

# 장사정포 요격체계 교전통제소 명령 할당 방식에 따른 효과도 분석

김태구<sup>1\*</sup> · 김연주<sup>2</sup> · 김동근<sup>2</sup> · 박인철<sup>2</sup> · 심동혁<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한밭대학교 산업경영공학과 / <sup>2</sup>LIG Nex1

## Analysis of the Effectiveness of the Long-range Artillery Intercept System According to the Command Assignment Algorithm of the Control Center

Taegu Kim<sup>1</sup> · Yeonjoo Kim<sup>2</sup> · Donggeun Kim<sup>2</sup> · Inchul Park<sup>2</sup> · Donghyouk Shim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

<sup>2</sup>LIG Nex1

A long-range artillery intercept system is under development to counter the North Korean long-range artillery threat. Simultaneous engagement capability is very important because this system, which consists of radar, engagement control station, and missile launcher, has to deal with a large number of enemy fire rounds in a short time. In this study, we propose a command assignment method for the control center to improve the effectiveness of the long-range artillery intercept system. The proposed algorithm considers the interceptable shoot time of missiles according to the trajectory of the enemy and the possible schedule of each launcher. To verify the superiority of this algorithm, it was compared with the other two methods, distance-based and random. Experiment was executed under the assumption that a large number of enemies were concentrated in a certain area, and the result was obtained by repeating 100 times. The results show that our method contributes not only to the excellent effectiveness but also to the efficient operation of the launchers. Each launcher fired as many missiles as possible and generated the least amount of idle time. The results of this study can be used as a reference for the long-range artillery interception system as well as other complex systems in the future.

**Keywords:** Long Range Artillery Intercept System, Effectiveness, Missile Defense, Command Assignment, Weaponering

### 1. 서론

북한의 장사정포는 휴전선 근방 부대에 배치되어 사정거리내에 수도권 전 지역을 포함하고 있어 우리나라의 중대한 안보 위협으로 존재하고 있다(Ministry of National Defense, 2014). 이를 바탕으로 북한은 지속적인 위협성 발언은 물론 연평도

포격사건과 같은 실제 공격을 감행하기도 하였다(Yeo, 2014; Yoon, 2014).

이러한 위협에 대응하기 위하여 우리 군은 장사정포 요격체계의 개발을 진행 중이다(Choi, 2021; Yook *et al.*, 2020). 해당 체계의 개발에 대한 제안 및 연구는 이미 근 10년 가까운 시간 동안 이루어져 왔다(Kim, 2012; Ministry of National Defense,

이 논문은 LIG Nex1의 지원을 받아 수행되었음.

\* 연락처 : 김태구 부교수, 대전 유성구 동서대로 125 한밭대학교 산업경영공학과, Tel : 042-821-1226, Fax : 042-821-1591,

E-mail : taegu.kim@hanbat.ac.kr

2022년 2월 21일 접수; 2022년 3월 15일 수정본 접수; 2022년 3월 31일 게재 확정.

2014). 주로 미국의 미사일 방어체계(Park and Lee, 2020)에 기반한 다층 방어 개념을 수용하고, 실질적으로 운용되고 있는 가장 유사한 체계인 이스라엘의 아이언돔에 대한 이해를 바탕으로 개발에 대한 연구 및 제언이 이루어졌다(Park, 2016; Yoon, 2014). 현재 알려진 바에 따르면, 한국형 미사일 방어의 최하층에 장사정포 요격체계가 위치하게 되며(Lee, 2022; Maeng, 2021), 2020년대 말 ~ 2030년대 중반 배치를 목표로 하고 있다(Yoon, 2014).

체계 개념과 개발을 담당하고 있는 국방과학연구소(ADD, n.d.)에 따르면 장사정포 요격체계는 탐지자산, 교전통제소, 발사대로 구성된다. 전체적인 임무 수행 과정은 다음과 같다(Kim *et al.*, 2019; Yook *et al.*, 2020). 적 장사정포의 공격이 다기능 레이더에 탐지되면 그 궤적 정보를 획득하여 교전통제소에 전달하고, 각 발사대에 명령을 할당하여 유도 미사일을 발사함으로써 적탄을 요격하게 된다.

장사정포 요격체계는 기본적으로는 대공방어체계의 한 형태이지만, 엄청나게 많은 적 공격이 집중된다는 점(Kim *et al.*, 2015)은 다른 체계와 구별되는 두드러진 특징이다. 이렇듯 짧은 시간 단위 동안 다수의 적 공격을 처리할 수 있는 성능 지표를 동시교전능력이라고 하며, 장사정포 요격체계 개발 및 연구에 있어서 필수적인 부분이다(Hwang, 2019; Kim, 2012; Yook *et al.*, 2020). 구체적으로는 다수의 적탄을 동시에 탐지, 분해 및 추적해야 하는 탐지자산의 능력과 빠르게 다수의 유도미사일을 발사하기 위한 발사대의 능력, 주어진 탐지 정보를 바탕으로 발사대에 명령을 할당하는 교전통제소의 처리능력이 복합적으로 작용된 전체 체계의 임무 수행능력을 의미한다.

본 연구는 동시교전능력을 반영한 장사정포 요격체계 전체의 효과도를 다룬다. 효과도는 특정 무기체계를 인원, 무기체계, 구조물 등 특정 대상에게 적용하였을 때 얻는 피해 정도를 수치화 한 개념이다(Driels, 2004). 미군의 경우 다수의 실전 데이터 및 시뮬레이션 방법론 연구를 통해 효과도 자료인 JMEM(Joint Munitions Effectiveness Manuals)을 생산하기 위한 전문 기관(JTCG/ME)이 존재한다(Driels, 2004; Lee *et al.*, 2018; Moon and Yoo, 2004). 그러나 아직 국내에서는 이에 대한 연구는 부족한 실정이다(Hong *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2021).

특히 장사정포 요격체계는 아직 완성되지 않은 체계로서 그 연구가 매우 드물다. 대표적인 연구로는 체계의 효과도를 정의하고 구성요소들의 조합을 분석한 연구(Yook *et al.*, 2020)와 탐지정보를 바탕으로 다층 방어 체계의 무기할당(Weaponing) 문제를 다룬 연구(Lim *et al.*, 2021)가 있다.

육중관 외(Yook *et al.*, 2020)의 경우, 장사정포 요격체계의 효과도와 그 영향요인을 정의하고 각 요인에 대한 간략한 영향도를 분석하였다는 점에서 본 연구와의 관련성이 매우 높다. 그러나, 해당 연구에서는 교전통제소에 대해서는 거의 다루지 않았으며, 단순히 처리시간으로 그 능력을 반영하였다는 한계가 있다. 또한 교전통제소의 주요 기능인 명령의 생성 및 발사대 할당에 대해서는 하나의 방안만을 가정하고 있어 운용

방식에 따른 차이는 다루어지지 않았다.

한 편, Lim *et al.*(2021)는 교전통제소의 명령 할당을 다루고 있다는 점에서 본 연구의 문제에 좀 더 직접적인 관련성이 있다. 그러나, 무기체계의 효과도라고 할 수 있는 요격률이나 방어성공률 등의 직접적인 지표가 아닌 요격 가능성과 위협도에 따른 평가함수를 적용하였다는 점에서 차이가 있다. 또한, 이 연구는 장사정포 요격체계의 동시교전효과를 다루었다기보다는 탐지자산이 획득한 궤적 정보를 바탕으로 적 공격의 종류 및 특성을 식별하여 장사정포 요격체계와 탄도 미사일 방어체계 중 어떤 체계에 할당할 것인가 하는 무기할당 문제에 해당된다. 또한, 위치 정보를 가정하여 1회성 할당을 다루고 있는데 이는 기존 대공방어 연구(Kim and Seol, 2016)와 같은 형태이며, 시간에 따른 변화는 다루지 않는다.

본 연구에서는 장사정포 요격체계 교전통제소의 명령 할당 방식을 제안하고 그에 따른 요격체계의 효과도 성능을 분석하고자 한다. 제안하는 명령 할당 방식은 탐지된 적탄 정보와 요격체계의 발사대 정보, 기 할당 및 수행 중인 명령들의 정보를 종합하여 가장 빠르게 다음 미사일 발사가 이루어질 수 있도록 한다. 이 방식을 적용하면 교전통제소를 운용할 경우 다른 방식에 비해 개선된 효과도, 즉 높은 요격률과 방어성공률을 달성할 수 있을 것으로 기대한다.

연구는 제안하는 명령 할당 방식의 구체적인 절차와 논리를 설명한 후 그 성능을 검증하는 단계를 거친다. 기존 연구의 할당 방식과 무작위 할당 방식을 벤치마크로 설정하여 시뮬레이션 실험 결과를 바탕으로 비교하여 제안된 방식의 타당성을 검증한다.

