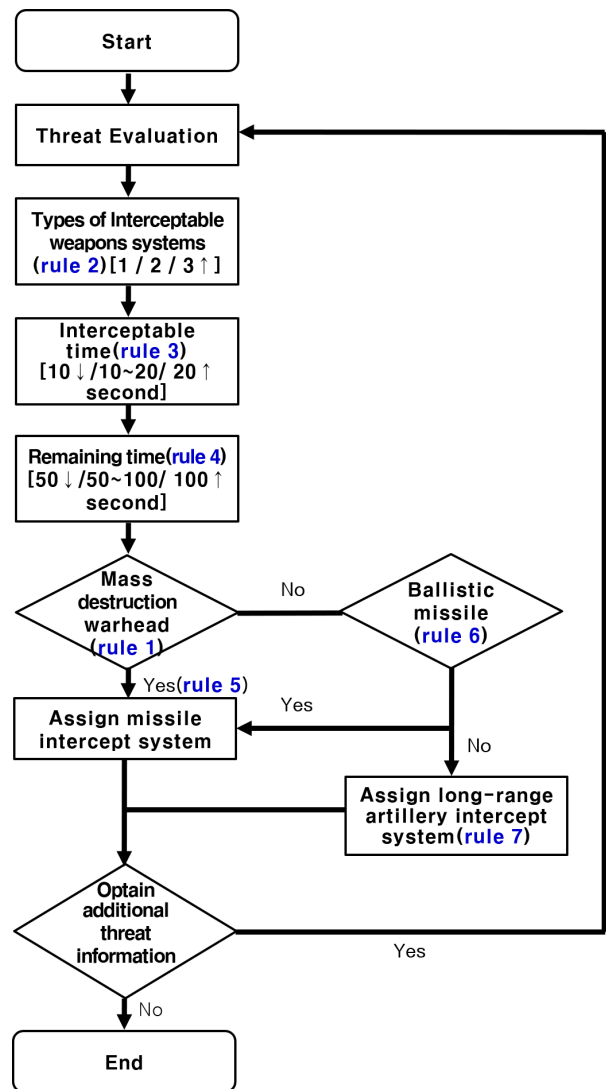
Section		Contents
Classification Rule	Rule 1	Mass destruction warheads loaded
	Rule 2	Types of interceptable weapons systems(1/2/3 ↑)
	Rule 3	Interceptable time (10 ↓ /10 ~20/20 ↑ second)
	Rule 4	Remaining flight time (50 ↓ /50 ~100/100 ↑ second)
	Rule 5	In case of loading Mass destruction warheads, with rules 1~4, it shall be prioritized regardless of ballistic missiles and long-range artillery
	Rule 6	Long-range artillery without mass destruction warheads have a lower priority than ballistic missiles
Assignment Rule	Rule 7	Long-range artillery without mass destruction warheads assigns a long-range artillery intercept system

3.2 규칙에 기반한 위협평가 및 무기할당 방법

위협평가는 비행궤적에 기초한 다양한 속성의 위협분석 정보를 바탕으로 <Table 1>에서의 7가지 분류 규칙을 적용하여 표적별로 우선순위를 부여한다.

무기할당 규칙은 장사정포에 대해 특정 요격체계를 할당하는 규칙을 적용한다. 분류규칙의 적용순서는 <Figure 2>에서와 같이 규칙 2 > 규칙 3 > 규칙 4 > 규칙 1 > 규칙 5 > 규칙 6 > 규칙 7 순이며, 표적을 분류하고 우선순위를 부여한다. 규칙 7은 장사정포 표적에 대하여 미사일방어체계 무기를 할당함으로써 발생할 수 있는 요격미사일의 고갈을 방지할 수 있다.

우선순위가 정해지면 요격수단 위치, 사정거리, 비행시간, 사격방법 등을 고려하여 무기를 할당하여 교전하고 교전평가 결과에 따라 동일한 과정을 반복하여 수행한다.



