

다대다 교전 효과도에 있어서 각 요소 성능의 영향력 연구 - 장사정포 요격체계 시뮬레이션

육중관 · 황수진 · 김태구[†]

Impact of MOPs on Effectiveness for M-to-M Engagement with the Counter Long Range Artillery Intercept System

Jung Kwan Yook · Su Jin Hwang · Tae Gu Kim[†]

ABSTRACT

To respond to the threat of Long range artillery of North Korea, it is necessary to establish the Korean counter long range artillery intercept system(CLRAIS). The purpose of this study is to study the operational concept of the CLRAIS against the threat of long range artillery of North Korea, and to develop the operational effectiveness process of the CLRAIS. First, we set up the operating concept of the CLRAIS and established the concept of an effectiveness in a many-to-many engagement situation and a process to derive it. Based on this, a tool was developed to analyze the actual effectiveness. In order to find out the factors influencing the effectiveness in many-to-many engagement situations, simulation experiments were performed by combining various variables such as detection assets, engagement control, and launchpad performance. As a result, it was found that in addition to the missile performance, the performance of the detection assets and the engagement control center had a significant impact on the intercept rate and the defense success rate. These findings can be used to understand important indicators in terms of effectiveness in many-to-many engagement situations in the future development of weapon system, and to determine the development direction and target value of each element necessary for the level of defense success rate to be achieved.

Key words : The Counter Long Range Artillery Intercept System, Effectiveness for M-to-M Engagement, C-RAM

요 약

북한 장사정포 위협에 대응하기 위해서는 한국형 장사정포요격체계 구축이 필요하다. 본 연구는 북한 장사정포의 위협에 대응하기 위한 요격체계의 운영개념 정립과 운용 효과도 프로세스를 개발하는 것을 목적으로 하였다. 먼저 장사정포요격체계의 운영개념을 설정하고, 다대다 교전 상황에서 효과도의 개념과 이를 도출하기 위한 프로세스를 수립하였으며, 이를 바탕으로 실제 효과도를 분석하기 위한 도구를 개발하였다. 그리고 다대다 교전 상황에서 효과도에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위하여 탐지자산, 교전통제, 발사대 성능 등 다양한 변수들을 조합하여 시뮬레이션 실험을 수행하고 분석하였다. 그 결과 유도탄 성능 외에도 탐지자산, 교전통제소 성능이 요격률과 방어성공률에 얼마나 영향을 미치는지를 알 수 있었다. 이러한 연구 결과는 향후 무기체계 개발에 있어서 다대다 교전 상황에서의 효과도 측면에서 중요한 성능 지표를 이해하고 달성하고자 하는 수준의 방어성공률을 위해 필요한 각 요소의 개발 방향과 목표값 설정을 판단하는 데에 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 장사정포요격체계, 다대다 교전 효과도, 핵심시설 방호체계(C-RAM)

* 본 논문은 국방과학연구소가 주관하여 한밭대와 공동 연구를 수행한 연구과제임.

Received: 29 July 2020, Revised: 2 September 2020,

Accepted: 2 September 2020

[†] Corresponding Author: Tae Gu Kim

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

Hanbat National University, Department of Industrial & Management Engineering

1. 서론

북한은 1990년도 이래 수도권권을 포함하여 사정거리내에 있는 우리 국민과 국가중요시설 및 군사시설에 위협이 되는 장사정포를 집중 개발하고 배치하여 왔다. 2019

년 들어서는 신형 대구경 조종 방사포, 초대형 방사포 등 다양한 방사포 형태의 단거리 미사일 발사시험을 지속해 오고 있어 새로운 위협으로 대두되고 있다(이춘주&하유진 (2019)).

우리 군은 북한의 동시다발적인 장사정포 공격에 대응하기 위해 소위 ‘한국형 아이언 돔’으로 불리는 장사정포요격체계를 구축하기 위해 연구개발 중이다. 이러한 장사정포요격체계 구축을 위해서는 한국 전장환경에 최적화된 무기체계 운용개념의 정립과 효과도 분석에 대한 연구가 반드시 필요하다.

본 연구의 목적은 장사정포요격체계 운용 효과도 프로세스 수립 및 분석도구를 개발하는 것이다. 장사정포요격체계는 적 장사정포의 공격에 따른 방호목표지역의 피해를 최소화하는 것을 운용 목표로 하며, 운용 효과도는 요격무기체계가 북한 장사정포에서 발사된 방사포탄 중 방호목표지역에 탄착이 예상되는 적탄을 일정 고도 이상에서 요격하는 비율로 정의할 수 있다.

본 연구는 다음의 세 단계를 통해 수행되었다.

첫째, 운용개념 정립과 효과도 프로세스에 대한 이론 연구이다. 유사 무기체계 및 관련 선행 연구들을 종합하여 운용개념 및 효과도 생산절차를 수립하기 위한 이론적 근거를 마련하였다. 이를 바탕으로 효과도 개념 및 산출 프로세스를 제안하였다. 효과도 생산 절차는 요격체계의 임무수행체계와 미국 JMEM(Joint Munitions Effectiveness Manual)의 무기효과도 산출절차를 참고하였다.

둘째, 효과도 분석을 위한 도구를 개발하였다. 도구는 제안된 효과도 프로세스를 구현하고 이를 바탕으로 한 운용개념 수립에 활용할 수 있도록 하는 목적으로 개발하였다. 효과도 프로세스에 포함된 다양한 입력값을 모두 변수로 설정하여 다양한 상황에서의 효과도 변화를 분석할 수 있다.

셋째, 효과도 프로세스와 도구를 이용한 시뮬레이션 실험을 통해 활용 방안을 제시하였다. 전장상황과 유사한 시나리오를 바탕으로 효과도의 개념이 어떻게 적용되며 실제 시뮬레이션 도구를 활용하여 어떤 분석이 가능한지 제시함으로써 연구의 활용도를 높이고자 하였다.

2. 선행연구

2.1 해외 유사무기체계 운용 및 개발사례

날아오는 포탄을 공중에서 요격하는 무기체계(C-RAM : Counter Rocket, Artillery, and Mortar)로 개발중이거나

배치 운용중인 해외 사례를 살펴보면 아래 Table 1과 같다.

Table 1. Overseas examples of C-RAM system

체계명	개발국	형태(탄)	사거리	운용특성
Iron Dome	이스라엘	유도탄 (160mm)	4~10km	근접신관 /자탄
MHTK	미 국	유도탄 (40mm)	3km	직격
LPWS	미 국	대공포 (20mm)	2km	6포열 (4,500발/분)
MANTIS	독 일	대공포 (35mm)	4km	AHEAD탄 (1,000발/분)

이중에서 이스라엘 Rafael社에서 개발하여 실전 배치 운용중인 Iron Dome을 대표적으로 살펴보았다. Iron Dome은 단거리 로켓탄, 포병 포탄 및 박격포탄을 공중에서 요격하기 위한 방어시스템(C-RAM)이다.

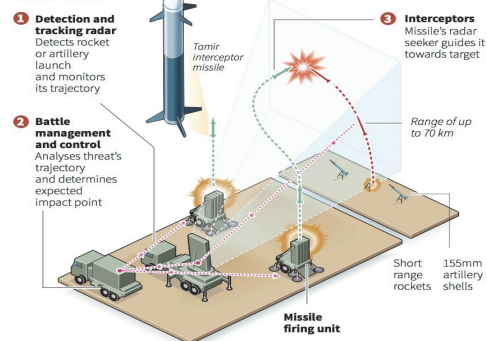
Iron Dome 시스템은 레이더, 사격통제센터, 미사일 발사대로 구성되어 있다. 레이더는 탐지, 항공기, 탄도미사일, 순항미사일, UAV, 대포, 박격포, 로켓포 등을 모두 탐지 및 추적, 소프트웨어가 이동 궤적을 계산하며 미사일은 분당 200발까지 동시탐지가 가능하다. 사격통제센터는 여러 개의 포탄이 날아올 경우 우선순위 설정이 가능하고, 사람이나 시설물이 있는 곳으로 판단되면 요격 지시를 내린다. 미사일 발사대는 6대 배치 가능하고 1대 당 20개의 타미르 요격미사일이 탑재되어 있고 사거리는 최대 70km, 요격 가능 고도는 10km이며, 최초 탐지에서 미사일 격추까지 걸리는 시간은 15~25초로 알려져 있다 (Jane’s Defence Weekly(2012)).

Iron Dome의 운용개념은 아래 Fig 1과 같다.

Israel’s Iron Dome

The Jewish state’s anti-missile defense system is playing an increasingly important role in their escalating battle with Gaza-based militants

HOW IT WORKS



Source: Rafael, Israeli Defence Forces, media reports
RNGS, 15/11/2012

Fig. 1. Operation concept diagram of the Iron Dome

한국형 핵심시설 방호체계(C-RAM)를 유도탄형으로 구축할 경우, 이스라엘 Iron Dome 시스템의 구성 및 운용개념은 중요한 참고자료가 될 것이다.