본 연구의 결과는 향후 개발 및 배치될 장사정포 요격체계를 효과적으로 운용하기 위한 논리적 기초를 제공한다. 무엇보다 다양한 요소들을 복합적으로 고려하여 결과의 효율성을 높이기 위한 복합체계 운용을 다루고 있다는 점에서 점차 복잡해지는 무기체계와 전장 환경에 적합한 연구라고 할 수 있다.

## 2. 장사정포 요격체계 명령 할당 알고리즘 제안

### 2.1 요격체계 구성

장사정포 요격체계는 아직 개발 중인 무기체계로서, 아직 확정되지 않은 부분이 많다. 본 연구에서 가정하는 요격체계는 기존 연구(Hwang, 2019; Kim *et al.*, 2019; Yook *et al.*, 2020)에서 정의한 형태를 기반으로 하고 있다. <Figure 1>에 전체 체계의 개념도를 나타내었다. 하나의 장사정포 요격체계는 크게 탐지자산인 레이더, 교전통제소, 미사일발사대로 구성된다. 이들이 결합된 전체 체계는 적 장사정포의 공격으로부터 방호 목표를 지키는 것이 임무이다.

요격체계의 임무 수행과정은 다음과 같이 요약할 수 있다. 적 장사정포로부터 공격이 시작되면, 적탄의 궤적을 탐지자산

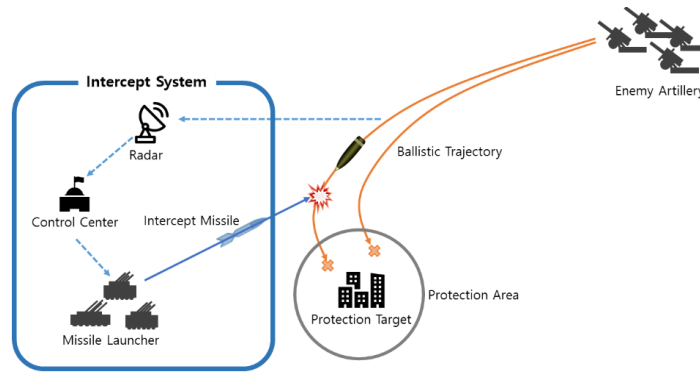


Figure 1. Long Range Artillery Intercept System Concept

이 획득한다. 획득된 적탄의 궤적 정보는 교전통제소에 전달되고, 서로 다른 적탄으로 분해된 적탄에 대해 교전통제소가 명령을 할당한다. 명령 할당은 각 적탄 별로 어느 발사대가 대응하여 요격할 것인지를 결정하는 것으로서, 할당 방식에 따라 적탄의 궤적 정보만 전달하거나 예정된 발사시점을 함께 지정할 수 있다. 명령을 전달받은 발사대는 대응방식에 따라 1개 혹은 여러 개의 미사일을 연달아 적탄에 발사하게 된다. 발사된 요격 미사일은 일정 높이까지 지상의 유도를 받아 진행한 후 적탄에 근접하게 되면 자체 추적 기능을 이용해 명중을 시도한다. 미사일이 적탄에 명중되면 미사일 내부의 장약이 폭발하여 자탄과 미사일 외피가 공간 내에 살포되어 적탄을 파괴하게 된다.

2.2 명령 할당 알고리즘

본 연구에서 제안하는 명령 할당 방식은 시간 우선 방식으로, 각 발사대의 위치와 적탄의 궤적을 고려하여 가장 빠른 시간에 대응할 수 있는 발사대가 그 적탄을 요격하도록 하는 것이다.

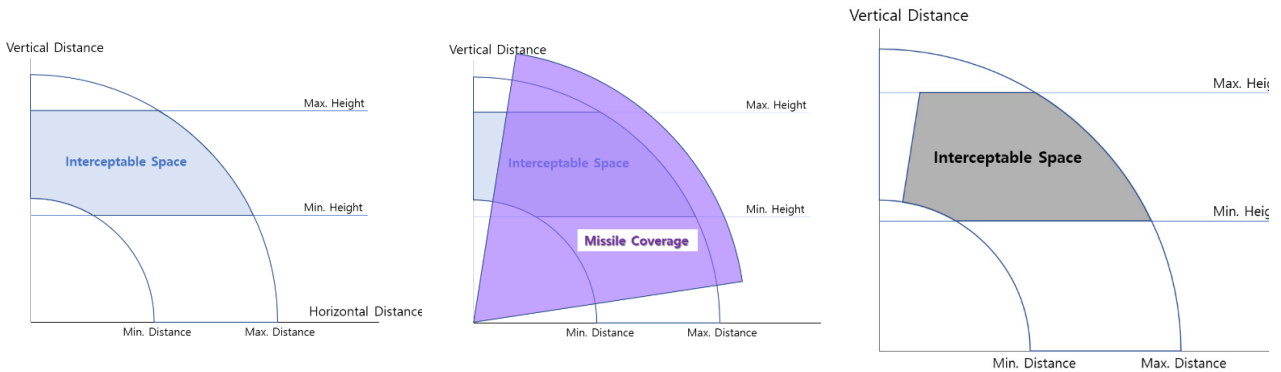
2.2.1 요격가능영역

제안하고자 하는 명령 할당 방식에서 가장 중요한 것은 각

미사일 발사대가 해당 적탄에 대해 갖는 요격 능력의 판별이다. 이는 각 발사대에서 발사되는 미사일이 적탄을 요격할 수 있는 시공간적인 정보를 의미한다.

그 중 공간에 해당하는 요격가능영역을 다음 <Figure 2>에 나타내었다. 3개의 그림은 모두 적탄과 발사대의 상대적인 위치정보를 이용한 입면도이다. 즉 좌하단의 원점이 발사대의 위치가 된다. 첫 번째 <Figure 2(a)>는 발사대의 위치를 기준으로 한 입체거리 범위(최대, 최소) 및 고도 범위(최대, 최소)에 의한 요격가능영역이다. 기존 연구(Kim et al., 2019; Yook et al., 2020)는 이 개념을 사용하고 있다. 입체거리 범위는 작전 지역의 개념이며, 고도 범위는 특히 최소 고도의 경우, 그 이하 높이에서 요격이 이루어질 경우 파편이 아래 지역에 부수적인 피해를 입힐 수 있기 때문에 설정된다. 두 번째 <Figure 2(b)>는 미사일의 도달 가능영역을 표현한 것이다. 미사일의 상승 각도 범위(최대, 최소) 및 미사일의 가속도 및 연료 제한 등에 따라 도달 가능 범위가 대체로 부채꼴 형태로 표현된다. 이를 결합하면 <Figure 2(c)>와 같은 최종 요격가능영역을 얻는다.

요격가능영역을 위에서 본 그림은 <Figure 3>과 같다. 자세를 제어할 수 있는 유도미사일의 특성 상 방위각에 무관한 도넛과 같은 형태가 되지만 지나쳐 간 적탄을 후방에서 요격한다는 개념을 제외하기 위하여 적 공격원점을 기준으로 한 전방 180도 범위로 한정하였다.



(a) Interceptable Space by Launcher Limit (b) Interceptable Space by Missile Coverage (c) Final Interceptable Space for a Launcher

Figure 2. Interceptable Space Side View

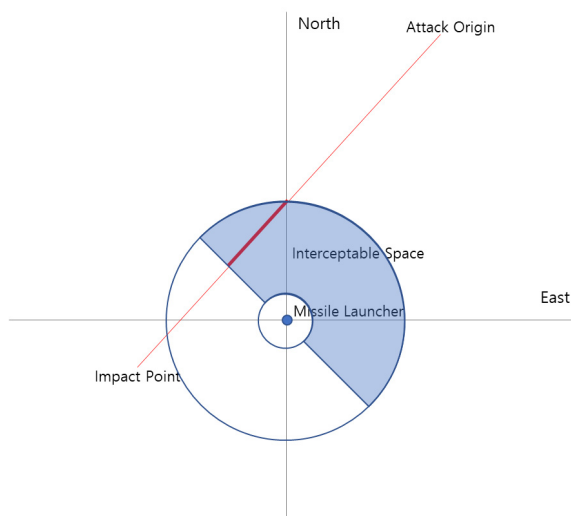


Figure 3. Interceptable Space Top View

이렇게 설정된 요격가능영역에 대한 교전통제소의 고려 방식은 다음과 같다. 적탄의 궤적 정보가 알려져 있을 때, 각 발사대의 요격가능영역에 진입하는지 여부를 따져서 진입하지 않는 경우에는 해당 발사대에 명령을 할당하지 않는다.