<Figure 2> Rule-based Flow Chart

4. 위협평가 및 무기할당 모델

본 논문에서 탄도미사일과 장사정포 위협에 대하여 적용하고자 하는 규칙에 기반한 위협평가 및 무기할당 모델을 소개한다. 표적 종류, 요격가능고도 및 사거리 포함 여부 등은 비행궤적 특성 해석 모델을 통해 예측한다[27].

$$\min f(x) = \sum_{a=1}^5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_i (1 - x_{aij}) \quad (1)$$

B_i 는 규칙에 기반한 위협평가에 따라 표적 i 에 부여된 위협치 점수이며, x_{aij} 는 표적 i 에 대해 요격체계 종류 a 의 j 번째 무기에 대한 할당 여부를 결정하는 변수로서, 위협치 점수가 높은 순으로 할당함으로써 식 (1)에서와 같이 목적함수는 위협치를 최소화한다. B_i 는 식 (2)에서와 같이 규칙 1~6까지 위협치를 합산한 점수이다.

$$B_i = R_{1,i} + R_{2,i} + R_{3,i} + R_{4,i} + R_{5,i} + R_{6,i} \quad (2)$$

식 (3)은 규칙 1의 위협치 점수를 나타내며, 표적 i 에 대량살상 탄두가 탑재되었을 때 점수는 d_{rule1} 이다. q 는 탑재 여부 정보이며, 1이면 탑재, 0이면 미탑재를 의미한다.

$$R_{1,i} = \begin{cases} d_{rule1}, & \text{if } q=1 \\ 0, & \text{if } q=0 \end{cases} \quad (3)$$

식 (4)는 규칙 2의 표적 i 에 대해 요격가능한 요격체계의 종류에 따른 위협치 점수를 나타낸다. 1개일 경우 d_{rule2_1} , 2개일 경우 d_{rule2_2} , 3개 이상일 경우 d_{rule2_3} 이며, d_{rule2_1} , d_{rule2_2} , d_{rule2_3} 의 점수 크기는 식 (5)와 같다.

$$R_{2,i} = \begin{cases} d_{rule2_1}, & \text{if } type \leq 1 \\ d_{rule2_2}, & \text{if } 1 < type < 3 \\ d_{rule2_3}, & \text{if } 3 \leq type \end{cases} \quad (4)$$

$$d_{rule2_1} > d_{rule2_2} > d_{rule2_3} \quad (5)$$

식 (6)은 규칙 3의 표적 i 에 대해 요격가능시간에 따라 위협치 점수를 나타내고, 요격가능시간이 10초 미만일 경우 d_{rule3_1} , 10초 이상 20초 이하일 경우 d_{rule3_2} , 20초를 초과할 경우 d_{rule3_3} 이며, d_{rule3_1} , d_{rule3_2} , d_{rule3_3} 의 점수 크기는 식 (7)과 같다.

$$R_{3,i} = \begin{cases} d_{rule3_1}, & \text{if } time < 10 \\ d_{rule3_2}, & \text{if } 10 \leq time \leq 20 \\ d_{rule3_3}, & \text{if } 20 < time \end{cases} \quad (6)$$

$$d_{rule3_1} > d_{rule3_2} > d_{rule3_3} \quad (7)$$

식 (8)은 규칙 4의 표적 i 의 잔여비행시간에 따른 위협치 점수를 나타내고, 잔여비행시간이 50초 미만일 경우 d_{rule4_1} , 50초 이상 100초 이하일 경우 d_{rule4_2} , 100초를 초과할 경우 d_{rule4_3} 이며, d_{rule4_1} , d_{rule4_2} , d_{rule4_3} 의 점수 크기는 식 (9)과 같다.

$$R_{4,i} = \begin{cases} d_{rule4_1}, & \text{if } time < 50 \\ d_{rule4_2}, & \text{if } 50 \leq time \leq 100 \\ d_{rule4_3}, & \text{if } 100 < time \end{cases} \quad (8)$$

$$d_{rule4_1} > d_{rule4_2} > d_{rule4_3} \quad (9)$$

식 (10)은 규칙 5, 식 (11)은 규칙 6의 위협치 점수를 나타내며, 표적 i 가 탄도미사일인 경우 d_{rule5} , 장사정포인 경우 d_{rule6} 이다. p 는 탄도미사일과 장사정포에 대한 정보이며, 1이면 탄도미사일, 0이면 장사정포를 의미한다.

$$R_{5,i} = \begin{cases} d_{rule5}, & \text{if } p=1 \\ 0, & \text{if } p=0 \end{cases} \quad (10)$$

$$R_{6,i} = \begin{cases} d_{rule6}, & \text{if } p=0 \\ 0, & \text{if } p=1 \end{cases} \quad (11)$$