2.2 효과도 분석 논리 및 절차 연구

우리 군은 북한의 장사정포를 요격하기 위한 무기체계는 보유하고 있지 않기 때문에 이와 관련한 효과도 분석에 대한 국내 연구 또한 아직까지 없다. 그리고 해외 C-RAM체계 효과도 분석에 관련된 해외 연구 사례나 자료도 확인되지 않고 있다. 따라서 장사정포요격체계 효과도 분석 논리 개발을 위해 비교적 운용개념이 유사한 탄도미사일방어(BMD) 관련 연구사례로부터 분석 논리, 주요 변수 등을 중점적으로 파악하였다(정호락(1998), 황홍석&정덕길(1997), 정영숙&이진익(2014), 김영희 등 3명(1994), 권혁훈 등 4명(2013)). 효과도 분석 논리 및 절차 연구는 기존 선행 연구를 토대로 Fig. 2와 같이 기초이론, 발사체 단위, 요격체계 단위의 3단계로 구분하여 도식화할 수 있었으며 이는 장사정포요격체계의 효과도 분석 논리 및 절차 연구하는데 기초로 삼았다.

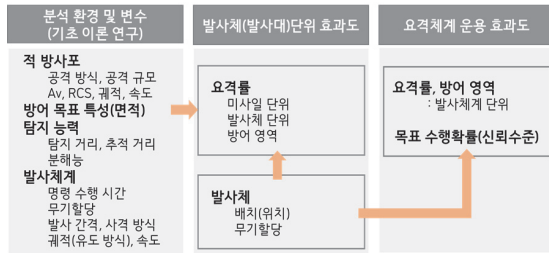


Fig. 2. Procedure diagram of effectiveness analysis logic research

그리고, 합동탄약효과교범(JMEM : Joint Munitions Effectiveness Manual)을 이용한 무기체계 효과도 분석은 군에서 많이 적용하고 있어, 본 연구를 위해 검토를 하였다.

JMEM은 무기나 표적의 특성자료, 효과지수, 살상면적, 전장에서 요구되는 수준의 표적 파괴에 필요한 무기를 추천하기 위한 관련 자료와 그 방법론을 포함하는 자료체계이다. JMEM의 효과도 산출 방법론은 요망 효과수준, 무기체계 및 대상 표적 등에 따라 세분화 되어있다(문형곤&유승근(2004)).

JMEM의 무기효과도 산출절차를 분석하면 다음 Fig. 3과 같다. 무기효과도 산출은 무기체계 특성, 투하 정밀도, 표적 취약성과 같은 제반요소들을 고려하여 작전 교전상황과 표적-무기 상호분석에 따라 이루어진다. 즉, 개

발 무기의 효과는 무기체계의 기본제원 뿐만 아니라 모든 전장에서 발생할 수 있는 여건이 종합적으로 반영되어 산출된다(문형곤&유승근(2004)).

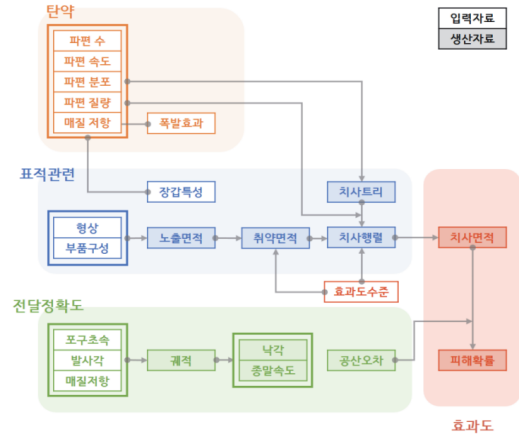


Fig. 3. Data production flow of JMEM methodology

Fig. 3은 JMEM 방법론을 해석하여 효과도를 산출하는 과정에서 생산 및 전달되는 정보들을 요약한 것이다. 크게 전달정확도와 탄약, 표적에 관련된 입력 자료들이 존재하며 이를 바탕으로 각 부분별 및 단계별 생산 자료가 산출된다.

Fig. 3을 통해 알 수 있는 사실은 표적 및 탄약의 입력력 자료들이 상대적으로 긴밀한 관계를 맺고 있으나 전달정확도와는 자료의 교환 흐름이 적다는 것이다. 다시 말해서, 전달정확도 부분의 자료 생산은 전체 과정에 있어서 별개의 흐름으로 진행될 수 있으며, 취약면적 및 최종 피해확률의 도출 과정에서만 입력 자료의 한 종류로서 작용하고 있다.

최종적으로 산출되는 효과도 자료는 치사면적과 피해확률로서, 일반적으로 널리 인식되는 효과도 지수의 대표적인 값은 선택된 무기체계 및 탄약을 이용해 대상 표적에 대하여 요망 피해효과를 달성할 확률인 파괴확률 혹은 살상확률(P_{dk})이다.

장사정포 요격체계 운용 효과도 분석 프로세스 정립을 위해서 JMEM 방법론에 따라 효과자료를 산출하는 절차를 중요한 참고자료로 활용하였다.

3. 운용개념 정립 및 효과도 분석 프로세스

3.1 장사정포 요격체계 구성 및 운용개념 정립

해외 유사 무기체계 사례 연구를 통해 한국 전장환경

에 적합한 장사정포요격체계 구성 및 운용개념을 설정하면 다음과 같다.

장사정포요격체계의 임무는 수도권 주요 방호 목표 일대에 배치되어 적 장사정포 공격을 탐지, 추적하여 공중에서 장사정포탄을 요격하여 주요 국가중요시설을 방어하는 것이다.

장사정포 요격체계(CLRAIS : Counter Long Range Artillery Intercept System)는 아래 Fig. 4와 같이 탐지/추적 레이더, 교전통제소, 발사대, 유도탄 등으로 구성한다.



Fig. 4. Diagram of the CLRAIS

표적 탐지/추적 레이더는 장사정포에 의해 발사된 적 탄이 아군 방호목표 도달 이전에 공중에서 요격하기 위해 표적을 탐지하여 추적하는 체계이다. 북한의 장사정포로부터 발사된 탄을 원거리에서 탐지 및 추적할 수 있어야 하며, 방사포의 동시 다발의 발사능력을 고려시 대량의 표적을 동시에 탐지하고 추적할 수 있어야 한다.

교전통제소는 적 장사정포 사격 시 레이더로부터 탐지 및 추적한 적 장사정포탄에 대해 요격체계 발사대와 요격탄별로 표적을 선별하여 할당하고 교전을 통제하기 위한 체계이다. 장사정포의 동시 대량공격에 대응하기 위해서는 비행 중인 대량의 장사정포탄에 대해 요격탄 별로 각각의 표적을 지정하는 다대다 자동 최적 교전통제가 이루어져야 한다.

발사대는 요격탄을 고정할 후 적 장사정포탄을 요격하기 위하여 유도탄을 발사하는 구조물이다. 발사대는 적 장사정포의 연속발사능력을 고려하여 요격탄 발사대의 연속 발사탄수와 발사간격 및 속도 등을 설정해야 한다.

유도탄은 북한 장사정포에서 발사된 초음속의 소형 고속 로켓탄을 요격하기 위해서는 초정밀도의 유도비행 후 장사정포탄을 파괴해야 한다.

3.2 효과도 생산절차

3.2.1 요격체계 운용효과도 개념 수립

본 연구를 위해 제시된 요격체계의 교전절차는 Fig. 5와 같다. 표적이 탐지되면 교전준비명령이 할당되고 수 초 이내에 탄이 준비되어 표적을 추적, 위협분석, 표적할당을 자동으로 하게 된다. 발사대의 준비가 완료되면 교전 명령을 내리고 수 초 이내에 요격탄이 발사되는 절차이다.

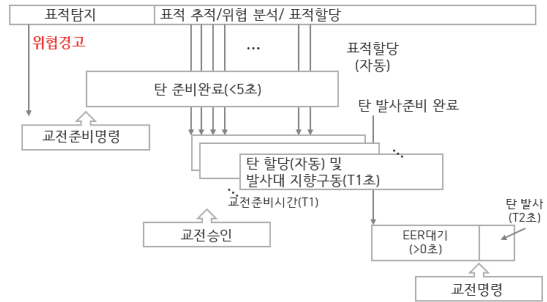


Fig. 5. Engagement procedure of the CLRAIS

요격체계 교전절차와 선행연구를 바탕으로 효과도의 개념을 수립하였다. 효과도를 요격체계 수준의 요격을 및 그 확률분포로 상정하고, 입력변수 및 MOP(Measure Of Performance)에 따른 효과도 생산 논리 및 프로세스를 개발한다. 입력 변수는 교전 환경 및 시나리오를 반영한 입력값(Input)과 방호목표의 특징을 반영한다. 수립된 효과도의 개념은 아래 Fig. 6과 같다.



Fig. 6. Concept establishment of effectiveness

Fig. 6에서 MOE(Measure Of Effectiveness)란 도출되어야 할 결과 값으로 방호목표를 향한 적의 일제사 공격에 대한 요격체계의 최종 요격률(%)을 의미한다. MOE를 위한 추가적인 정보로서 방어성공률(%) 개념 연구가

필요하다. 방어성공률이란 요구되는 방어수준을 만족할 확률이다. 가령, 적 공격에 대한 요구 방어수준을 요격을 85%로 설정하였다면, 이는 요격체계가 없을 경우 방호 영역 내 낙탄될 적탄 중에서 85% 이상을 요격하여 피해를 충분히 감소시킨 경우에만 방어가 성공한 것으로 판단한다. 시뮬레이션 반복 수행을 통해 요구 방어수준을 달성할 확률을 구할 수 있다. 시뮬레이션 분석을 통해 MOE의 확률 분포 제시 및 방어성공률 지표 분석을 한다. MOP는 MOE를 도출하기 위한 성능 정보이다. 본 연구에서는 크게 3가지로 구분하였다.