그러나 발사대의 능력에 대한 연구를 진행한 바(Kim et al., 2022)에 따르면, 이러한 요격가능영역은 일반적인 방호영역에 비해 상당히 크다. 따라서 하나의 적탄 궤적이 여러 발사대의 요격가능영역에 모두 진입할 가능성이 높다. 이러한 경우 발사대 간의 우선순위를 결정하기 위해서는 공간뿐 아니라 시간 정보가 필요하다.

2.2.2 요격가능 발사시점

<Figure 4>에 요격가능발사시점의 계산 과정을 도식화하였다. 우선 <Figure 4(a)>에 공간적인 상황을 묘사하였다. 임의의 적탄 궤적이 요격가능공간을 점 A로 진입하여 점 B로 빠져나

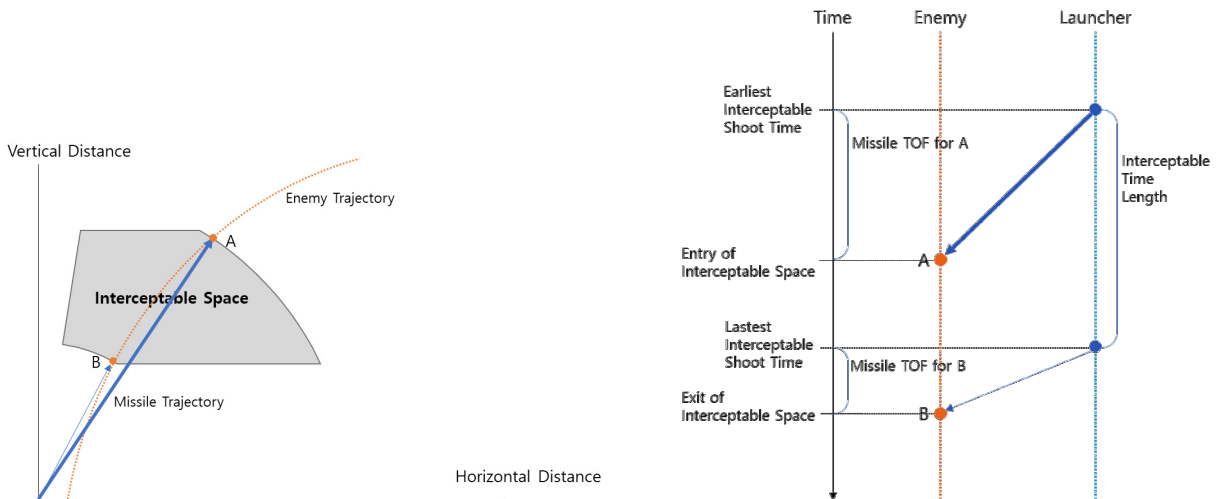
간다. 이 정보를 바탕으로 요격 미사일이 각 점 A 혹은 B에서 적탄을 요격하기 위한 궤적을 계산할 수 있으며 이를 각각 굵고 가는 파란 화살표로 나타내었다. 이제 <Figure 4 (b)>와 같이 발사대가 요격을 하기 위한 발사시점을 계산한다. 적탄의 A, B 지점 도달 시점을 예측하고 있는 상황에서, 이를 요격하기 위한 미사일의 궤적을 바탕으로 비행시간(TOF, Time of Fly)만큼 이전 시점으로 발사대의 요격미사일 발사시점(Shoot time)을 도출해내는 것이다. 다만, 입체공간 상에서 적탄의 궤적은 <Figure 3>과 같이 발사대까지의 거리가 줄어들다가 다시 늘어날 수도 있다. 따라서 요격가능 영역 내 각 지점에서 요격가능발사시점을 모두 계산하여야 정확한 요격가능발사시점 범위를 구할 수 있다.

2.2.3 제안 알고리즘

다음 <Figure 5>에 본 연구에서 제안하는 명령 할당 알고리즘의 개념을 도식화하였다. L1~L3는 각 발사대이며 수직선은 시간의 흐름을 의미한다. 각 발사대의 시간 선위에 표시된 회색 원과 실선은 각각 기 할당된 발사시점 및 그로 인한 재장전 등 준비를 위해 필요한 시간이다. 따라서 마지막 명령 실선의 하단부에 위치한 속이 비어있는 파란 원이 세 발사대의 가용시점(Launcher Available Time), 즉 다음 발사 가능시점이 된다.

빨간선은 이번에 명령을 할당하고자 하는 적탄의 시간 흐름이다. 같은 적탄이지만 발사대의 위치가 서로 다르기 때문에 각 발사대에 대해 목표 적탄의 요격가능발사시점은 모두 다르다. 이러한 차이가 빨간 원 두개 사이의 굵은 빨간 실선으로 표현되었다.

이제 이 정보를 가지고 해당 적탄을 어느 발사대에서 대응할지 결정하게 된다. 발사대의 가용시점 자체는 L3가 가장 빠르다. 그러나, 요격가능발사시점을 함께 고려하면, L1에서 가장 빨리 대응할 수 있다. 따라서 해당 적탄은 L1에서 발사하도록 명령을 할당하게 되며, 그 결과가 우측에 표현되었다. 이러한 방식을 사용하면 전체 발사대의 가용시점 최대값, 즉 가장



(a) Enemy Trajectory and Missile Trajectory with Interceptable Space (b) Calculation of Interceptable Shoot Time for a Target Enemy

Figure 4. Interceptable Shoot Time Calculation

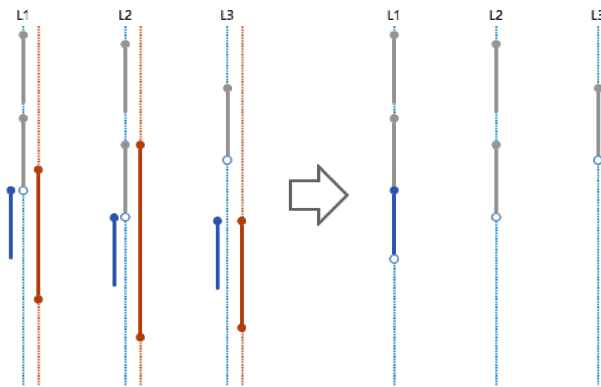


Figure 5. Concept of Suggested Command Assignment Algorithm

늦은 시점의 값이 가장 적게 증가하게 되어 모든 발사대를 고려할 경우 시간의 낭비를 줄이고 가장 많은 명령을 수행하도록 최적화할 수 있다.

그러나 위 명령 할당 개념을 실제 운용에 적용하기 위해서는 다음 두 가지 사항을 추가로 고려해야 한다. 하나는 현재 적탄을 탐지하고 명령을 할당하려고 하는 시점과 실제 발사가 이루어지는 시점이 다르다는 것이다. 교전통제소가 주어진 자료의 처리를 시작하고 명령을 생성하여 전달하는데 걸리는 시간(통제소 지연시간)과 명령을 받은 발사대가 미사일을 발사하는데 걸리는 시간(발사대 지연시간)의 합 만큼의 시간 이후에 실제 발사가 이루어진다. 이를 교전통제소 기준 최우선 가용시점(Control Center-based Available Time)이라 하며, <Figure 5>의 할당과정을 수행함에 있어서 이 시점 이후인지를 확인하여야 한다.

또 하나의 고려사항은 다수의 적탄을 동시에 처리해야 하는 상황이다. 위 도식화된 그림은 하나의 적탄에 대한 경우를 다루고 있다. 그러나 각 발사대에 다수의 적탄의 요격가능발사시점이 주어진 경우 어느 것을 먼저 처리할 것인지를 결정하여야 한다.

<Figure 6>에 다수의 적탄과 다수의 발사대를 동시에 고려한 명령 할당 알고리즘의 과정을 묘사하였다. 첫 단계인 (a)에서는 교전통제소가 특정 시점에서 한꺼번에 명령을 생성하고자 하는 대상 적탄의 수와, 발사대의 수를 고려하여 가용시점 행렬(AT, Available Time Matrix)을 구성한다. 행렬의 각 원소

는 위에서 언급한 각 발사대에서 적탄에 대응하기 위한 가장 빠른 발사시점을 의미한다. 또한, 이 값들은 교전통제소 기준 최우선 가용시점을 고려하여 계산되며, 그보다 빠른 시점인 경우에는 교전통제소 기준 최우선 가용시점으로 입력된다. 이를 다음 식 (1)에 나타내었다.  $LAT_{i,j}$ 는 <Figure 4>에 표현된 발사대 기반 가용시점, 즉 요격가능발사시점의 최소값이며,  $CAT$ 는 교전통제소 기준 최우선 가용시점이다.

$$AT_{i,j} = \max(LAT_{i,j}, CAT) \quad (1)$$

이제 주어진 행렬에서 명령을 생성하는 모습이 (b)에 표현되어 있다. 각 원소들 중 가장 작은 값을 선택하여 해당 열의 발사대에 해당 행의 적탄을 대응시키고, 해당 발사시점에 미사일을 발사하여 적탄을 요격할 수 있도록 한다.