규칙 1의 대량살상탄두 탑재 표적의 위협치 점수가 가장 높고, 규칙 5와 규칙 6에서 탄도미사일은 장사정포보다 위협치 점수가 높아야 하므로 d_{rule1} , d_{rule5} , d_{rule6} 의 점수 크기는 식 (12)과 같다.

$$d_{rule1} \gg d_{rule5} \gg d_{rule6} \quad (12)$$

요격체계가 무기할당을 할 수 있는 경우는 표적이 요격체계의 사거리와 요격고도 범위 내에 위치해 있을 때이므로, b_{aij} 와 I_{aij} 는 요격체계의 사거리와 요격고도 범위 안에 표적이 위치했을 경우 각각 1의 값을 가지고, 위치하지 않을 경우 0의 값을 가지며, 표적이 사거리 또는 요격고도 중 1가지라도 범위 밖에 있을 경우 무기할당이 이루어지지 않도록 하기 위해 식 (13)과 같이 설정한다.

$$x_{aij} \leq b_{aij} \times I_{aij}, \forall a, i, j \quad (13)$$

요격체계의 요격가능시간은 표적 i 에 대해 요격체계 종류 a 의 j 번째 요격 미사일 또는 포탄을 발사하는 시점부터 요격위치까지 비행하는 시간이 포함되어야 하므로 식 (14)와 같이 설정한다.

$$TTF_{aij} \leq tf_{aij} = th_{aij} - \gamma_{aij} \leq TTFF_{aij} \quad (14)$$

TTF_{aij} , $TTFF_{aij}$ 는 표적 i 에 대한 요격체계 a 의 최초, 최종 교전가능시간이며, th_{aij} , tf_{aij} 는 표적 i 에 할당된 요격체계의 명중, 발사가능시간, γ_{aij} 는 요격체계의 비행시간이다.

5. 실험

5.1 가상 시나리오

본 장에서는 탄도미사일과 장사정포에 대한 비행궤적 특성 해석으로부터 획득한 위협분석을 바탕으로 규칙에 기반한 위협평가 및 무기할당 알고리즘을 이용하여 무기할당 결과 분석을 수행하였다. 탄도미사일과 장사정포의 비행궤적은 유명천 외[27]의 궤적특성 분석 데이터를 활용하였으며[7, 17, 18, 22], MATLAB R2020a 기반으로 모델을 구성하였다. 탄도미사일은 4개의 포대(Ballistic Missile 1~3, Special Ballistic Missile 4)에서, 장사정포는 2개의 포대(Artillery 1~2)에서 주요 정부/군사시설 등에 대해 공격하는 상황을 가정하여 설정하였다. 주요 정부/군사시설 인근에 요격체계가 배치되어 있으므로 탄도미사일과 장사정포의 공격 목표지점으로부터 200/300/400/500/600km에 위치한다. A1은 장사정포 요격체계. A2~A5는 탄도미사일 방어체계이다. 장사정포 요격체계는 장사정포에 대해서만 요격이 가능하고, 탄도미사일 방어체계는 장사정포, 탄도미사일 2가지 유형 모두 요격이 가능하다. 탄도미사일과 장사정포는 Lofted(LT), Depressed(DT)의 비행궤적으로 목표지점에 대해 공격하며, 대량살상 탄두를 탑재한 경우와 비행도중 활공도약하여 최종 목표지점이 변경하는 시나리오를 포함한다. 다수의 탄도미사일과 장사정포가 비행궤적을 다르게 운용하여 목표지점에 대한 탄착시간(TOT: Time on Target)이 같도록 하여 다대다 대응 상황을 부여한다.

5.2 무기할당을 위한 가정사항

위협평가 및 무기할당 계획 수립을 위해 다음과 같은 사항을 가정한다.

- ① 표적유형(장사정포, 탄도미사일)과 대량살상탄두 탑재 여부에 대한 판별은 비행궤적 분석이 이루어진 후 일정시간이 경과하여 이루어진다.

- ② 복수의 요격체제로 무기할당이 가능한 경우 최상층 방어를 담당하는 요격체계가 무기할당 우선권을 갖는다.

5.3 입력데이터

5.3.1 탄도미사일 및 장사정포

탄도미사일과 장사정포에 입력되는 데이터는 위치, 공격횟수, 비행거리 및 횡수, 발사시간이며, <Table 2>에서 보는 바와 같다.