첫 번째는 요격탄의 특성이다. 요격탄의 특성에는 요격 성공률, 요격 고도, 요격 거리, 속도, 탐색 영역 등이다.

두 번째는 레이더의 특성이다. 레이더의 특성에는 동시 추적 표적 수, 최대 탐지 거리, 최대 추적 거리, 방위 분해능, 고각 분해능, 거리 분해능 등이다.

세 번째는 발사체계 특성이다. 발사체계 특성에는 통제센터의 할당알고리즘, 발사대의 탑재 탄 수, 표적 당 공격 탄 수, 발사대 수, 교전준비시간, 발사 간격, 발사대 간 발사간격, Salvo 간격, 발사대간 이격거리, 방어영역 등이다.

Fig. 7은 요격체계 임무 수행 절차이다. 요격체계 임무 수행 절차는 Fig. 5의 요격체계 교전절차와 Fig. 6과 같이 수립된 효과도 개념을 바탕으로 작성하였다. 적 장사정도 공격이 시작되면 탐지자산의 탐지여부에 따라 적 공격 자료가 획득 되고 이 정보는 통제센터로 전달이 된다. 통제센터는 전달받은 정보로 요격 규모를 설정하고 발사대에 요격탄을 할당하게 된다. 발사대에서의 교전 준비가

3.2.2 요격체계 운용효과도 생산절차

3.2.2.1 자료 생산 흐름

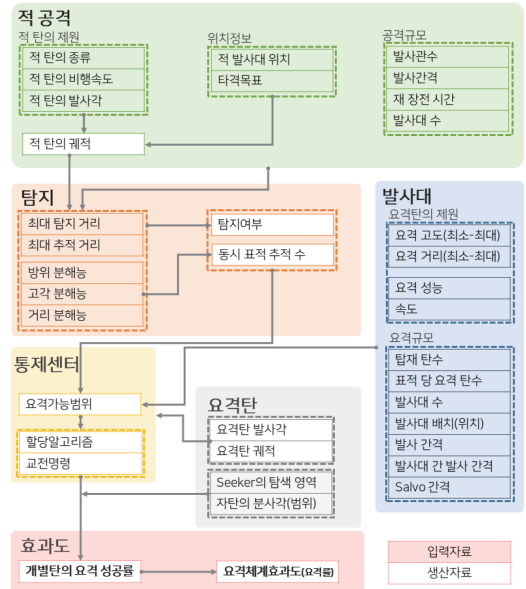


Fig. 8. Production flow chart of operational effectiveness data of intercept system

완료되면 통제센터에서 교전 명령을 내리게 되고 발사대에서는 요격탄을 발사한다. 발사된 요격탄은 적탄에 접근하는 동안 위치정보를 통제센터에 업링크(Uplink)하게 된다. 통제센터는 탐지자산에서의 실시간 위치를 전달받고 적탄과 요격탄이 일정 거리 이내로 만나게 되면 요격탄에 자탄을 분사하라는 명령을 내리고 요격탄에서는 자탄을 분사하게 된다. 이후 통제센터에서는 요격 여부를 판단, 요격을 평가가 이루어지고 교전이 종료된다.

JMEM의 무기효과도 산출절차와 선행연구, 요구되는 요격체계의 임무 수행 절차를 바탕으로 요격체계 운용 효과도 자료 생산 흐름도를 작성한 것은 Fig. 8과 같다. 작성된 요격체계 운용 효과도 자료 생산 흐름도의 특징은 다음과 같다.

첫 번째로 실제 임무 수행 절차를 반영해 모듈로 구성하였다. Fig. 7의 요격체계 임무수행 절차에 맞춰 각 모듈별로 입력되는 자료 및 생산되는 자료를 구성하였다. 이를 바탕으로 JMEM의 산출 자료 및 정보의 흐름에 대응하는 요격체계 운용효과도의 자료 생산 흐름을 Fig. 8과 같이 제안하였다. 각 모듈별로 실제 임무 수행 절차에서 필요한 입력 자료와 입력 자료를 바탕으로 생산되어야 할 생산 자료로 구분하였다. 입력 자료와 생산 자료가 명

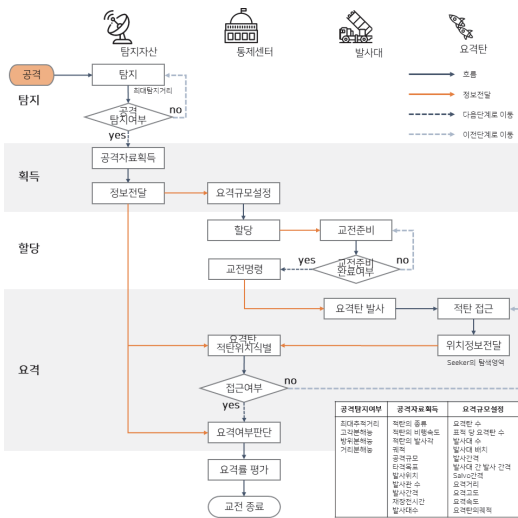


Fig. 7. Mission Performance Procedure of intercept system

확하게 구분이 되고 각 모듈에서 생산된 자료는 다음 모듈의 입력 자료가 될 수 있도록 모듈화해서 정리하였다.

두 번째로는 각 그룹을 모듈화하여 활용성 증대가 가능하다. Fig. 8에서의 모듈은 적 공격, 탐지, 통제센터, 발사대, 요격탄, 효과도로 구성되어 있다. 각 단계에 대해 필요에 따라 저해상도부터 고해상도까지 표현이 가능하다. 제안된 효과도를 사용함에 있어 필요에 따라 교전급부터 공학급까지 다양한 수준의 알고리즘을 적용이 가능하다.

세 번째로는 요격체계 운용 개념 도출에 적용이 가능하다. 일반적으로는 적탄에 대한 요격성공률을 방어무기체계의 효과도로 사용하고 있다. 그러나 미국 BMD (Ballistic Missile Defense) 작전 기준에 따르면 요구되는 수준의 방어, 즉 요격을 달성하는 확률을 효과도로 정의하고 있다. 다시 말해 일정 비율 이상의 적탄을 요격하는 것을 방어의 목표라고 할 때 이 목표를 달성할 가능성이 어느 정도인가를 평가하는 것이다. 본 연구에서는 반복 시행을 통해 요격성공률 뿐 아니라 방어 성공확률도 함께 제시하고 있다.

3.2.2.2 궤적 자료 생산

적 공격에 대한 입력 자료는 적탄의 종류, 적탄의 비행 속도, 적탄의 발사각 등의 적탄의 제원과 적 발사대 위치, 타격목표 등의 위치 정보, 발사관 수, 발사간격, 재장전 시간, 발사대 수 등의 적 공격 규모에 관한 자료들이 있다. 적탄의 제원과 위치 정보를 통해 적탄의 궤적 계산이 가능하다. 이는 효과도를 산출하는데 있어 중요한 요소이다.

궤적을 생산하는 가장 보편적인 방식은 물리 방정식을 이용하는 것이다. 일반적으로 포구의 초속과 발사 각도가 주어지는 경우, 탄의 궤적은 간단한 식을 통해 구할 수 있다.

본 연구에서는 이렇게 구한 표준 궤적에 전달정확도를 적용하여 개별 적탄의 궤적을 생성하였다.

$$x = v_{0x}t \quad v_h = v_{0h} \quad (1)$$

우선 전달정확도(CEP 혹은 REP와 DEP)를 이용하여 적탄의 탄착점을 생성한다.

$$ip.x = aim.x + e_x \quad e_x \sim N(0, \sigma_x^2) \quad \sigma_x = \frac{DEP}{Z^{-1}(0.75)}$$

$$ip.y = aim.y + e_y \quad e_y \sim N(0, \sigma_y^2) \quad \sigma_y = \frac{REP}{Z^{-1}(0.75)} \quad (2)$$

위 식(2)에서 $ip.x$ 와 $ip.y$ 는 각각 적탄의 편이방향(deflection) 및 진행방향(range)의 탄착점 좌표이며, $aim.x$ 와 $aim.y$ 는 조준점의 좌표이다. 한 편 REP, DEP는 각각 진행방향과 편이방향의 전달정확도 값이다.

탄착점이 계산되었다면 보유하고 있는 적탄의 기준 궤적과 우리가 구해야 하는 적탄의 궤적 크기를 비교하여 비례식으로 적탄의 궤적을 생성한다.

$$t_e = \sqrt{r}t_{ref}$$

$$r = \frac{h.dis_e}{h.dis_{ref}} \quad (x, y, z) = r(x, y, z)_{ref} \quad (3)$$

$$(v_x, v_y, v_z) = \sqrt{r}(v_x, v_y, v_z)_{ref}$$

$h.dis_e$ 는 식 (2)에서 구한 탄착점을 통해 얻은 수평 비행거리이며, $h.dis_{ref}$ 는 적탄 기준 궤적정보의 수평 비행거리이다. 이 둘 사이의 비율을 r 로 구하였을 때, 우측에 나타나는 3가지 식을 통해 우리가 원하는 적탄의 시간표(time stamp)와 각 시점의 좌표 및 속력을 계산할 수 있다.