명령이 하나 생성되면 행렬을 (c)와 같이 업데이트한다. 업데이트는 두 단계로 이루어진다. 첫째, 발사대 열의 모든 원소들의 값을 식 (2)와 같이 다시 계산한다. 발사대가 주어진 명령을 수행하는데 시간이 걸리기 때문에( $\Delta t$ ), 이를 고려하여 다음 가용시점( $AT_{i,j} + \Delta t$ )을 얻고, 이를 해당 열의 다른 원소들과 비교하여 이보다 작은 경우에는 새로운 가용시점 값으로 업데이트 한다. 그림의 예시에서는 명령을 수행하고 다음 준비 상태가 되는데 2.2초가 걸린다고 가정하였다. 따라서 19.5초가 다음 가용시점이 되고,  $AT_{1,1}$ 과  $AT_{1,3}$ 의 값이 모두 19.5보다 작으므로 19.5로 업데이트 하였다.

$$AT_{i,j} = \max(AT_{i,j}, AT_{i,j} + \Delta t) \quad (2)$$

업데이트의 두 번째 단계는 명령이 할당된 적탄 행에 대한 것이다. 해당 적탄에 중복된 명령이 할당되지 않도록 식과 같이 해당 행의 모든 값은 아주 큰 숫자로 채워진다. 따라서 이후의 진행과정에서 행의 다른 원소들은 선택되지 않는다.

$$AT_{i, \cdot} = BigM \quad (3)$$

다시 행렬에 대해서 최소값을 선택하여 다음 명령을 할당하는 과정이 (d)에 나타나있다. 이러한 과정을 반복하여 모든 적탄에 대해 명령이 생성될 때까지 반복한다.

이와 같은 과정을 통해 다수의 적탄을 다수의 발사대에 명

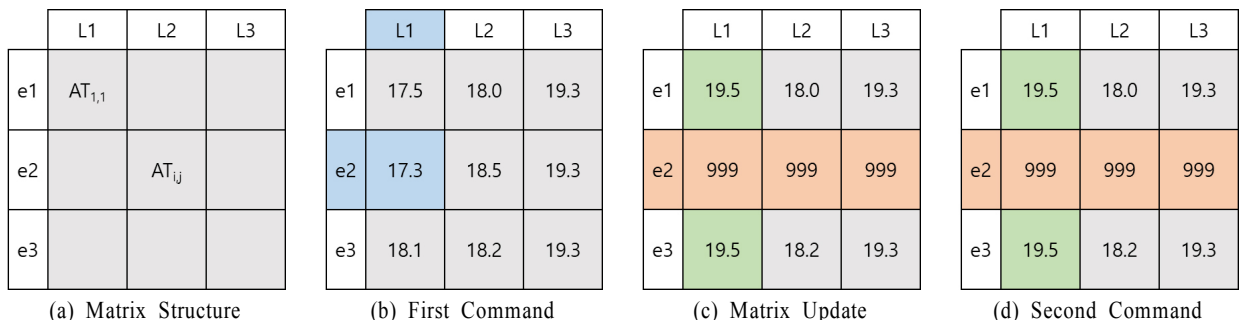


Figure 6. Multiple Command Assignment Algorithm



령 할당할 수 있으며, 발사대와 적탄의 수가 일치하지 않는 경우에도 적용이 가능하다. 다만, 예외적인 상황에 대한 별도의 처리가 필요하다.

### 3. 할당 방식 비교분석

이번 절에서는 제안하는 명령 할당 방식의 성능을 검증하기 위하여 다른 방식과 비교분석을 수행한다. 본 연구가 장사정포 요격체계의 동시교전능력과 최종 효과도의 상승을 목표로 하고 있기 때문에, 다수의 적탄을 짧은 시간 내에 요격해야 하는 상황을 시뮬레이션으로 구현하여 실험하였다.

#### 3.1 실험설계

##### 3.1.1 적 공격 시나리오

실험을 위해 가정한 적 공격의 시나리오는 장사정포 6문 1개 중대가 일정한 간격으로 방호 목표를 향해 공격을 반복하는 것이다. 비교 대상이 되는 할당방식 연구(Yook *et al.*, 2020)와 유사한 형태로 6문이 1.5초 간격으로 일제사를 22회 반복하게 설정하였다. 적의 공격원점은 240mm 장사정포의 최대 사

거리인 60km보다 조금 짧은 50km 거리에 존재한다.

레이더와 발사대의 능력에 대한 분석 결과(Kim *et al.*, 2022) 방위각에 의한 영향이 거의 존재하지 않으므로 단순화를 위하여 정북향으로 가정하였다. 적탄의 전달정확도는 원형공산오차(CEP, Circular Error Probable) 기준으로 xx m이며(정확한 값은 보안상 표시하지 않음), 발사각의 기본값은 45도에 표준편차 2도의 정규분포를 가정하였다.

또한, 명령 할당 방식 간의 정확한 비교를 위하여 시뮬레이션을 통해 적탄의 궤적이 생성되면 3가지 방식에 동일하게 적용되었다. 즉, 100회 반복 수행을 하는 경우 각 회차의 적 공격은 동일하게 생성되어 3가지 방법으로 시뮬레이션 수행된다.

##### 3.1.2 시뮬레이션 설계

시뮬레이션을 위한 각 요소의 능력치 항목은 다음 <Table 1>과 같으며 나타난 바와 같이 일부 값의 경우 보안상 구체적인 값을 표시하지 않았다.

##### 3.1.3 비교대상 명령 할당 방식

제안하는 명령 할당 알고리즘의 우수성을 보이기 위한 방법으로, 2가지 다른 방식을 함께 비교한다. 첫 번째는 무작위 할당이다. 대응이 필요한 적탄에 대해 보유하고 있는 발사대 중 임의의

Table 1. Simulation Setting

Item	Value
Protection Target Origin (m)	0,0,0
Protection Target Area Radius (m)	xx
Radar Location (m)	0,0,0
Radar Alignment Direction (North, Degree)	0
Radar Detection Performance, Elevation Range (Degree)	xx~xx
Radar Detection Performance, Azimuth Range (Degree)	xx~xx
Radar Detection Performance, Distance Range (m)	xx~xx
Radar Resolution Performance, Elevation (Degree)	xx
Radar Resolution Performance, Azimuth (Degree)	xx
Radar Resolution Performance, Distance (m)	xx
Radar Information Update Interval (Second)	xx
Radar Tracking Capacity (Number of Objects)	200
Control Center Command Assignment Time Interval (Second)	xx
Number of Missiles per Enemy (Unit)	2
Launcher Interceptable Height Range (m)	xx~xx
Launcher Interceptable Distance Range (m)	xx~xx
Missile Elevation Angle Range (Degree)	xx~xx
Launcher Command Execution Time (Second)	0.8
Launcher Missile Capacity (Unit/Launcher)	32
Launcher Reload Time (Second)	30
Probability of Hit (Ph) Range (%)	xx~xx
Probability of Kill (Pk) Range (%)	xx~xx

Table 2. Command Assignment Algorithm Comparison

Algorithm	Suggested (Earliest Possible)	Closest Assignment	Random Assignment
Rule	Find the earliest possible launcher for target enemy	Select a launcher closest to the predicted impact point of target enemy	Select a launcher randomly
Information used	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enemy trajectory</li> <li>• Launcher location</li> <li>• Existing launcher schedule</li> <li>• Launcher-enemy interceptable time</li> <li>• Missile performance</li> <li>• Execution time of control center and launcher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enemy trajectory</li> <li>• Launcher location</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• None</li> </ul>
Command format	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target enemy</li> <li>• Assigned launcher</li> <li>• Tentative shoot time</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target enemy</li> <li>• Assigned launcher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target enemy</li> <li>• Assigned launcher</li> </ul>
Missile shoot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guaranteed (following missiles might be cancelled)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Not guaranteed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Not guaranteed</li> </ul>

번호를 골라 할당하는 방식이다. 적탄과 발사대의 조합만을 결정하여 명령을 할당하게 된다. 두번째는 기존 연구(Yook *et al.*, 2020)에서 다루어진 바 있는 거리기반 할당이다. 적탄의 예상 탄착점에 가장 가까운 발사대에 명령을 할당하며, 무작위 방식과 마찬가지로 적탄과 발사대의 조합으로 명령이 생성된다.