<Table 2> Input data

Mass destruction warhead load : ☆, LT : Lofted, DT : Depressed					
Section	BM1	BM2	BM3	BM4	Art1/2
Location(km)	0	0	0	0	100/0
Target Number	3, 4, 5	9, 11, 13(☆), 14, 16	8, 12, 15, 17	10	1, 2/ 6, 7
Flight trajectory	LT, LT, DP	DP, LT, DP(☆), LT, DP	LT, DP, DP, LT	DP	DP, LT LT, DP
Flight distance × number of times	200×3	300×1 400×1 500×1(☆) 500×1 600×1	300×1 400×1 500×1 600×1	500×1	100×2 200×2
Launch time(s)	241 0 632	625 0 433(☆) 0 515	0 500 443 0	637	646 371 121 629
TOT(s)	767×3	869 767 723×1(☆) 723×1 884	869 767 723 884	1000	767×2 869×2

5.3.2 요격체계

요격체계에 입력되는 데이터는 위치, 배치수량, 사거리, 요격고도, 비행속도이며, <Table 3>에서 보는 바와 같다.

<Table 3> Input Data of Interceptor System

Section	A1	A2	A3	A4	A5
Location(km)	200	300	400	500	600
Quantity	5	5	4	4	3
Range(km)	100	150	200	200	250
Interceptible Altitude(km)	5~10	5~15	15~40	40~60	80~100
Speed(Mach)	5	5	6	7	8

5.3.3 위협평가에 따른 위협치

규칙에 따라 위협평가 결과를 위협치로 계산하기 위한 입력자료는 <Table 4>에서 보는 바와 같으며, 대량살상탄두 탑재의 위협치는 다른 규칙의 위협치 최고점수를 합산한 점수보다 높으며, 탄도미사일 위협치는 장사정포와 규칙 2·3·4의 위협치를 합산한 점수보다 높도록 부여하였다.

<Table 4> Threat Score According to the Rules

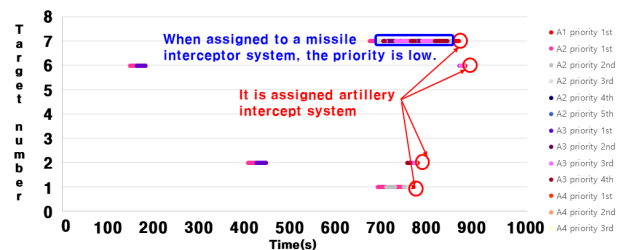
Section	Input data
$R_{1,i}$	$d_{rule1} = 30, \text{ if } q = 1$ $0, \text{ if } q = 0$
$R_{2,i}$	$d_{rule2_1} = 3, \text{ if } type \leq 1$ $d_{rule2_2} = 2, \text{ if } 1 < type < 3$ $d_{rule2_3} = 1, \text{ if } 3 \leq type$
$R_{3,i}$	$d_{rule3_1} = 3, \text{ if } time < 10$ $d_{rule3_2} = 2, \text{ if } 10 \leq time \leq 20$ $d_{rule3_3} = 1, \text{ if } 20 < time$
$R_{4,i}$	$d_{rule4_1} = 3, \text{ if } time < 50$ $d_{rule4_2} = 2, \text{ if } 50 \leq time \leq 100$ $d_{rule4_3} = 1, \text{ if } 100 < time$
$R_{5,i}$	$d_{rule5} = 15, \text{ if } p = 1$
$R_{6,i}$	$d_{rule6} = 5, \text{ if } p = 0$

5.4 결과 분석

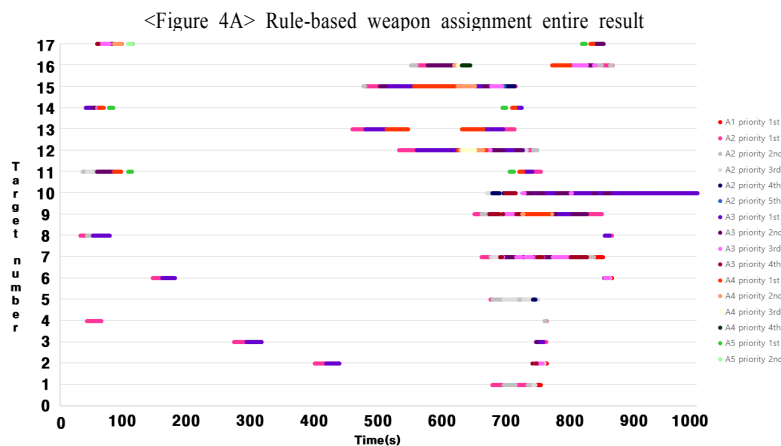
<Figure 4>는 탄도미사일과 장사정포의 비행궤적에 기초하여 규칙에 기반한 위협평가 및 무기할당 알고리즘을 적용한 실험 결과이다. 본 논문에서 제안하는 탄도미사일과 장사정포에 대해 비행궤적에 기초하여 규칙에 기반한 위협평가를 통해 우선순위를 부여하고, 표적의 비행궤적과 요격체계의 사거리와 요격가능고도에 따라 무기할당이 이루어진다. <Figure 4A>는 규칙에 기반한 위협평가 및 무기할당의 전체 결과이며, <Figure 4B>는 규칙에 따라 산출