식(3)에서 볼 수 있듯이 시간과 각 축 별 속력은 거리 비율값의 제곱근에 비례하고, 좌표 즉 거리는 거리 비율 값과 같은 크기로 확대 혹은 축소되어 계산된다.

Fig. 9는 위의 식 (2), (3)을 통해 날아가는 적탄의 t 시점의 (x, y, z) 좌표를 생성해 궤적을 표현한 것이다.

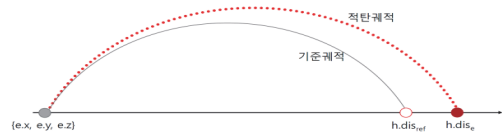


Fig. 9. Trajectory creation of enemy shells

3.2.2.3 레이더 탐지 자료 생산

3.2.2.3.1 탐지 가능 영역 설정

Fig. 10에서와 같이 레이더의 위치 R 를 (x_R, y_R, z_R) 라 하고, 레이더의 탐지영역을 Ω_R 이라고 할 때, i 번째의 방사포탄 E_i 의 비행좌표 (x_i, y_i, z_i) 가 Ω_R 에 속하면 레이더가 탐지가 가능한 것이다. 즉, 적탄과 레이더의 상대좌표를 통해 계산한 고각(ϕ_i), 거리(d_i), 방위각(θ_i)이 레이더의 탐지 가능 범위 안에 있을 때 적탄의 탐지가 가능하다.

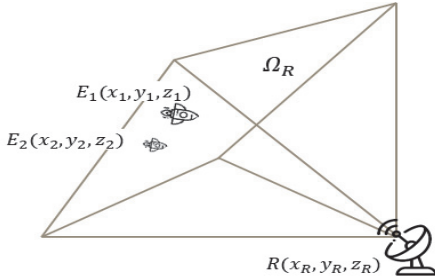


Fig. 10. Radar detection area setting

식 (4), (5), (6)은 각각 레이더의 위치 R 을 기준으로 고각, 거리, 방위각을 구하는 식이다.

계산된 i 번째의 방사포탄 E_i 의 고각, 거리, 방위각은 식 (7), (8), (9)와 같이 레이더에서 탐지 가능한 고각, 거리, 방위각 범위를 만족할 때 레이더가 i 번째의 방사포탄 E_i 를 탐지했다고 할 수 있다.

$$\phi_i = \tan^{-1}\left(\frac{|z_i - z_R|}{\sqrt{(x_i - x_R)^2 + (y_i - y_R)^2}}\right) \quad (4)$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_R)^2 + (y_i - y_R)^2 + (z_i - z_R)^2} \quad (5)$$

$$\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{x_i - x_R}{\sqrt{(x_i - x_R)^2 + (y_i - y_R)^2}}\right) \quad (6)$$

$$\phi_{RDmin} \leq \phi_i \leq \phi_{RDmax} \quad (7)$$

$$d_{RDmin} \leq d_i \leq d_{RDmax} \quad (8)$$

$$\theta_{RDmin} \leq \theta_i \leq \theta_{RDmax} \quad (9)$$

식 (4), (5), (6)을 이용해서 각 탄과 레이더 사이의 고각, 거리, 방위각을 계산한 후 식 (7), (8), (9)를 이용하여 가상의 레이더 성능을 입력해 레이더의 탐지 가능 영역을 평면에 대해 산출하면 Fig. 11과 같이 나타낼 수 있다.

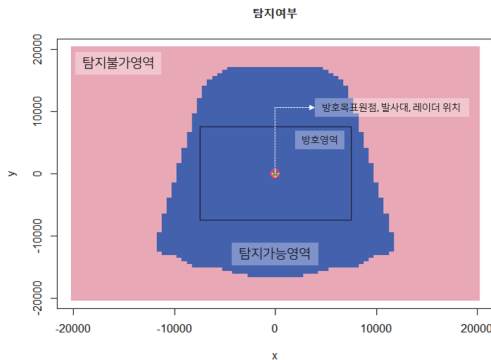


Fig. 11. Calculated radar detection area

3.2.2.3.2 분해 가능 영역 설정

레이더 상에 나타나는 목표를 분별할 수 있는 능력을 분해능이라고 한다. Fig. 12에서 같이 특정 시점에서 근접한 2개의 탄의 거리, 방위, 고도의 차이를 계산해 레이더의 요구 분해능 이상이면 레이더가 서로 다른 2개의 탄을 구분할 수 있다고 판단한다.

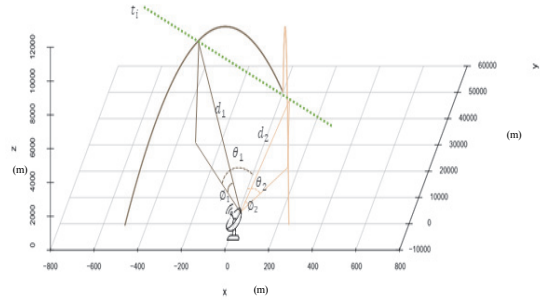


Fig. 12. Radar resolution

식 (4), (5), (6)을 이용하여 계산된 개별탄의 고각, 거리, 방위각을 이용해 식 (10), (11), (12)를 이용해 분해 가능 여부를 판단할 수 있다. ϕ_R, d_R, θ_R 는 각각 두 적탄이 서로 구별되기 위해 필요한 두 적탄의 고각, 레이더에 대한 거리, 방위각의 최소한의 차이이다. 세 가지 조건 중 하나라도 만족하는 경우 두 적탄은 서로 구별되며, 그렇지 않은 경우 두 적탄 중 하나만 식별 된다.

$$|\phi_1 - \phi_2| > \phi_R \quad (10)$$

$$|d_1 - d_2| > d_R \quad (11)$$

$$|\theta_1 - \theta_2| > \theta_R \quad (12)$$

3.2.2.3.3 추적 가능 판별

탐지 및 분해가 이루어진 적탄의 궤적정보는 대응하여 요격하기 위해 교전통제소로 전달된다. 그러나 요격 미사일이 발사된 후에도 자체 탐지 능력을 발휘하게 되는 근접 지점 도달까지는 계속해서 탐지자산의 업링크(Uplink) 유도가 필요하다. 따라서 탐지자산은 분해가 이루어진 적탄에 대해 지속적인 추적을 실시한다.

이때 문제가 되는 요소는 레이더의 동시추적 능력이다. 레이더가 동시에 추적하여 정보를 갱신할 수 있는 객체의 수에 한계가 있기 때문에, 특정 시점에 새롭게 분해된 적탄이 있다 하더라도 동시추적 용량이 남아있지 않다면 해당 적탄은 추적 대상에 포함할 수 없다. 이후, 업링크가 끝난 적탄에 대한 추적을 종료하여 용량에 여유

가 생기면 해당 시점에서 추적 대상에 추가할 수 있다.

3.2.2.4 교전통제소 할당

다수의 적탄을 다수의 발사대와 요격미사일을 통해 방어하고자 하는 요격체계의 특성상, 어느 적탄을 어느 발사대가 담당하여 어느 시점에 요격미사일을 발사할 것인지를 결정하는 할당 프로세스는 매우 중요하다.

탐지 자산으로부터 탐지 및 분해가 이루어지고 지속적으로 추적되고 있는 적탄은 통제소로 정보가 전달되어 할당 프로세스를 거치게 된다. 이때, 통제소는 다음의 두 가지 단계를 통해 적탄을 요격 발사대에 할당한다.

첫 단계는 대응 가능 적탄을 분류하고 묶음 처리하는 것이다. Fig. 13은 적탄이 발사된 후 요격되기까지의 과정을 시간에 따라 표현한 것이다. 그림에서 가로축은 시간의 흐름이다.

그림의 왼쪽 부분에서 적탄이 발사된 후 일정 시간이 지난 후에 탐지 및 분해가 이루어지는 것을 볼 수 있다. 한편, 앞서 언급한 대로 탐지 및 분해가 되었다 하더라도 추적 용량이 부족하면 일정 시점 이후에야 추적 대상으로 등록된다.

위 조건을 만족한 상태에서, 통제소의 최대 할당거리(HQ.range)에 도달하게 되면 해당 적탄은 할당가능으로 분류되어 해당 적탄을 할당하는 작업이 시작된다. 이 때 최대 할당거리를 설정한 이유는 새로운 적탄의 정보가 수집될 때 마다 할당을 수행하게 되면 적탄 1개 당 1번의 할당 작업이 반복되어 비효율적이기 때문이다. 따라서 일정한 수의 적탄을 모아서 묶음으로 처리할 수 있도록 하였다. 또한 이 때 일정한 수의 적탄이 모이기를 계속 기다릴 수 없으므로, 할당 가능한 적탄이 발생한 후 일정 시간이 흐르게 되면 자동으로 할당이 이루어지도록 하였다.