비교대상인 두 방식과 제안하는 방식의 가장 큰 차이는 생성된 명령에 포함된 정보이다. 제안하는 방식에서는 발사시점이 명령에 포함되지만, 나머지 두 방식에서는 그렇지 않다. 따라서 발사시점은 명령이 할당된 후 발사대가 할당된 적탄에 대해 <Figure 4>와 같은 계산을 수행한 후, 발사대의 가용시점을 고려하여 결정된다. 결국, 사전에 고려되지 못한 정보로 인해 나머지 두 방식에서는 할당된 명령이 실제로 수행되지 못할 가능성이 존재한다. 제안하는 방식에서도 적탄 1개에 대해 여러 발의 미사일을 발사하고자 하는 경우 첫 발사시점은 명령 수행이 보장되지만, 그 다음 미사일은 요격가능발사시간을 넘겨 발사되지 못할 수 있다. 그러나 나머지 두 방식은 대응 미사일 발수에 관계없이 명령의 수행이 보장되지 못한다.

제안된 방식을 포함하여 비교하고자 하는 3가지 방식의 특성을 다음 <Table 2>에 요약하였다.

3.1.4 주요 분석지표

장사정포 요격체계의 최우선 목표는 방호목표를 보호하는 것이다. 방호 달성의 효과도는 2가지 형태로 정의되었다(Kim *et al.*, 2019; Yook *et al.*, 2020). 하나는 가장 기본적인 효과도 척도인 살상확률을 다수의 적탄에 대해 계산하는 것으로서, 피해를 유발할 것으로 예상되는 적탄 즉 방호목표 내 낙탄이 예상되는 적탄 중에서 요격에 성공한 수의 비율로 정의된다. 또 다른 정의는 방어성공률이다. 이는 US NMD(National Missile Defense)에서 사용된 개념으로(Wilkening, 2000), 일정 이상의 요격률을 달성하면 방호목표의 피해가 원하는 수준 이하로 억제될 수 있다고 보는 방식이다. 따라서, 해당 요격률 달성 혹은 방호 임무의 달성 가능성을 계산함으로써 효과도를

정의하게 된다. 시뮬레이션 실험에서는 반복 시뮬레이션 수행 결과를 바탕으로 일정 이상의 요격률(본 연구에서는 85% 이상)을 달성한 비율로서 구한다.

효과도 아닌 분석 지표로는 명령 할당 비율과 미사일 발사 비율이 있다. 각각 방호목표 내 낙탄이 예상되는 적탄 중 요격 명령이 할당되고 요격을 위해 미사일이 발사된 비율이다. 당연히 두 지표 모두 앞서 언급된 효과도에 직결되는 값이지만, 명령 할당 방식의 차이에 따른 교전통제소의 처리 능력을 보여주기엔 적절한 추가 정보이다.

그 외에 명령 할당 방식이 실제 발사대에서 어떻게 작용하는지를 살펴보기 위한 발사대의 가용시점 변화 흐름 및 시간대 별 미사일 발사 수 등을 함께 살펴볼 것이다.

3.2 실험결과

3.2.1 전체 시뮬레이션

시뮬레이션 실험 100회를 반복한 결과를 <Table 3>에 요약하였다. 제안된 명령 할당 알고리즘을 적용한 경우의 효과도가 나머지 두 알고리즘을 크게 상회하는 것을 확인할 수 있다. 제안된 할당 알고리즘은 100회의 적 공격 시뮬레이션 중 모든 회차에서 85% 이상의 요격률을 달성한 반면, 나머지 두 알고리즘은 86회 이하의 비율을 보였다.

요격률(Intercept Rate)에 대한 세 알고리즘의 통계 분석을 다음 <Table 4>에 정리하였다. 제안된 알고리즘은 나머지 두 알고리즘에 대해 90% 이상의 확률로 더 나은 결과를 보이며, 쌍체검정(paired t-test) 역시 유의하다. 다만 거리 기반 방식과 무작위 방식은 무엇이 더 낫다고 보기 어렵다. 평균값이 거리 기반 방식이 아주 조금 더 낮고, 시행 별로 보아도 거리기반 방식이 나온 수(48회)가 무작위 방식(46회)보다 많다. 그러나 유의한 차이를 보이지는 않는다.

각 알고리즘에 의해 발사된 요격 미사일의 수를 서로 비교하여 <Table 5>에 정리하였다. 제안된 알고리즘은 평균 183발

의 미사일을 생성하였으며, 이는 다른 두 알고리즘에 비해 10 발 이상 높은 수치이다. 100회 중 96회 이상의 경우에서 제안된 알고리즘의 결과값이 더 크게 나타났으며, 쌍체검정 결과 역시 유의하다. 나머지 두 알고리즘 중에서는 거리기반 알고리즘이 약간 더 높은 평균값을 보였으며, 100회 중 53회에서 무작위 방식보다 같거나 높은 값을 보였으며 3번은 동등한 수준이었다. 그러나 평균 차이에 비해 표준편차가 큰 편이어서 통계적으로 유의한 차이가 되지는 않았다.

각 알고리즘에 의해 생성된 명령의 수를 서로 비교하여 <Table 6>에 정리하였다. 지표 설정 시 예상하였던 바와는 달리 제안된 알고리즘은 다른 두 방식에 비해 오히려 적은 수의 명령을 할당하였다. 평균값 자체로도 3건 이상의 유의한 차이가 존재하고 있으며, 모든 시행에서 예외없이 다른 알고리즘에 비해 같거나 적은 수를 보였다.

한편, 다른 지표와 달리 명령의 수에서는 거리기반 할당이 무작위 할당에 비해 더 나은 결과를 보였으나 여전히 통계적

**Table 3.** Simulation Experiment Summary

Algorithm	Suggested	Closest	Random
Number of Enemy	132	132	132
Avg. Enemy on Protection Area	101.84	101.84	101.84
Avg. Enemy Detected	101.84	101.84	101.84
Avg. Enemy in Interceptable Space	132	132	132
Avg. Command Assigned	93.15	96.72	96.84
Avg. Missile Shot	183.88	173.19	172.77
Avg. Enemy Hit	92.7	88.03	87.91
Avg. Enemy Killed	91.1	85.52	85.2
Intercept Rate (%)	89.53	84.08	83.75
Mission Success Rate (%)	100	86	85

**Table 4.** Statistics of Intercept Rate

Algorithm	is better than (# of cases, p-value of paired t-test)		Average	Stdev.
	Closest	Random		
Suggested	93 (p<0.0001)	94 (p<0.0001)	89.53	2.97
Closest		48 (p=0.186)	84.08	3.91
Radom			83.75	3.54

**Table 5.** Statistics of Number of Missiles

Algorithm	is bigger than (# of cases, p-value of paired t-test)		Average	Stdev.
	Closest	Random		
Suggested	96 (p<0.0001)	97 (p<0.0001)	183.9	5.75
Closest		53 (p=0.273)	173.2	6.86
Radom			172.8	6.61

**Table 6.** Statistics of Number of Command Assignments

Algorithm	is bigger than (# of cases, p-value of paired t-test)		Average	Stdev.
	Closest	Random		
Suggested	0 (p<0.0001)	0 (p<0.0001)	93.2	3.24
Closest		31 (p=0.181)	96.7	4.15
Radom			96.8	4.32



으로 유의한 차이는 아니다. 더 많은 명령을 할당한 경우는 100회 중 31회에 그쳤으나, 동물이 40회에 이른다.

전체 시뮬레이션 결과를 살펴보았을 때, 예상대로 제안된 명령 할당 알고리즘이 적 장사정포의 위협에 대한 가장 효과적인 방어를 이끌어내고 있다. 최종 효과도 척도인 방어성공률과 요격률로서 확인할 수 있다. 또한 이러한 결과는 다른 방식에 비해 더 많은 미사일을 발사할 수 있도록 한 수행 과정에 기반한 것으로 확인되었다. 나머지 두 방식은 유의한 차이를 보이지 않았다.

제안된 방식의 뛰어난 성능이 증명되었지만 미사일 발수에 비해 역순인 명령 할당 수에 대해서는 다음의 세부 수행 내용 분석을 통해 살펴볼 필요가 있다.

3.2.2 1회 시행 분석

좀 더 상세한 과정을 보기 위해 100회 중 6번째 시뮬레이션 실행의 결과를 상세 분석하기로 한다. 다음 <Figure 7>은 세 가지 명령 할당 방식에 따른 적탄 요격 결과를 평면도로 나타낸

것이다.

시뮬레이션 실험의 편의를 위해 대부분의 적탄이 방호영역(초록색 원)에 가깝게 탄착되게끔 설정되었다. 적탄의 궤적은 회색 점선으로 표시된다. 6개의 미사일 발사대는 6각형 형태로 배치되어 있는 것을 확인할 수 있다. 요격 미사일이 적탄을 요격한 지점이 파란 별 모양으로 표시되어 있다.