된 위협치 점수가 가장 높은 표적에 대하여 비행시간이 경과함에 따라 변동되는 표적의 위치, 비행고도에 따라 요격 가능한 요격체계에서 우선순위가 1순위로 할당된 결과이다. <Figure 4C>, <Figure 4D>, <Figure 4E>는 각 요격체계에서 복수의 표적이 있는 경우 위협치 점수 순으로 우선순위를 2순위, 3순위, 4순위로 무기할당하는 결과를 보여준다. 비행궤적에 기초한 다양한 정보들은 시간이 경과함에 따라 위협치가 변동되고, 각 요격체계의 사거리와 요격고도 내의 진입여부에 따라 무기할당이 이루어지며, 요격체계의 위협우선순위가 변동됨을 알 수 있다.

표적 '1', '2', '6', '7'의 경우 <Figure 3>에서 비행 초기에는 탄도미사일과 장사정포 분류에 대한 위협정보가 없어 비행궤적과 위협치를 기준으로 미사일 요격체계에 할당되었으나, 장사정포로 분류된 이후에는 장사정포 요격체계의 요격범위 내에 비행궤적이 위치함에 따라 장사정포 요격체계에 할당함을 확인할 수 있다. 또한 미사일 요격체계에 할당되는 경우에는 위협치 점수가 낮아 낮은 우선순위를 부여하며, 미사일방어체계에서 우선순위와 장사정포 요격체계에서의 요격가능여부를 판단하여 무기할당 여부를 결정할 수 있어 고비용 방어자산인 미사일 요격체계의 효율적 탄약 사용을 가능하게 하는데 기여할 것으로 판단된다.

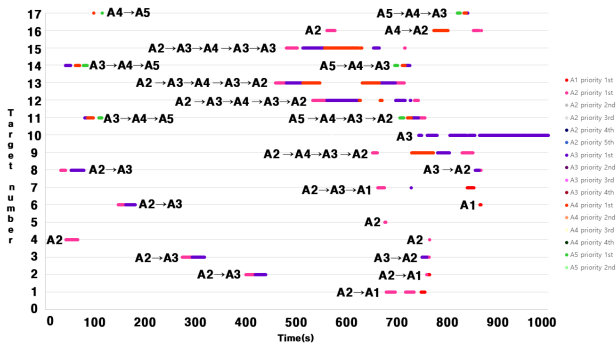


<Figure 3> Weapon Assignment Result of Artillery

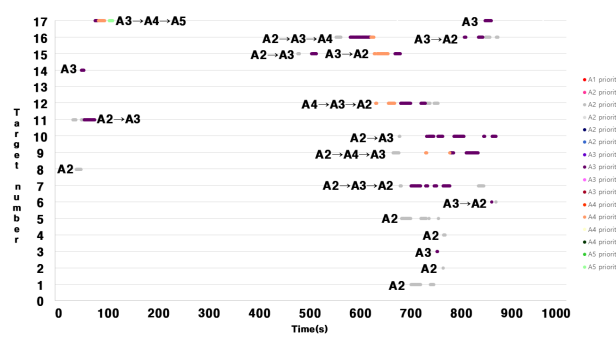


<Figure 4> Threat and Intercept Assessment for Flight Trajectory of Ballistic Missile and Artillery