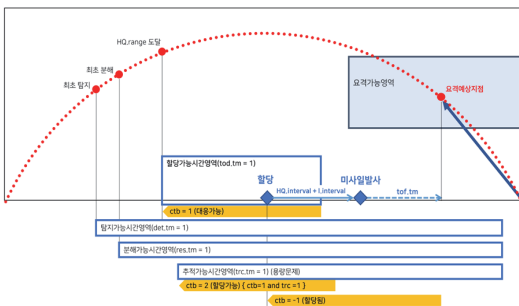


Fig. 13. Allocation process over time

이러한 할당 첫 단계의 처리에 있어서 중요한 또 다른 개념은 바로 대응가능 시간의 판별이다. 그림 우측의 파

라색 사각형은 요격 미사일이 적탄을 요격할 수 있는 영역을 시간에 따라 도식화 한 것이다. 적탄의 궤적이 해당 입체영역에 일정 시간 동안 존재하므로, 적탄을 요격하기 위해서는 요격 사일의 비행시간을 고려하여 발사 시점을 역산하여야 한다. 또한 요격 미사일이 발사되기 위해서는 미사일 발사 간의 지연시간 및 할당에 따른 지연시간이 발생하므로 이를 모두 고려한다면 특정 요격예상 지점에 대해 할당이 이루어져야 하는 최후의 가능 시점이 도출된다.

적탄이 요격가능 영역 내의 각 지점에 위치할 때마다 계산된 최후 할당 가능 시점을 종합하면, 특정 시점에서 적탄에 대한 대응 가능 여부를 계산할 수 있다. 바꾸어 말하면, 일정 시점 이후에는 적탄에 대한 정보가 충분하다 하더라도 할당 후 요격하기 위한 시간이 부족하므로 대응할 수 없게 되는 것이다. 이 경우에는 할당 프로세스에서 해당 적탄을 제외하고 다른 적탄에 대한 대응을 서두르는 것이 바람직하다.

할당 프로세스 두 번째 단계는 할당 대상이 된 적탄들을 어느 발사대에서 담당할지를 결정하는 것이다. 다수의 적탄을 효율적으로 요격하기 위해서는 효율적인 할당이 필요하다.

효과적인 대응을 위해 고려될 수 있는 요소는 각 발사대와 적탄의 거리, 발사대와 적탄의 상대적 거리에 따른 명중 및 파괴 확률, 발사대의 현재 예정된 임무 목록 등이 있다.

그러나 위 요인들을 모두 고려하는 할당 절차는 복잡도가 매우 크게 증가하는 최적화 문제에 해당하기 때문에, 본 연구에서는 그 중 최우선 요인으로 판단되는 거리우선의 할당 알고리즘을 구현하였다.

Fig. 14에 표현된 것처럼 할당 대상이 된 적탄들의 궤적 정보를 이용하여 예상 탄착지점을 구한다. 이제 예상 탄착지점과 각 요격 발사대의 거리를 바탕으로, 최소값에 해당하는 적탄-발사대의 조합부터 할당이 이루어지도록

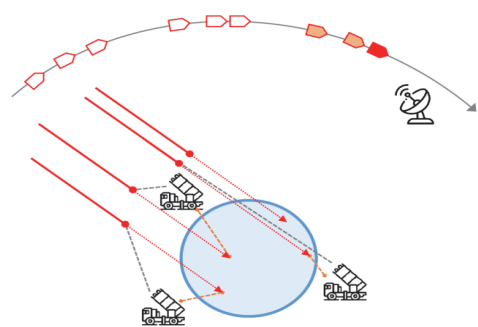


Fig. 14. Allocation Method

하여 모든 적탄이 할당될 때까지 반복한다. 단, 이때 특정 발사대에 임무가 과중되지 않도록 적탄을 하나 배정받은 발사대는 남아있는 적탄의 할당 연산에서 우선순위를 가장 마지막으로 처리한다.

3.2.2.5 요격미사일 궤적 생성

각 발사대에 대응해야 할 적탄이 할당되면, 발사대는 기존 할당된 임무를 모두 수행한 후 가용 상태가 되는 시간대와 해당 적탄이 요격 가능 영역 내에 존재하는 시간대를 고려하여 미사일 발사 시점을 결정한다.

다음으로, 특정 시점과 지점에서 적탄을 요격하기 위한 요격 미사일의 발사 시점이 결정되면, 이를 달성하기 위한 요격 미사일의 궤적이 도출된다. 요격 미사일의 궤적 역시 유도탄의 물리적 특성을 이용한 공식을 통해 계산될 수 있으나, 본 연구에서는 개발 중인 체계인 점을 고려하여 다수의 기준 궤적을 가중평균하여 원하는 궤적을 생성할 수 있도록 하였다. 생성된 미사일의 궤적은 각 시간대의 위치 및 속도를 포함하도록 도출되며, 이를 바탕으로 업링크가 종료되는 근접 시점 및 위치, 명중률과 파괴확률을 계산할 수 있다.

3.2.2.6 요격 판별

미사일이 적탄에 접근하는 종말단계에서 적 탄의 요격 여부는 다음 공식을 기초로 계산된다.

$$P_k = P_{k/hit} \times P_{hit} \tag{13}$$

이때 P_{hit} 은 미사일이 적탄에 명중할 확률이며, $P_{k/hit}$ 명중시 적탄을 파괴할 조건부 확률이다. 이 경우 명중은 미사일이 목표로 한 적탄에 충분히 가까이 접근하여 자탄을 분사할 수 있게 된 경우를 의미한다.

명중확률은 궤적이 근접한 정도를 통해서도 계산할 수 있으나, 본 연구에서는 근접이 가능한 궤적을 생성한 후 해당 궤적을 달성할 확률을 계산하는 방식을 선택하였다. 이 방식은 체계 개발 과정에서 기준 궤적에 따른 성능 지표를 별도로 입력하여 활용할 수 있다는 장점을 갖는다.

최종 명중확률은 기준 궤적의 가중평균으로 구한 명중확률에 방해효과를 더해 계산한다. 방해효과는 다대다 교전이라는 상황에서 고려되어야 할 요인으로서, 미사일이 적탄에 근접한 경우에 발생한다. 업링크가 종료되는 시점에서 미사일은 자체 탐색기를 이용하여 적탄에 접근해야 한다. 이때, 미사일의 진행방향, 즉 최종 요격 예상위치를 향한 상태에서 정면에 적탄 외에 다른 물체가 많이 있으면

탐색이 어려워진다.

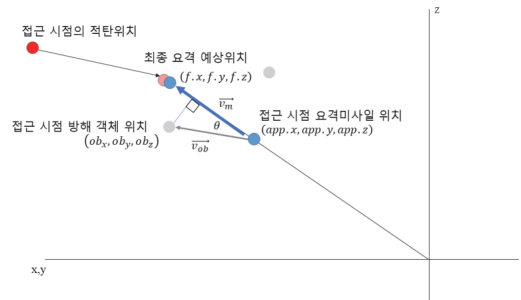


Fig. 15. Interference effectiveness

Fig. 15는 이러한 방해효과를 도식화한 그림이다. 본 연구에서는 거리와 입체각을 기준으로 미사일의 진행방향 쪽 원뿔 형태의 입체영역 내에 존재하는 방해 물체의 수가 증가함에 따라 명중확률이 낮아지도록 하였다.

$$P_{hit} = P_{hit} - a(n_{ob} - b) \tag{14}$$

위 식 (14)에서 n_{ob} 는 적탄을 제외한 방해 객체의 수이며, a 는 방해에 따른 명중률 저감효과 계수, b 는 방해 효과가 발생하는 한계 객체 수이다.

4. 시뮬레이션 실험

4.1 실험 환경

분석 도구는 본 연구를 통해 제안된 효과도 프로세스의 활용을 위하여 개념의 기초적인 구현은 공학 프로그램인 R을 이용하여 직접 개발하였다. 이를 기술개발팀과의 검토 및 검증의 과정을 거친 후, 사용자 용이성을 위해 GUI 형태의 툴로 C++ 기반으로 개발하였다. 실행한 환경은 Windows10 운영체제에 i5 이상의 intel CPU 기반 PC 이다.

4.2 실험을 위한 가상 시나리오

본 사례에서 다루는 분석 대상 시나리오는 다음과 같다. 방호목표로부터 xx km 거리에 위치한 북한 240mm 방사포 6문이 일제사격으로 방호목표 중심을 조준점으로 하여 22회 연속공격을 한다. 각 일제사격 간 간격은 xx 초이다. 적탄의 전달정확도는 원형공산오차(CEP) 기준 xxx m로서 해당 값을 REP와 DEP로 바꾸어 입력하였다.

아측 방호목표는 반경 xxx m의 원형 영역으로 설정하

였으며, 실제 상황에서의 대응 방식을 고려하여 방호영역 보다 다소 넓은 반경 xxx m의 대응영역을 함께 설정하였다. 탐지 결과 대응영역 내 낙탄될 것으로 판단되는 적탄에 대해서는 요격을 시도하게 된다. 대응 사격은 적탄 1발당 2발의 미사일을 사용하며, 시간의 제약으로 인해 한 발사대에서 Shoot-Shoot-Look 방식으로 연달아 두 미사일을 발사한다. 발사대는 방호 영역 가장자리에 정육각형 형태로 6문이 배치되었으며 각 발사대는 xx 대의 미사일을 장전하고 있어 소진 시 xx 초의 재장전 시간이 요구된다.

적 공격에 대한 요구 방어수준은 요격을 85%로 설정하였다. 이는 요격체계가 없을 경우 방호 영역 내 낙탄될 적탄 중에서 85% 이상을 요격하여 피해를 충분히 감소시킨 경우에만 방어가 성공한 것으로 판단한다. 시뮬레이션 반복 수행을 통해 요구 방어수준을 달성할 확률을 구한다.