세 알고리즘의 결과를 비교해보면, 제안된 방식이 나머지 두 방식에 비해 요격 위치가 전방에 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 최대한 가용 시간이 빠른 발사대에 명령을 할당함으로써, 해당 적탄에 대응하는 미사일이 빨리 발사되어 이른 시점에 요격이 가능해진 때문이다.

<Figure 8>은 시간의 흐름에 따른 발사대의 가용시점의 변화 양상을 표현한 것이다. 제안된 알고리즘의 경우, 가장 빠른 미사일 발사가 가능한 발사대를 찾아 명령을 할당함으로써 그 발사대의 가용시점이 증가하게 되기 때문에 6개의 그래프가 거의 겹쳐지게 그려진 것을 확인할 수 있다. 그러나 나머지 두 알고리즘의 결과에서는 발사대 별 가용시점의 차이가 뚜렷하

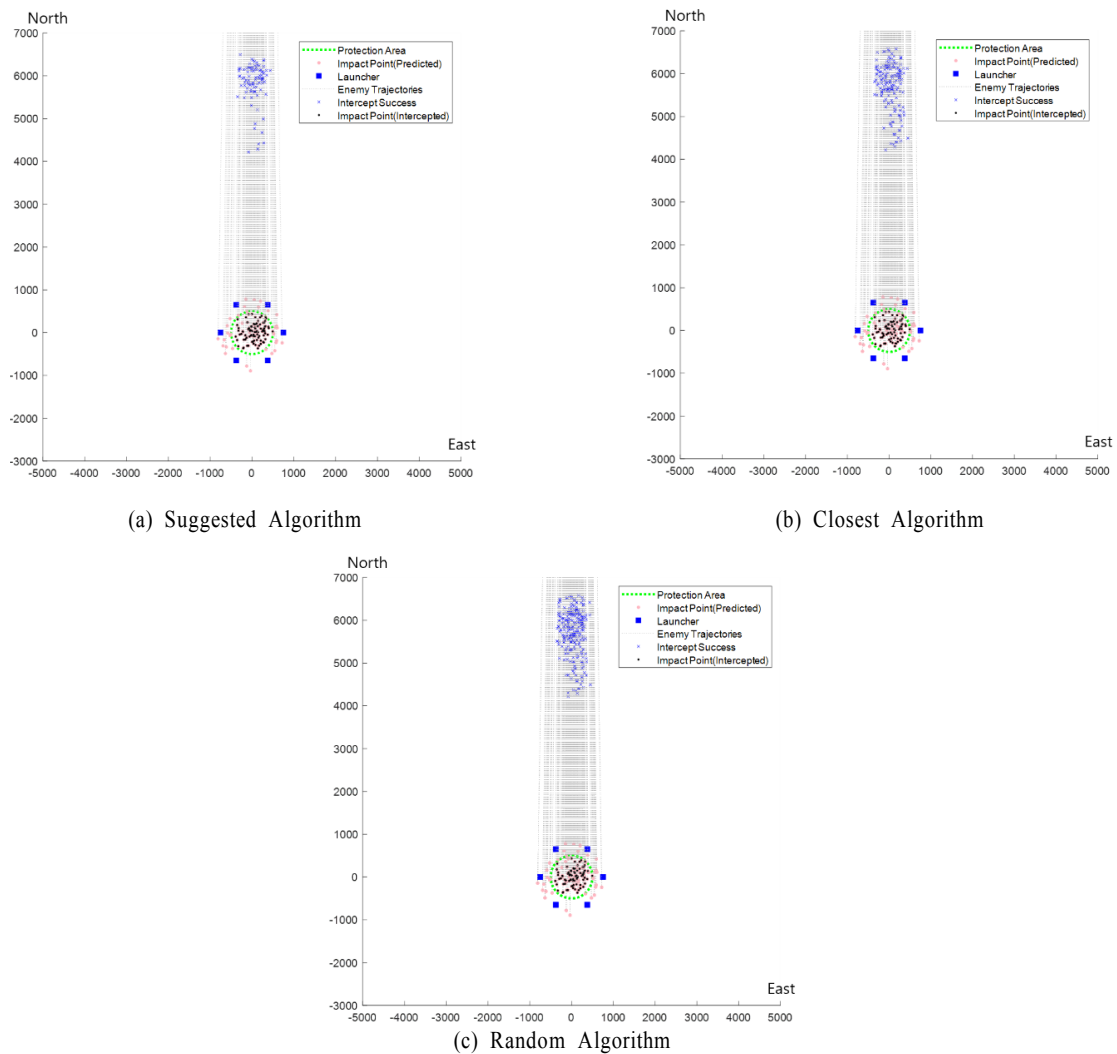


Figure 7. Top View of Simulation Result (1 case)

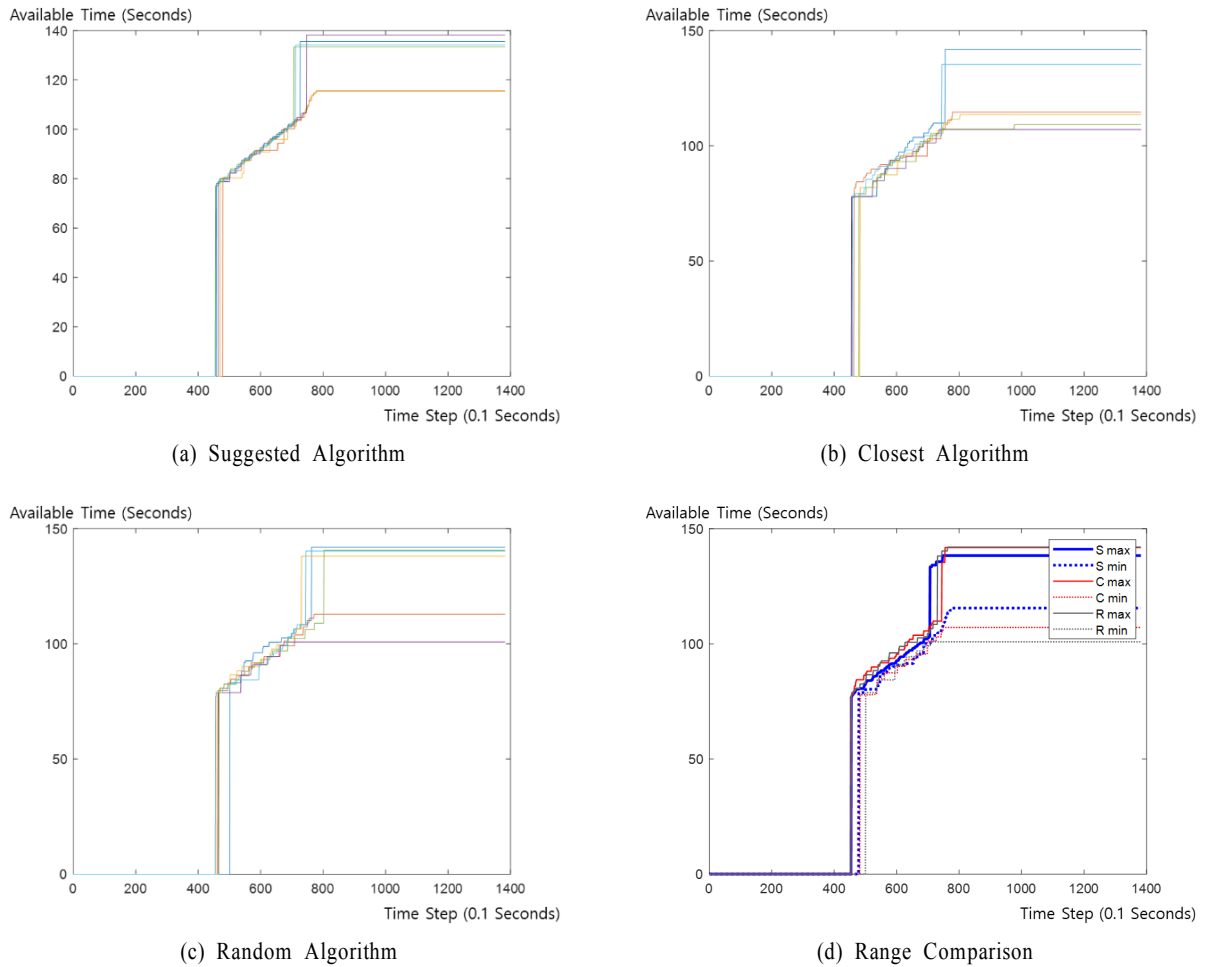


Figure 8. Launcher Available Time Comparison (1 case)

다. 이러한 차이를 강조하기 위하여 마지막 (d)에 세 방식의 그래프에서 최대-최소 범위를 그려서 나타내었다. 시점에 따라 다르지만, 제안된 방식의 범위는 항상 가장 좁고 근소한 차이로 랜덤 할당 방식의 최대-최소 폭이 가장 넓다.