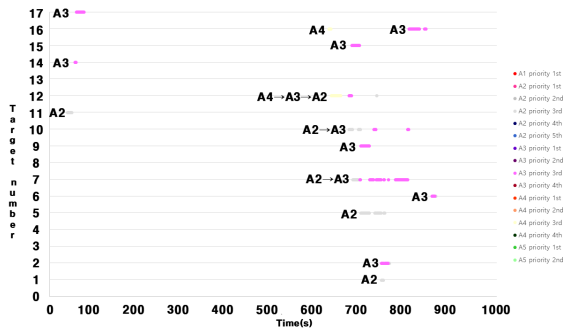
<Figure 4B> Priority 1st weapon assignment result



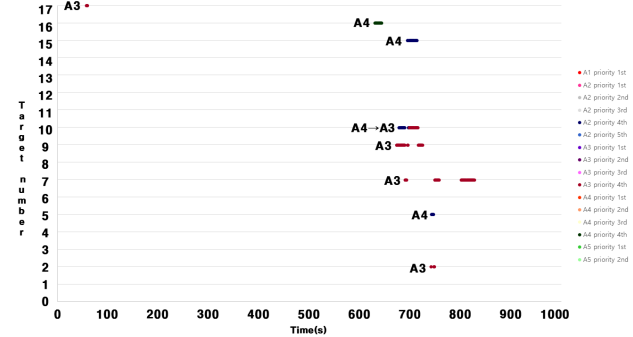
<Figure 4C> Priority 2nd weapon assignment result



<Figure 4D> Priority 3rd weapon assignment result



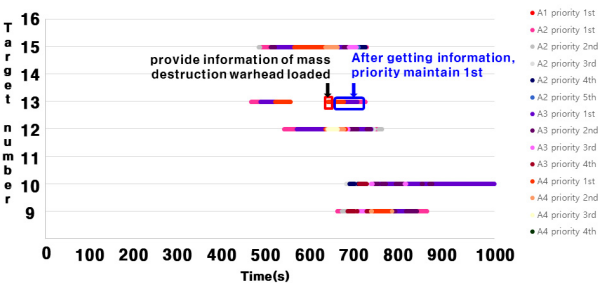
<Figure 4E> Priority 4th weapon assignment result



<Figure 4> Threat and Intercept Assessment for Flight Trajectory of Ballistic Missile and Artillery(Continued)

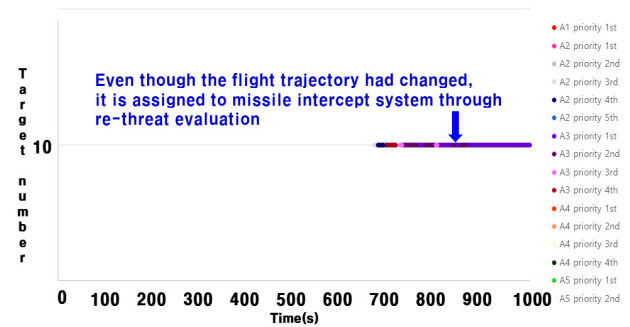
또한 표적 ‘13’은 <Figure 5>에서와 같이 대량살상탄두 탑재 정보를 제공 받은 이후에 목표지역에 도달할 때까지 할당된 요격체계가 변경되더라도 우선순위 1순위를 유지함을 알 수 있다. 같은 시간대에 다수의 표적들이 비행하고 있고, 동일 목표지점을 향하고 있지만, 우선순위를 부여함으로써 최우선 요격이 필요한 표적을 선별하여 무기할당이 가능하다.

된 목표지역에 도달할 때까지 요격체계의 요격고도에 따라 무기가 할당됨을 확인할 수 있다.



<Figure 5> Weapon Assignment Result of Mass Destruction Warhead Loaded Target

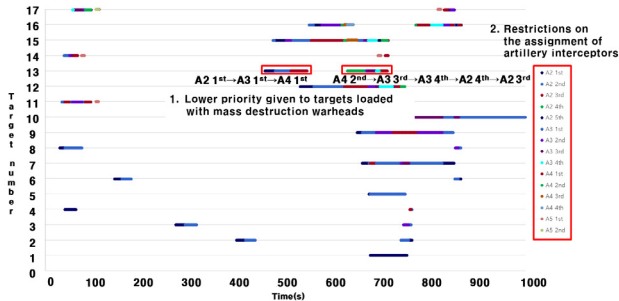
표적 ‘10’은 <Figure 6>에서 최초 예상 목표지역 인근 요격체계에 무기가 할당되었지만, 비행 도중 활공도약하여 비행궤적이 변경된 이후에는 재위협평가를 통해 변경