4.3 실험 수행 방안 및 입력 파라미터

본 실험은 보통의 대공 방어와는 다른 다대다 교전 상황에서 어떤 요소가 방호 효과도에 영향력을 미치는지 알아보기 위한 목적으로 수행되었다. 따라서 체계 개발 시작 단계에서 기준으로 삼은 최소 성능을 시작으로 다양한 부분의 능력을 변화시키면서 요격률과 방어 성공률의 변화를 살펴보았다.

실험을 위해 변화시키는 변수로는 탐지 자산정보, 요격체계 정보, 적공격 정보로 구분하여 분류하였으며, 세부 파라미터는 아래 Table. 2, 3, 4와 같다. 국내 개발 또는 운용 중인 유사무기체계의 성능을 기준 입력값으로 설정하였으며, 입력값의 수치 정보는 보안 관계상 본 논문에는 표시하지 않았다.

Table 2. Detection asset parameter

입력항목	값	단위
위 치	(0,0,0)	m
탐지능력(최소 고각)	00	°
탐지능력(최대 고각)	00	°
탐지능력(최소 거리)	0	m
탐지능력(최대 거리)	000,000	m
탐지능력(최소 방위각)	-00	°
탐지능력(최대 방위각)	00	°
분해능력(최소 고각)	0.0	°
분해능력(최소 거리)	000	m
분해능력(최소 방위각)	0.0	°
탐지 간격	0.0	sec
동시 추적능력	00	unit

Table 3. Intercept system parameter

입력항목	값	단위
중심위치	(0,0,0)	m
요격가능 고도(최소)	0,000	m
요격가능 고도(최대)	0,000	m
요격가능 거리(최소)	0,000	m
요격가능 거리(최대)	0,000	m
묶음처리 범위	0	sec
통제센터 지연시간	0	sec
요격미사일 발사지연시간	0.0	sec
통제센터 처리 최대거리	00,000	m
적 공격 당 요격 발수	0	missile
방해효과 판별 거리	000	m
방해효과 상수	0	unit
방해효과 판별 입체각	0.000	sr
방호영역_방호 반경	000	m
방호영역_대응영역 반경	000	m
발사대 위치	(0,0,0)	m
발사대 탑재 미사일 수	00	missile
발사대 재장전시간	00	sec

Table 4. Enemy firing attack parameter

입력항목	값	단위
탄 종	000	nominal
공격원점	(-0,0,0)	m
조준점	(0,0,0)	m
전달정확도(사거리방향)	000.000	m
전달정확도(편이방향)	000.000	m
발사시점	0	sec

4.4 시뮬레이션 실험 결과

4.4.1 탐지자산

4.4.1.1 레이더 분해능

레이더 분해능의 영향력을 살펴보기 위하여 최소성능과 6단계로 분해능이 개선된 경우에 대한 실험을 각각 100회씩 수행하여 비교하였다. 분해능의 개선은 각각 고각, 방위각, 거리에 대한 기준 입력값을 일정 비율로 줄여가면서 변화시킨 것이다. 분해능의 경우, 적탄을 서로 다른 물체로 인식하기 위한 한계 수치를 감소시키는 것이 성능의 개선이기 때문이다. 이때 기준 입력값은 최소 요

구성능으로 하였다. Table 5에서 분해능 +1, +2, ... 등으로 구분한 것은 실험 설계상 상대적인 개선 정도를 +로 표기한 것으로 기준 값에서 12.5%씩 성능개선 정도를 증가하여 반복 실험하였다.

Table 5. Experimental results according to resolution changes

구 분	적탄수	방호영역내 예상낙탄수	파괴수	요격률	방어 성공률 (≥85%)
기 준	132	102.3	30.0	29.4%	0%
분해능 +1	132	102.7	32.9	32.0%	0%
분해능 +2	132	102.2	34.5	33.8%	0%
분해능 +3	132	102.4	35.6	34.7%	0%
분해능 +4	132	102.0	34.4	33.7%	0%
분해능 +5	132	102.0	34.3	33.7%	0%
분해능 +6	132	103.5	47.1	45.5%	0%

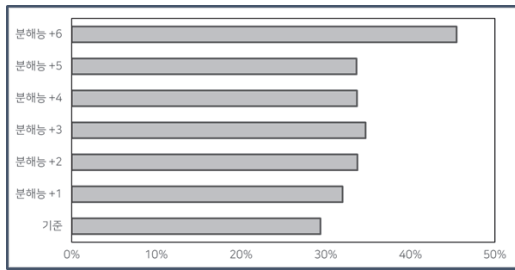


Fig. 16. Intercept rates according to resolution changes

Table 5와 Fig. 16을 살펴보면, 분해능이 개선됨에 따라 요격률이 증가하고 있다. 그러나 큰 폭의 증가는 아니라는 것을 알 수 있다. 기준이 되는 최소성능에 대한 실험 결과가 30% 수준의 낮은 요격률임에도 불구하고 분해능을 3단계 이상 개선시킨 경우에도 5% 이내의 효과도 증가에 그치고 있다.

4.4.1.2 레이더 추적능력

추적능력은 다수의 적탄을 동시에 추적할 필요가 있는 레이더의 성능을 의미하는 지표로서, 동시에 추적하여 업링크할 수 있는 적탄의 최대 수를 의미한다.

분해능 실험과 마찬가지로 최소성능을 기준으로 하여 최대 동시 추적 가능 수를 50%씩 4단계로 증가시켜가며 결과값을 살펴보았다.

추적능력의 개선 역시 효과도에 기여하고 있으나 개선

폭이 커지는 것에 비해 효과도의 지속적인 개선은 이루어지지 않고 있는 모습이다. 이러한 효과도 증가의 한계는 추적 용량의 한계로 인한 문제가 발생하지 않는다는 의미로 생각할 수 있다. 그러나, 탐지 및 분해능력이 개선될 경우 추적 가능한 적탄이 추가될 수 있어 분해능력과 추적능력을 결합하여 그 효과를 살펴볼 필요가 있다.

Table 6. Experimental results according to changes in tracking performance

구 분	적탄수	방호영역내 예상낙탄수	파괴수	요격률	방어 성공률 (≥85%)
기 준	132	102.3	30.0	29.4%	0%
추적능력 +1	132	102.8	47.5	46.3%	0%
추적능력 +2	132	103.0	47.3	46.0%	0%
추적능력 +3	132	102.7	47.2	46.0%	0%
추적능력 +4	132	102.0	47.2	46.3%	0%

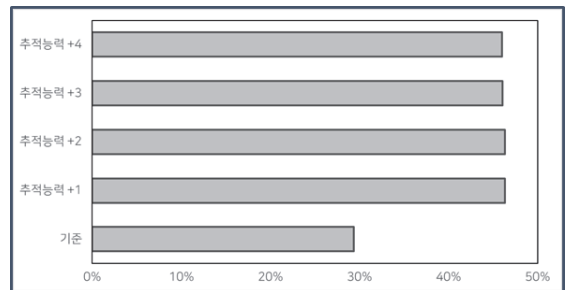


Fig. 17. Intercept rates according to changes in tracking performance

4.4.1.3 레이더 분해능과 추적능력의 조합

앞서 언급한 바와 같이 분해능과 추적능력을 종합한 탐지자산의 성능 개선 효과를 살펴보기 위하여, 두 입력값의 개선 정도를 조합해가면서 실험을 반복하였다.

Table 7. Effectiveness analysis of performance improvement of detection assets

구 분	분해능 +0	분해능 +2	분해능 +4	분해능 +6
추적능력 +0	29.4%	33.8%	33.7%	45.5%
추적능력 +1	46.3%	59.6%	71.8%	79.6%
추적능력 +2	46.3%	62.1%	78.6%	92.0%
추적능력 +3	46.0%	61.6%	78.5%	95.5%

Table 7은 두 입력값의 조합에 따른 효과도(요격률)를 보여주고 있다. 예상한 바와 같이 분해능이 개선됨에 따라 추적능력의 개선에 따라 효과도가 추가적으로 증가한다. 즉, 두 성능 지표는 각각 효과도에 기여할 뿐 아니라 교호작용을 통하여 더 큰 효과도 개선을 이루어낼 수 있다.

추적능력과 분해능이 입력값 범위에서 최대로 개선될 경우, 요격률은 95.5%까지 증가한다. 그러나 해당 입력값은 실현되기 어려운 성능 수준이기 때문에 분해능은 4 단계, 추적능력은 2단계로 개선하는 수준을 목표로 하여 다른 요인들과의 결합을 통해 최종 효과도 개선을 모색하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

이 경우 탐지자산의 성능 개선이 이루어진 상황에서의 효과도는 평균 요격률 78.6%, 방어 성공률 11%이다.