그래프에서 큰 폭으로 증가하는 부분은 발사대에 장착된 미사일을 모두 소진한 경우의 재장전 시간이다. 현실적으로는 재장전 시간이 시뮬레이션 실험보다 훨씬 크고 적용이 불가능할 수 있으나, 할당 방식의 비교를 위해 추가하였다. 제안된 방식에서 발사된 미사일 수가 훨씬 많기 때문에 재장전이 많이 이루어진 것을 확인할 수 있다.

앞서 전체 실험 요약에서 제기된 명령 생성 수 차이의 실마리 역시 이 그래프에서 찾아볼 수 있다. 마지막 그래프에서 보면 재장전이 일어나는 시점의 차이를 볼 수 있는데, 이는 제안된 방식이 더 빨리 많은 미사일 발사를 수행했다는 뜻이다. 따라서 발사대의 대응 능력이 저하되는데, 나머지 방식의 경우 아직 재장전이 일어나지 않으면서 발사대의 대응 능력이 비교적 늦게 유지되어 추가적인 명령을 수행할 수 있게 된다.

그러나 이러한 설명은 재장전 시점 이전으로 제한하더라도 제안된 알고리즘이 더 많은 미사일 발사를 수행하고 있기 때

문에 명령도 더 많아야 한다는 의문이 남는다. 합리적인 추론은 나머지 두 방식에서는 명령이 발사대의 가용시점을 고려하고 있지 않아 적탄 하나에 대해 2발의 미사일로 대응하도록 한 명령을 모두 수행하지 못하고 1발에 그칠 수 있다는 것이다.

<Figure 9>에 시간 흐름에 따른 요격미사일 발사 총 수와 생

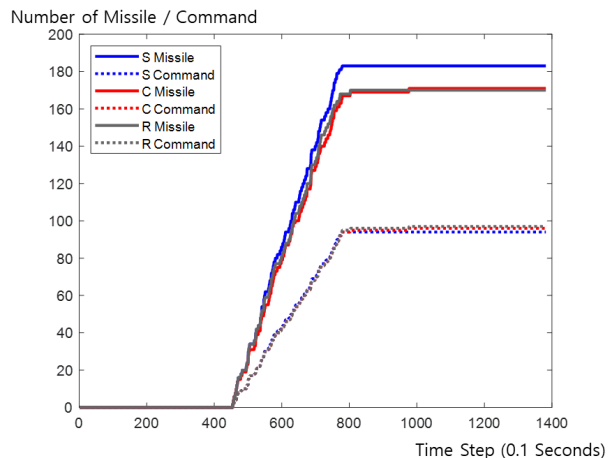


Figure 9. Missile and Command Trend Comparison

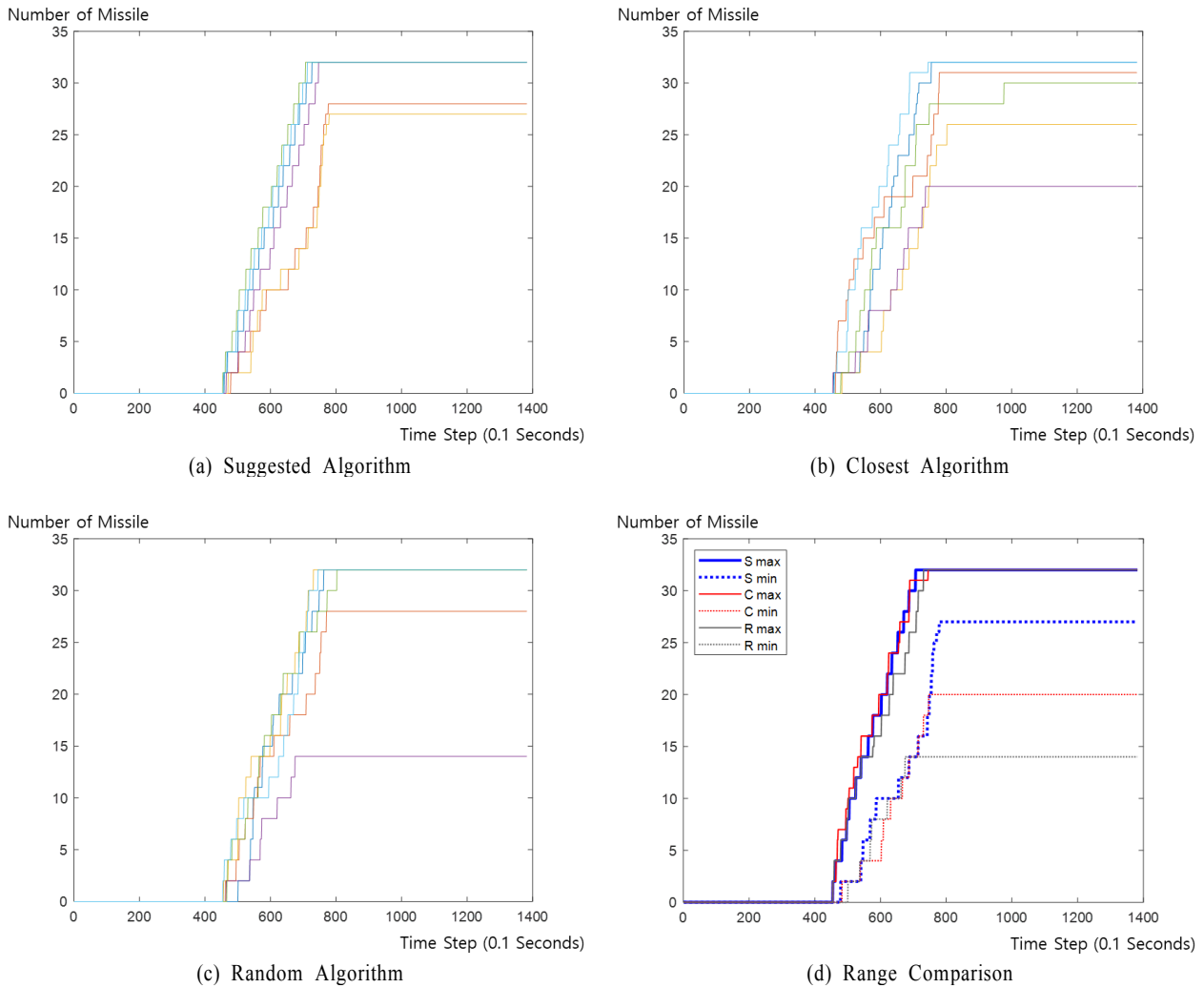


Figure 10. Launcher Missile Shoot Trend (1 case)

성된 명령의 수의 차이를 도식화하였다. 점선으로 나타나는 명령의 총 수는 앞서 언급한 바와 같이 거의 유사하다가 후반부에 제안된 명령할당방식이 대응할 수 없게 된 후 추가 생성된 명령들로 인해 차이가 발생한다. 또한, 추론한 대로 대부분의 시간에서 비슷한 수의 명령이 생성되고 있는 동안 발사된 미사일의 수는 차이가 뚜렷하다.

마지막으로 발사대 별 미사일 발사 수를 <Figure 10>에 비교하였다. 거리기반 혹은 무작위 할당의 경우 각 발사대의 선택 확률이 이론적으로 균등하다. 그러나 실제 실험 결과를 살펴보면 오히려 제안된 방식에 비해 발사대 간 격차가 큰 것을 확인할 수 있다. 마지막 (d)에서 최대-최소 범위를 비교한 것을 보면 명령 할당 방식이 발사대 별 미사일 발사 수의 최대에는 영향을 미치지 않지만, 최소에는 큰 차이를 만들어내는 것을 볼 수 있다. 즉, 명령 할당 방식을 최적화하지 않더라도 특정 발사대에는 명령이 집중되어 거의 최대치의 미사일 발사 스케줄이 보장된다. 그러나, 알고리즘을 개선하지 않는 경우에는 미사일 발사가 거의 이루어지지 않는 경우가 발생하는 등, 전

체 요격체계의 능력을 사용할 수 없게 된다.

#### 4. 결론

북한의 장사정포는 수도권을 사정거리에 두고 지속적으로 우리 국민의 삶을 위협하고 있다. 이에 대응하여 주요 시설을 보호하기 위해 군은 장사정포 요격체계의 개발을 서두르고 있다. 장사정포 요격체계는 다수의 적탄을 대상으로 하는 지대공 무기체계로서 기존 미사일 방어와는 다른 다대다 교전을 기반으로 하고 있으며, 이를 위해서는 동시교전능력이 중요하다. 본 연구는 장사정포 요격체계의 동시교전능력을 개선하고 궁극적으로 적탄 요격 성능의 발전을 위한 교전통제소의 명령 할당 방식을 제안하고 실험을 통해 검증하였다.