<Figure 6> Weapon Assignment Result of Trajectory Change during Flight

마지막으로 <Figure 7>은 규칙 기반의 위협평가 및 무기할당 알고리즘과의 비교를 위해 규칙을 적용하지 않고 비행궤적 정보와 요격체계의 사거리 및 요격고도만으로 무기할당을 적용한 결과이다. 대량살상탄두를 탑재한 표적 ‘13’은 각 요격체계의 요격고도에 진입하는 순서대로 우선순위가 부여됨에 따라 3~4순위의 낮은 우선순위로 최우선적으로 무기할당이 제한되고, 장사정포 요격체계에

는 무기할당이 이루어지지 않고 고가치 자산인 미사일 방어 체계에 할당됨을 확인할 수 있다.



<Figure 7> Weapon Assignment Result Without Applying the Rules

규칙 기반 위협평가 및 무기할당 알고리즘과 메타휴리스틱 기반의 알고리즘은 고유의 장점들을 보유하고 있다. 하지만 탄도미사일과 장사정포 위협에 대응하기 위한 무기할당 알고리즘은 고도의 복잡성과 난이도보다는 미사일 또는 장사정포 요격체계 할당, 대량살상탄두 표적 우선 할당, 비행 도중 위협 재평가 등 표적 및 요격체계의 특성이 반영되어 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서 도출된 결과에서와 같이 규칙 기반의 알고리즘을 적용하는 것이 탄도미사일과 장사정포 위협에 대한 방어계획 수립에 신뢰성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 비행궤적에 기초하여 규칙 기반 다양한 위협정보에 대한 위협평가를 바탕으로 무기할당을 함으로써 기존 연구보다 신뢰성을 높이는 분석을 수행하였다. 비행 도중 비행궤적이 변경되거나, 각종 정보자산에 의해 대량살상 가능 탄두가 탐지되었다는 정보를 획득한 경우 등 재위협평가를 통해 우선순위를 변경하거나 적절한 무기로 할당함을 확인하였다. 무기체계의 고도화로 위협정보는 수시로 변화되고, 정보자산에 의한 각종 정보들이 획득되는 상황을 생각해볼 때, 다수의 탄도미사일과 장사정포에 대한 다양한 위협정보가 실시간으로 위협평가에 반영되어 다수의 무기에 할당이 이루어지는 본 연구의 알고리즘과 시뮬레이션 분석 결과는 미사일 및 장사정포 방어체계 구축을 위한 연구에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

향후에는 본 연구에서 제시한 규칙에 기반한 위협평가 및 무기할당 결과를 바탕으로 요격체계의 사격전술과 재장전 시간, 동시 교전능력에 따른 요격계획을 스케줄링 하고 사거리 및 요격고도에 따른 최적의 요격자산을 배치하

는 연구가 진행될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

This study has been partially supported by industry-academic research of Hannam University and Hanwha Systems

References

- [1] Ahn, J.I., Kwon, Y.S., Analysis of the Flight Trajectory Characteristics of Ballistic Missiles Depending on the Operational Parameters, *Korea Association of Defense Industry Studies*, 2013, Vol.20, No.2, pp. 119-136.
- [2] Choi, B.W., Yoo, B.C., Kim, J.H., and Yim, D.S., A Study on the Flight Trajectory Prediction Method of Ballistic Missiles, *Journal of KOSSE Autumn Conference*, 2020.
- [3] Choi, Y.H., Lee, Y.H., and Kim, J.E., Comparative Study on Performance of Metaheuristics for Weapon-Target Assignment Problem, *Journal of KIMST*, 2017, Vol. 20, No. 3, pp. 441-453.
- [4] Chosun media, https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2020/05/31/2020053101027.html?utm_source=naver&utm_medium=referral&utm_campaign=naver-news&form=MY01SV&OCID=MY01SV.
- [5] Defense White Paper, Ministry of National Defense, 2014, pp. 1-332.
- [6] DEMA, https://kookbang.dema.mil.kr/newsWeb/m/20210720/1/BBSMSTR_000000100115/view.do?nav=0&nav2=0.
- [7] GlobalSecurity, <http://www.globalsecurity.org>.
- [8] Ha, M.R. and Choi, J.W., Simulator Design for Static Weapon Allocation Algorithm Evaluation, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 2019, Vol. 25, No. 4, pp. 340-345.
- [9] Hale, F.J., *Introduction to Space Flight*, Prentice Hall, NCSU, 1994, pp. 189-343.
- [10] Hong, D.W., Yim, D.S., and Choi, B.W., Application and Determination of Defended Footprint Using a Simulation Model for Ballistic Missile Trajectory, *Journal of the KIMST*, 2018, Vol. 21, No. 4, pp. 551-561.
- [11] Hong, S.S., Han, M.M., Choi, H.J., and Mun, C.M., A Study of population initialization Method to improve a Genetic Algorithm on the Wapon Target Allocation problem, *Journal of Korean Institute of Intelligent*