4.4.2 교전통계소

4.4.2.1 할당거리

각 요격탄에 표적으로 하는 적탄을 지정하는 것을 할당이라고 하고, 할당거리는 할당이 이루어지는 적탄에 대해 요격탄 발사대로부터의 최대 거리이다. 할당거리가 지나치게 길 경우 할당이 너무 자주 반복되며, 반대로 너무 짧을 경우 대응 시간이 부족하여 요격에 실패할 가능성

Table 8. Experimental results according to changes of allocation distance

구 분	적탄수	방호영역내 예상낙탄수	파괴수	요격률	방어 성공률 (≥85%)
기준	132	102.3	30.0	29.4%	0%
할당거리 -2	132	102.1	28.1	27.6%	0%
할당거리 -1	132	102.2	29.5	28.9%	0%
할당거리 +1	132	102.8	30.3	29.5%	0%
할당거리 +2	132	102.8	30.1	29.3%	0%

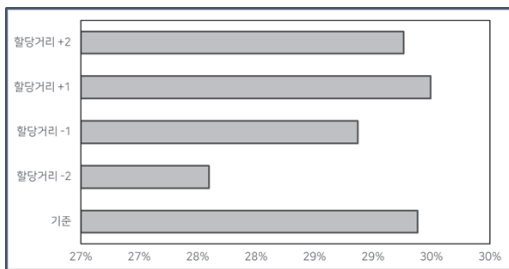


Fig. 18. Intercept rates according to changes of allocation distance

이 크다. 본 실험에서는 할당거리에 따라 요격률의 변화를 살펴보기 위해, 기본 입력값에서 할당을 시작하는 적탄의 거리를 x.x km씩 단축하는 경우는 - 로, x.x km씩 증가하는 경우 +로 구분하여 입력하였다.

Table 8과 Fig. 18에 나타난 결과를 보면, 할당거리의 변화는 효과도의 개선을 이끌어내지 못하였으며 저하된 경우만 발견되었다.

4.4.2.2 할당시간

할당시간은 통제소가 할당처리를 하여 발사대에 미사일 발사를 위한 정보를 전달하는데 지연되는 시간을 의미한다. 다대다 교전의 복잡성을 고려할 때 처리시간은 임무 수행에 있어서 중요한 요소가 된다. 본 실험에서는 할당시간을 기본 입력값에서 0초씩 감소하는 것을 성능 개선 정도로 하여 +1씩 변화시키며 입력하였다.

Table 9. Experimental results according to changes in allocation time

구 분	적탄수	방호영역내 예상낙탄수	파괴수	요격률	방어 성공률 (≥85%)
기준	132	102.3	30.0	29.4%	0%
HQ 시간 +1	132	102.2	31.6	31.0%	0%
HQ 시간 +2	132	102.7	36.6	35.6%	0%
HQ 시간 +3	132	102.4	44.8	43.6%	0%
HQ 시간 +4	132	103.0	56.7	54.8%	0%

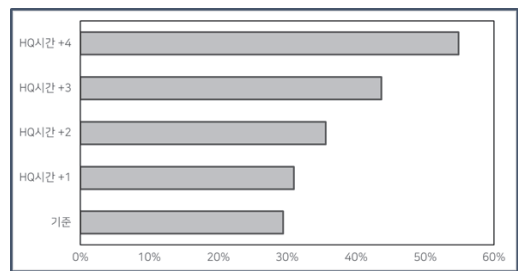


Fig. 19. Intercept rates according to changes of allocation time

할당시간의 개선은 효과도를 큰 폭으로 개선시키고 있다. 지연시간이 짧아짐에 따라 요격률은 지수형태로 개선되는 모습을 보인다.

4.4.2.3 탐지자산과 교전 통제소 할당시간의 조합 통제소의 두 가지 성능인 할당거리와 할당시간을 분석

한 결과 할당시간만이 영향력 있는 요인으로 밝혀졌다. 이 결과를 탐지자산의 결과와 결합하여 살펴보고자 하였다.

앞서 탐지자산의 개선 기준점인 분해능 4단계, 추적능력 2단계 개선 수준을 새로운 기준점으로 하여 통제소의 할당시간을 개선한 경우와 결합하여 실험하였다.

Table 10. Experimental results according to combinations of detection assets and control stations

구 분	적탄수	방호영역내 예상낙탄수	파괴수	요격률	방어 성공률 (≥85%)
기준 (탐지자산개선)	132	103.6	81.3	78.6%	11%
HQ 시간 +1	132	102.9	84.2	82.0%	26%
HQ 시간 +2	132	102.7	86.7	84.5%	49%
HQ 시간 +3	132	102.0	89.8	88.1%	80%
HQ 시간 +4	132	102.8	93.1	90.6%	87%

Table 10에 나타난 결과를 살펴보면, 할당시간의 개선은 개선된 탐지자산의 성능과 결합하여 더욱 뛰어난 효과도를 끌어내고 있다. 할당 지연시간을 3단계 단축할 경우, 요격률은 88%로 증가한다. 그뿐만 아니라, 85% 이상의 적탄을 요격하여 방어 임무에 성공할 가능성 역시 80%로 매우 높은 수준을 달성하게 된다.

4.4.3 요격탄

4.4.3.1 발사간격

발사간격은 발사대가 통제소로부터 명령을 전달받은 후 요격미사일을 발사하는데 걸리는 지연시간이다. 다대다 교전에서 빠른 시간에 다수의 적탄을 대응하기 위한 능력을 반영하는 해당 입력값을 변화시켜 효과도에 대한 영향을 살펴보았다.

Table 11. Experimental results according to changes in firing interval

설명	적탄수	방호영역내 예상낙탄수	파괴수	요격률	방어 성공률 (≥85%)
기준 (최소성능)	132	102.3	30.0	29.4%	0%
It 시간 +1	132	103.0	30.7	29.8%	0%
It 시간 +2	132	102.6	30.5	29.8%	0%
It 시간 +3	132	101.8	29.9	29.4%	0%
It 시간 +4	132	102.0	29.8	29.3%	0%

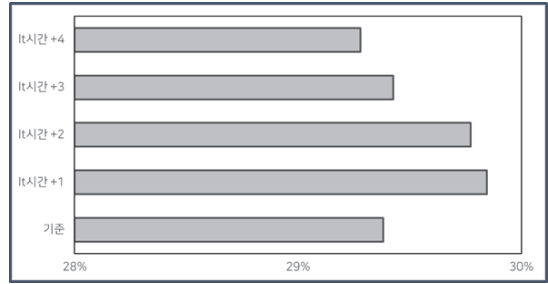


Fig. 20. Intercept rates according to changes in firing interval

최소성능의 실험 세팅을 기준으로 하여, 발사 지연시간을 4단계로 0.0초씩 단축시킨 입력값들을 사용하였다. 실험결과는 Table 11과 Fig 20에 요약되어있다. 실험에서 의도한 바와는 달리, 발사대의 미사일 발사 지연시간 개선은 효과도에 영향이 거의 없는 것으로 보인다.

4.5 시뮬레이션 실험 결과 요약

다대다 교전 상황에서 효과도에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위하여 레이더 분해능으로부터 요격탄 발사간격까지 다양한 변수들을 조합하여 실험을 수행하고 결과를 비교분석 하였다.

다수의 적탄을 제한된 시간 내에 동시에 대응하기 위해서는 유도탄 성능 외에도 탐지자산, 통제소 등 성능 역시 중요하다는 사실을 알 수 있었다.

특히, 효과도 생산절차의 초기에 해당하는 탐지자산의 성능이 요격률과 방어성공률에 큰 영향을 미치고 있다는 점을 밝힌 것은 주목할 만하다.

본 실험은 다대다 교전에서의 동시교전능력 측면에서 주요한 요인들을 파악하고 그 영향력을 알아볼 수 있었다는 점에서 의의가 있다. 이러한 분석 결과는 향후 무기체계 개발에 있어서 다대다 교전 상황의 효과도 측면에서 중요한 성능 지표를 이해하고 달성하고자 하는 수준의 방어성공률을 위해 필요한 각 요소의 개발 방향과 목표값의 설정에 필수적인 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 북한 장사정포의 위협으로부터 우리의 주요 시설을 보호하기 위한 요격체계의 운영개념과 요격체계 운용효과도 프로세스를 개발하는 것을 목적으로 하였다.

먼저 해외 유사 무기체계인 이스라엘 Iron Dome 시스템의 운영개념을 참고하고, 북한 장사정포의 공격양상 및

특성을 고려하여 이에 대응하는 요격체계의 운영개념을 정립하는데 중점을 두었다. 그리고 다대다 교전 상황에서 효과도의 개념과 이를 도출하기 위한 프로세스 및 각 단계의 계산 절차를 수립하고, 이를 바탕으로 실제 효과도를 분석하기 위한 도구를 개발하는 것을 포함하였다.

효과도 분석 프로세스 연구에서 특히 중점을 둔 것은 다대다 교전이라는 점을 고려한 동시교전능력의 반영이다. 이는 효과도 개념에 있어서 단발성 적 위협에 대한 요격 여부를 기준으로 하던 기존의 정의를 포함하면서 다수의 적탄에 대한 일정 수준 이상의 방어를 달성할 확률이라는 방어성공률을 추가적으로 포함하여 좀 더 실질적인 임무 평가가 가능하도록 하였다.

이러한 개념은 개발된 분석 도구에도 적용되어, 탐지 자산의 분해능 및 추적능력과 같은 다양한 성능 지표들의 영향력을 복합적으로 분석할 수 있도록 하였다. 분석 사례로 제시된 다양한 조합을 바탕으로 한 반복 실험의 결과가 보여주듯이, 다양한 요인들이 효과도 프로세스 내에서 결합하면서 교호작용을 일으키는 등 비선형적이고 복합적인 영향력을 보여주고 있다.