제안된 명령 할당 알고리즘은 각 발사대와 탐지된 적탄 궤적의 위치를 활용하여, 요격가능 발사시점을 계산하고, 이를 바탕으로 가장 빠른 요격 미사일 발사가 가능한 발사대에 명

령을 할당하는 방식이다. 이 방식은 가능한 모든 발사대를 고르게 활용하고 임무 수행 간 유휴 시간을 줄여 같은 시간 내 가능한 많은 적탄을 처리하려는 의도를 가지고 있다.

알고리즘의 성능을 시뮬레이션 실험을 통해 검증하였다. 적 공격 시나리오는 기존 연구와 유사한 적 장사정포 중대의 다 회차 일제사이며, 비교를 위해 거리 기반 및 무작위 할당 방식을 추가하였다. 실험 결과는 요격률과 방어성공률에서 상당한 격차로 유의한 성능을 보여주었으며, 90% 이상의 확률로 다른 방식을 초과하는 결과를 얻었다.

체계의 작동 과정을 좀 더 상세히 들여다보면, 제안된 알고리즘은 원래의 의도대로 각 발사대를 고르게 사용하면서 가용 시점을 최대한 고르게 유지하는 것이 확인된다. 그로 인해 대부분의 시간대에서 같은 명령 횟수를 가지면서도 더 많은 미사일 발사가 가능해짐으로써 적의 공격에 더욱 효과적으로 대응할 수 있는 것이다.

실험 결과는 제안한 알고리즘의 유의한 성능을 증명하고 있다. 그러나 시뮬레이션에 묘사된 객체들의 물리 논리 및 작동 과정 해상도에 있어서는 한계가 있어 추가적인 자료 및 연구를 통해 이에 대한 보완이 필요할 것이다.

본 연구는 한국형 미사일 방어계획의 한 축을 담당하게 될 최신 무기체계의 효율적 운영 방식을 제안하고 있다. 특히, 레이다, 발사대, 미사일, 교전통제소 등 다양한 구성요소들의 특성을 복합적으로 고려하여 동시교전효과를 끌어올렸다는 점에서 체계에 대한 종합적이고 깊은 이해를 바탕으로 하고 있어 실무적인 효용성이 클 것으로 기대된다. 앞으로 적의 공격과 방호 목표의 여러 상황을 고려하여 다양한 임무 수행이 가능케 하는 추가적인 연구를 수행한다면 더욱 더 군과 국가에 가치있는 성과가 될 것이다.

## 참고문헌

- Agency for Defense Development (2022), Long Range Artillery Intercept Technology. Retrieved February 15, 2022, from <https://www.add.re.kr/board?menuId=MENU02766&siteId=SITE00002>.
- Choi, H. (2021), 'Long-range artillery intercept system', which will be the core of North Korea's long-range artillery defense, aims to be a C-RAM system superior to Israel's Iron Dome, *Defense and Technology*, **514**, 44-53.
- Driels, M. R. (2004), *Weaponneering: conventional weapon system effectiveness*, American Institute of Aeronautics and Astronautics Reston, VA.
- Hong, J., Park, Y., Park, S. C., and Kwon, Y. (2010), A Technology on the Framework Design of Virtual based on the Synthetic Environment Test for Analyzing Effectiveness of the Weapon Systems of Underwater Engagement Model, *Journal of the Korea Society for Simulation*, **19**(4), 291-299.
- Hwang, S. (2019), *A study on the operational effectiveness of the North Korean long-range artillery response intercept system*, Hanbat National University.
- Kim, J.-K. and Seol, H. (2016), The Optimal Deployment Problem of Air Defense Artillery for Missile Defense, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, **39**(1), 98-104.
- Kim, J. (2012), North Korea's long-range artillery defense system (C-RAM) necessity and development direction, *KIDA Weekly*, 1426, 1-9.
- Kim, T., Suh, S., and Jung, G. (2015), Analysis Procedure for Fire Power Suppression on Enemy Artillery Base Using FASCAM, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **18**(6), 743-754.
- Kim, T., Yook, J. K., Choi, S. Y., and Hwang, S. (2019), A study on the influence of performance indicators for each element in many-to-many combat: Long-range artillery intercept system simulation, *12th International Army Modeling and Simulation Education Conference*.
- Kim, T., Yun, N., Kim, Y., Park, I., and Shim, D. (2022), Effect analysis of long-range artillery intercept system according to its component arrangement, *Will be published to Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineerin*, **45**(1), 41-52.
- Lee, J., Roh, S., and Han, H. (2018). The methodology for estimating munitions effectiveness of domestic developed weapon systems, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, **44**(2), 21-31.
- Lee, S., Oh, H.-S., Kim, D., Rhie, Y., and Lee, S. (2021), An Extension of MSDL for Obtaining Weapon Effectiveness Data in a Military Simulation, *Journal of the Korea Society for Simulation*, **30**(2), 1-9.
- Lee, S. (2022), Reinforcement of Korean-style missile defense system against North Korean threats... Development of rail gun and Korean-style THAAD, YTN, [https://www.ytn.co.kr/\\_ln/0101\\_202201232248215963](https://www.ytn.co.kr/_ln/0101_202201232248215963)
- Lim, J. S., Yoo, B. C., Kim, J. H., and Choi, B. W. (2021), A Study of Multi-to-Majority Response on Threat Assessment and Weapon Assignment Algorithm: by Adjusting Ballistic Missiles and Long-Range Artillery Threat, *Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering*, **44**(4), 43-52.
- Maeng, S. (2021, July 19), 2.89 trillion won will be invested... Domestic R&D by 2035. Defense Daily. [https://kookbang.dema.mil.kr/newsWeb/m/20210720/1/BBSMSTR\\_000000100115/view.do?nav=0&nav2=0](https://kookbang.dema.mil.kr/newsWeb/m/20210720/1/BBSMSTR_000000100115/view.do?nav=0&nav2=0)
- Ministry of National Defense (2014), Defense White Paper. Ministry of National Defense.
- Moon, H. G. and Yoo, S. G. (2004), *Development direction of Korean-style ammunition effect manual using US JMEM* (pp. 301-383), Korean Research Institute for Strategy.
- Park, H. R. (2016), A Comparative Study on BMDs of Israel, Japan and South Korea and Implications for South Korea, *Journal of International Area Studies*, **20**(1), 195.
- Park, S. G. and Lee, K. H. (2020), A Study on the Establishment of Capability-Based Multi-Layered Missile Defense System Considerin, *Journal of the KNST*, **3**(1), 46-55.
- Wilkening, D. A. (2000), A simple model for calculating ballistic missile defense effectiveness, *Science & Global Security*, **8**(2), 183-215.
- Yeo, Y. Y. (2014), Undeterred Limited War Threat from North Korea and Civil-Military Relation in South Korea: Focusing on the Torpedo Strike against the South Korean Corvette Cheonan and the Shelling of the South Korean Island Yeonpyeong, *East Asia Studies*, **33**(2), 121-166.
- 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.
- Yoon, T. (2014), Assessment and Development Direction of South Korea's Crisis Management towards North Korea: With Reference to the Sinking of the Cheonan and the Shelling of Yeonpyeong Island, *Policy Study*, **183**, 93-123. <http://www.riss.kr/link?id=A104821160>.

## 저자소개

**김태구**: 서울대학교 산업공학과에서 2002년 학사, 2013년 박사를 취득하고 한밭대학교 산업경영공학과 부교수로 재직 중이다. 연구분야는 경제성분석, 수요예측, 데이터분석, 국방과학이다.

**김연주**: 국민대학교 전자공학부에서 2020년 학사학위를 취득하고 LIG넥스원 PGM1연구소.L-SAM체계단.1팀 선임연구원으로 재직 중이다. 연구분야는 대공유도무기 체계설계, 체계공학이다.

**김동근**: 선문대학교 정보통신공학과에서 2017년 학사, 중앙대학교 영상학에서 2020년 석사학위를 취득하고 LIG넥스원

PGM1연구소.L-SAM체계단.1팀 선임연구원으로 재직 중이다. 연구분야는 객체 검출, 대공유도무기 체계설계, 소프트웨어 설계이다.

**박인철**: 성균관대학교 정보통신공학부에서 2007년 학사학위를 취득하고 LIG넥스원 PGM1연구소.L-SAM체계단.1팀 수석연구원으로 재직 중이다. 연구분야는 대공유도무기 체계설계, 체계공학이다.

**심동혁**: 경희대학교 기계공학과에서 2005년 학사, 2007년 석사학위를 취득하고 LIG넥스원 PGM1연구소.L-SAM체계단.1팀 팀장/수석연구원으로 재직 중이다. 연구분야는 대공유도무기 체계종합이다.