- Systems*, 2012, Vol. 22, No. 5, pp. 540-548.
- [12] Jang, J.G., Kim, K.T., Choi, B.W., and Suh, J.J., A Linear Approximation Model for an Asset-based Weapon Target Assignment Problem, *Journal Society of Korea Industrial and System Engineering*, 2015, Vol. 38, No. 3, pp. 108-116.
- [13] Jo, O.C., *Space Flight Dynamics*, Kyungmoon Publisher, 1984, pp. 151-155.
- [14] Kim, B.Y., Suggestions for the Korean Missile Defense System, *KIDA Defense Weekly*, 2013, No.1472, pp. 1-8.
- [15] Kim, J.H., Kim, K.T., Choi, B.W., and Suh, J.J., An Application of Quantum-inspired Genetic Algorithm for Weapon Target Assignment Problem, *Journal Society of Korea Industrial and System Engineering*, 2017, Vol. 40, No. 4, pp. 260-267.
- [16] Kim, J.W. and Kwon, Y.S., Analysis of Flight Trajectory Characteristics of the MRBM by Adjusting the Angle of a Flight path, *Journal of KIMST*, 2015, Vol. 18, No. 2, pp. 173-180.
- [17] Kim, J.W., *A study on the Building up Korean Missile Defense System based on the Flight Trajectories of Ballistic Missiles*, Korea National Defense Univ, 2016.
- [18] Kim, J.W., Kwon, Y.S., Kim, N.G., Kim, D.M., and Park, Y.H., A Study on the Deployment of a Sea Based Sensor Platform for the Detection of a SLBM, *J. Adv. Navig. Technol.*, 2015, Vol. 19, No. 5, pp. 363-369.
- [19] Kim, S.I. and Na, T.J., A Study on the Countermeasures System of North Korea's Short and Long-Range Missile Threats, *Korea and Global Affairs*, 2020, Vol. 4, No. 1, pp 195-220.
- [20] Kwon, Y.S., Technical Analysis and Assessment of North Korean Ballistic Missiles, *Journal of National Defense Studies*, 2013, Vol. 56, No. 1, pp. 1-27.
- [21] Lloyd, S.P. and Witsenhausen, H.S, Weapon Allocation is NP-Complete, *Proceedings of the IEEE Summer Computer Simulation Conference*, 1986, pp. 1054-1058.
- [22] Missile Threat, <http://missilethreat.csis.org>.
- [23] Park, H.R., A Comparative Study on BMDs of Israel, Japan and South Korea and Implications for South Korea, *Journal of international Area Studies*, 2016, Vol. 20, No. 1, pp. 195-223.
- [24] Park, S.G., and Lee, K.H., A Study on the Establishment of Capability-Based Multi-Layered Missile Defense System Considering MD in U.S., *Journal of the KNST*, 2020, Vol. 3, No. 1, pp. 46-55.
- [25] Yonhapnews, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20190824024253504?input=1195m>.
- [26] Yonhapnews, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210628082800504?input=1195m>.
- [27] Yoo, B.C., Kim, J.H., Kwon, Y.S., and Choi, B.W., A Study on the Flight Trajectory Prediction Method of Ballistic Missiles, *Journal of KOSSE*, 2020, Vol. 16, No. 2, pp. 131-140.
- [28] Yoon, M.H., Park, J.H., Yi, J.H., and Koo, B.J., An Effective Weapon Assignment Algorithm in a Multi-Target and Multi-Weapon Environment, *Korea Information Science Society, Winter Conference*, 2016, pp. 87-89.

ORCID

- Jun Sung Im | <http://orcid.org/0000-0002-4755-9931>
- Byeong Chun Yoo | <http://orcid.org/0000-0002-8237-0713>
- Ju Hyun Kim | <http://orcid.org/0000-0001-8835-0993>
- Bong Wan Choi | <http://orcid.org/0000-0002-9600-1714>