

Combat effectiveness and efficiency evaluation of firearm weapon systems in different projectile guidance simulations

Jung, Yunyoung* · Kim, Jonghwan**

ABSTRACT

We analyze the combat effectiveness and efficiency of the firearm weapon systems with stochastic simulations approach. Such combat effectiveness and efficiency are related with the precision of weapon systems, but the precision varies greatly depending on the projectile guidance method of the weapon system. Thus, this study conducted a stochastic simulation based on a mathematical model considering different projectile guidance methods. The simulation was designed assuming Counter-Artillery Fire, which is an important battle that must be successful in order to achieve a firepower advantage in the early stages of the war, and is suitable for judging the combat effectiveness and efficiency due to the precision of the firearm weapons system. Combat effectiveness and efficiency are judged as the result of damage probability, damage type, and desired shooting frequency, and damage probability and damage type represent combat effectiveness, and desired shooting frequency represents efficiency. The simulation environment deployed and simulated an enemy artillery unit with a size of 1,000m × 750m in the target area (6 guns), and applied the killing range of each firearm weapon system. For the description of the damage, the mathematical models Carlton damage function and the cookie cutter damage function were applied, and Monte Carlo simulation was applied to simulate the uncertainty of the battlefield. The results of the present study can be provided basic data to effectively operate and plan the firearm weapon systems.

Keywords : firearm weapons system, monte carlo simulation, probability of kill, carlton damage function, cookie-cutter damage function, counter-artillery fire, combat effectiveness and efficiency, precision of the weapon system, projectile guidance method

* (First Author) Korea Military Academy, Department of Business Administration, Assistant Professor, 4348901@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7667-0746>.

** (Corresponding Author) Korea Military Academy, Department of Mechanical & Systems Engineering, Associate Professor, jonghwan7028@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6962-4389>.

I. 서론

최근 러시아-우크라이나 전쟁(2022)¹⁾ 을 통해 지상 화력무기체계의 역할과 중요성이 다시 강조되고 있다. 우크라이나는 러시아의 공세로 인해 초반 전쟁에서 어려움을 겪었으나, 미국 등의 서방국으로부터 지원받은 초정밀 화력무기체계를 활용하여 점령된 자국의 영토를 점차 재탈환할 수 있었다.²⁾³⁾ 이런 사례는 전쟁의 승패가 군사력의 양적 우세에서 무기체계의 정밀성에 기반한 질적 우세에 따라 좌우될 수 있다는 점을 시사한다. 그래서 무기체계의 정밀성은 무기체계의 질적 우수성을 결정짓는 중요한 요건이며, 전투 효과성과 효율성을 달성하게 하는 필수조건이라고 볼 수 있다(e.g., Gouveia & Borges, 2023). 즉, 아군은 정밀하게 표적을 타격함으로써 무기체계의 치명성(파괴력, 관통력 등)을 표적에 직접적으로 전달하여 전투 효과성을 높일 수 있고, 부정확한 타격으로 인해 유발될 수 있는 손실(비용, 시간 등)을 감소시킬 수 있어 효율성(경제성)이 증가시킬 수 있다. 그래서 본 연구는 러시아-우크라이나에서 증명된 초정밀 화력무기체계의 전투 효과성과 효율성이 우리의 상황에도 동일하게 적용되는지 판단하기 위해 무기체계의 정밀성 차이의 핵심요인인 발사체 유도방식에 따른 화력무기체계의 전투 효과성 및 효율성의 차이를 확인하는데 목적을 두고 있다. 이를 통해 우리 군이 전투임무와 상황에 따라 적합한 화력무기체계를 선택할 수 있는 기준을 제공하고자 한다.

본 연구에서 무기체계 간의 전투 효과성과 효율성의 차이를 확인하기 위해 전면전 초기 대화력전의 핵심전투인 대포병 사격을 모의하여 분석을 진행하였다. 대포병 사격은 적의 공격기세를 둔화시키고 아군의 화력 우세를 달성하는데 결정적 영향을 주는 중요한 전투이다. 실제적인 전투상황을 모의하고 분석하기 위해서는 실물 자산을 표적으로 배치하여 실증적 검증이 가장 이상적인 방법이다. 하지만, 현실적으로 수백 발에 이르는 포탄, 미사일, 로켓을 사용하는 검증은 장소, 비용, 안전 등의 제한 요소가 있다. 이런 이유에서 본 연구는 최대한 현실의 불확실성이 반영되도록 몬테카를로 방법(난수발생을 통한 불확실성 묘사)을 적용하여, 실제 전투상황과 유사하도록 시뮬레이션 환경을 설계·구축한다. 특히, 본 연구는 우리 군의 현실적 상황을 고려하여 미국과 우방국 및 국군이 채택하고 운용하고 있는 무기체계 제원과 특성을 반영하여 분석하며, 무기체계의 효과성은 피해 확률과 피해유형으로 표현한다. 피해확률은 칼튼피해함수(Carlton Damage Function)와 쿠키커터 피해함수(Cookie-cutter Damage Function)를 사용해 구하며, 피해유형은 생존함수(Driels, M. R.,