본 연구는 크게 다음과 같은 기대효과를 갖는다.

첫째, 향후 장사정포요격체계 개발시 무기체계에 대한 운용개념을 정립하는데 활용할 수 있다. 무기체계의 운용개념을 정립하기 위해서는 그 임무의 결과를 평가하기 위한 적절한 효과도 분석이 반드시 필요하다. 본 연구를 통해 도출된 효과도 개념 및 분석 도구는 이러한 요구를 충족할 수 있을 것이다.

둘째, 무기체계의 개발 방향 수립의 근거 자료로 활용할 수 있다. 효과도 분석 도구를 활용함으로써 다양한 성능 지표의 변화가 어떠한 차이를 가져오는지 미리 분석하여 예측해 볼 수 있다. 이를 이용한다면, 원하는 무기체계의 임무 수행능력을 얻기 위한 각 요소의 성능 개선 목표점을 도출하는 것은 물론, 특정 부분에 대한 제약이 존재할 경우 이를 대체하기 위한 개발 방향을 탐색하게 하는 등 다양한 측면에서 유용한 근거 자료를 얻을 수 있을 것이다.

셋째, 본 논문에서는 제시하지는 않았지만, 효과도 분석 도구를 활용해서 발사대 배치 형태 및 위치에 따라 방호률이 달라질 수 있다는 분석실험이 가능하기 때문에, 실제 방호해야 할 방호목표의 면적과 모양에 따라, 최적의 배치형태와 배치위치를 선정하는데 유용한 도구로 활용이 가능할 것이다. 이는 소요군에서 최적의 요격체계 배치수량을 판단하는데도 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 아직 개발되지 않은 무기체계에 대한 운용

개념을 설정하고 이에 대한 효과도 분석 프로세스를 정립하는 연구이다. 따라서, 향후 장사정포요격체계에 대한 연구개발과정에서 운영개념이 구체화되고, 기술발전에 따라 본 연구내용도 병행하여 보완 발전이 필요할 것이다.

본 연구에서 제안된 효과도 산출 프로세스는 주요 개념 및 요소를 모두 포함하고 있으나 현실적인 제약에 따라 각 부분의 해상도가 다소 낮은 형태이다. 그러나, 이러한 한계를 고려하여 전체 효과도 프로세스를 각각의 부분에서 필요한 정보만을 서로 주고받는 모듈형으로 구성하였고, 실제 분석 도구의 개발에서도 별개의 함수로 따로 작성하였다. 따라서 향후 더욱 고해상도의 현실모사를 통해 교전급 분석모델로 활용하기 위해서는 각 필요 부분의 모듈과 함수를 개량하여 본 연구의 결과물과 결합하는 것이 효과적일 것이다.

References

- 권혁훈, 이범석, 김윤환, 최관범, “탄도미사일 하층 방어 수행을 위한 발사대 배치 효과도 분석”, *한국군사과학기술학회지* 제 16권 제 5호, pp. 590-597, 2013.10
- 김영휘, 김성인, 오원민(1994), “패트리엇(Patriot) 미사일의 최적 배치”, *대한산업공학회 1994년 춘계공동학술대회 논문집*, pp. 29-37
- 김재권, 설현주(2016), “미사일 방어를 위한 방공포대 최적 배치 문제”, *산업경영시스템학회지*, Vol.39 No.1, pp. 98-104
- 김홍섭, 김기태, 전건욱(2011), “탄도미사일의 비행특성을 고려한 요격미사일 소요 알고리즘”, *한국군사과학기술학회지* 제 14권, 제 6호, pp. 1009-1091
- 류선미, 이승유, 백철훈(2013), “유도무기 개발 현황 및 발전 방향 - 공중전 중심으로”, *항공산업연구*, 77, pp. 66-91
- 문형곤, 유승근(2004), “미 JMEM을 활용한 한국형 탄약 효과도 개발방향”, *한국전략문제연구소*
- 박민수, 문구진, 유창경, 김도형(2017), “교전 시뮬레이션을 위한 유도무기체계 모델의 구조설계”, *한국경영과학회 학술대회논문집*, pp. 676-679
- 육중관, 정상근(2017), “북한 장사정포 대응 한국형 방호 무기체계 개발 방향”, *한국군사과학기술학회 2017 추계학술대회 논문집*, pp. 206-208
- 유승홍, 김승환(2017), “이동표적에 대한 탐색기 탑재 유도탄의 종말유도 성능 분석”, *한국항공우주학회 2017 추계학술대회 논문집*, Vol.2017 No.11, pp. 260-261

- 이경행, 오경원(2017), “해상기반 유도무기체계의 운용개념 도출에 관한 연구”, *한국우주시스템공학회지*, Vol. 11, No.5, pp. 50-55
- 이병렬, 박재찬, 임상민, 정일호(2009), “중거리 유도무기 특성을 고려한 전투기 공대공 임무효과도 산출 연구”, *한국항공우주학회 학술발표회 논문집*, pp. 935-938
- 이상현, 정인철(2006), “미사일 방어를 위한 KDX 최적 배치 모형”, *한국시뮬레이션학회 학술대회 논문집*, pp. 115-123
- 이진익(2017), “대공유도탄 증기/호밍 유도기법 설계 기술”, *한국항공우주학회 2017 추계학술대회 논문집*, Vol.2017 No.11, pp. 212-213
- 이춘주, 하유진(2019), “북한 장사정포의 위협과 주변국 개발동향”, *국방과 기술 2019년 11월호*, pp. 115-120.
- 장준권(2016), “탄도미사일 방어를 위한 자산기반 무기 할당 문제의 선형 근사 모형”, *한남대학교 박사학위 논문*
- 정영숙, 이진익(2014), “탄도탄 요격체계의 방어영역 산출 기술”, *한국항공우주학회 학술발표회 논문집*, pp. 960-963
- 최현호(2014), “세계의 탄도미사일 방어 시스템_확산되는 탄도미사일 위협에 대응하는”, *국방과 기술*, 426, pp. 24-35
- 황수진(2019), “북한 장사정포대응 요격체계 운용효과도 연구”, *한밭대학교 석사학위논문*
- 황홍석, 정덕길(1997), “유도무기 살상효과 산정 모델 및 시각 환경의 개발”, *한국국방경영분석학회지*, Vol.23, No.1, pp. 1-13
- Dean A Wilkening(1999), *A simple model for calculating ballistic missile defense effectiveness*, *Science & Global Security*, Vol. 8:2, pp.183-215
- Dean A Wilkening(2008), *Technical Effectiveness of European Ballistic Missile Defense Options*, Center for International Security and Cooperation Stanford University
- Jane’s Defence Weekly(2012)
- Michael J. Armstrong(2014), “*Modeling Short-Range Ballistic Missile Defense and Israel’s Iron Dome System*”, *OPERATIONS RESEARCH*, Vol. 62, Issue. 5
- Morris R. Driels(2013), *Weaponeeing : Conventional Weapon System Effectiveness*, American Institute of Aeronautics & Astronautics
- National Research Council, Division on Engineering and Physical Sciences, Committee on an Assessment of Concepts and Systems for U.S. Boost-Phase Missile Defense in Comparison to Other Alternatives (2012), *Making Sense of Ballistic Missile Defense: An Assessment of Concepts and Systems for U.S. Boost-Phase Missile Defense in Comparison to Other Alternatives*, National Academies Press
- Robert H. M. Macfadzean(1992), *Surface-based Air Defense System Analysis*, Artech House
- Shing-Jen Song(1996), *Probability Models for Assessing the Value of Battle Damage Assessment in the Defense Against Sequential Theater Missile Attacks*, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY CA, Master’s thesis, 1996.05
- Yiftah S. Shapir(2013), *Lessons from the Iron Dome*”, *Military and Strategic Affairs*, Vol. 5, No. 1, pp. 81-94



육 중 관 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-6283-1617> / yook6446@naver.com)

1990 육군사관학교 문학사
1998 충남대학교 국가안보학석사
2019 한남대학교 정치언론국제학 박사수료
2014~ 2016 육군 제2경비단장
2016~ 현재 국방과학연구소 소요기획연구실 현역연구원

관심분야 : 무기체계 소요기획, 미래전 개념연구, 시뮬레이션, 국방 M&S



황 수 진 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2653-8581> / sjhwang@katech.re.kr)

2017 한밭대학교 산업경영공학과 공학사
2019 한밭대학교 산업경영공학과 공학석사
2019~ 한국자동차연구원 신뢰성연구본부 내구기술연구센터 연구원

관심분야 : 시뮬레이션, 국방 M&S, 데이터 분석



김 태 구 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-0246-3546> / taegu.kim@hanbat.ac.kr)

2002 서울대학교 산업공학과 공학사
2013 서울대학교 산업공학과 공학박사
2009~ 2010 유진투자증권 파생상품팀
2012~ 2013 아이엠투자증권 투자공학팀
2013~ 2015 심네트 국내개발탄약효과구축사업 연구책임자
2015~ 2019 한밭대학교 산업경영공학과 조교수
2019~ 현재 한밭대학교 산업경영공학과 부교수

관심분야 : 수요예측, 응용통계, 국방 M&S, 경제성분석, 비즈니스 어널리틱스