1) 러시아가 2022년 2월 24일 우크라이나 수도 키이우를 미사일로 공습하고 지상군을 투입하는 등 전면 침공을 감행하면서 시작된 양국의 전쟁이다. 이로써 2021년 10월 러시아가 우크라이나 국경에 대규모 병력을 집중시키면서 고조돼 왔던 양국의 위기는 결국 전면전으로 이어지게 됐다. [네이버 지식백과] 러시아-우크라이나 전쟁 (2022)

2) 연합뉴스, “우크라 반격 70%는 ‘게임체인저’ 하이마스 덕분”,

<https://www.yna.co.kr/view/AKR20221009037200009?input=1195m>(송고일: 2022. 10. 19)

3) YTN, “우크라이나 전쟁을 바꿔놓은 3가지 무기들...재블린과 하이마스”,

https://www.ytn.co.kr/_ln/0104_202303020520378361(송고일: 2023. 3. 2)

2004)를 적용한다. 그리고 효율성은 요망하는 피해확률을 달성하기 위해 소요되는 사격발수를 기준으로 판단한다.

II. 관련 연구

2.1 선행연구 고찰

화력무기체계의 전투 효과성과 효율성 관련 국내 연구를 고찰하면, 탐지수단과 연계한 화력무기 체계의 전술적 운용(Lim & Lee, 2012), Agent 기반의 화포별 명중확률을 적용한 갱도포병 타격(Kim, S. Y., 2008), 휴리스틱 알고리즘을 적용한 대화력전 교전전략 최적화(Baik & Jo, 2016) 등이 있다. 이들 연구는 주로 전술 및 전략 차원의 최적화를 위해 부대단위 교전에 대한 모의가 수행되었고, 정밀타격임무가 제한되는 무유도 발사체를 사용한 화력무기체계(155mm 자주포)를 분석 대상으로 진행하였다. 선행연구 검토결과, 다양한 화력무기체계를 대상으로 수리적 모델을 적용하여 구체적인 실험결과(피해확률, 피해유형, 요망 사격발수 등)를 산출하고, 이를 근거로 전투 효과성 및 효율성을 분석하는 연구가 부족한 실정이다. 최근 연구동향을 살펴보면, 지상군의 주요 화력무기체계 대상으로 피해함수를 기반으로 연성표적(인원, 비장갑 표적)에 대한 최적 조준점의 산출(Kim & Ahn, 2020), 국산 정밀유도로켓시스템인 K239(천무)의 적정 탄약 소요량 산정을 위한 분산탄 중심의 연성표적에 대한 피해확률 산출의 알고리즘 제시(Oh & Joo, 2022) 등이 연구되고 있다. 그럼에도 기존 연구는 러시아-우크라이나 전쟁에서 증명된 정밀타격의 중요성을 확인할 수 있는 실험·분석 결과를 제시하지 못하였고, 단일 무기체계에 국한된 연구로 다양한 무기체계의 전투 효과성 및 효율성의 비교분석이 제한적이다.

기존 선행연구와 본 연구의 연구목적을 비교하면(부록 1), 본 연구는 무기체계의 우수성을 판단하는 중요한 지표인 전투 효과성과 효율성에 초점을 두고 다양한 무기체계에 관한 실제 상황을 가정한 시뮬레이션 방법을 적용하였다는데 연구의 학술적 가치가 높다고 볼 수 있다. 특히, 전투 효과성과 효율성은 전투임무 수행 시에 요망하는 수준에 달성 수준뿐만 아니라 목표달성을 위한 자원 투입 수준도 중요한 고려요소로 해당 요소를 통합적으로 분석하였다는 점에서 실무적 활용가치가 크다고 볼 수 있다.

2.2 분석대상 화력무기체계

대포병 사격의 대상 표적은 포병 화력무기체계로 대상 표적 타격이 가능한 화력무기체계를 분석 대상으로 선정하였다. 선정기준은 1) 표적까지 사거리 가능하고, 파편 및 폭풍에 의한 파괴력이 충

분하면서, 2) 미국을 비롯한 우방국과 국군이 운용하고 있어 제원 및 특·장점을 확보할 수 있고, 3) 국군에 추가 도입되거나 군의 요구에 따라 성능개량이 가능한지 여부이다. 분석대상에 포함된 5가지 화력무기체계(부록 2)는 가격, 사거리, 정확성, 야간타격능력, 파괴력 및 관통력 등에서 각각의 특징적인 제원 및 장·단점을 가지고 있으므로 전투임무와 전투상황에 따라 각 화력무기체계의 상대적 비교우위를 판단할 수 있다.

분석대상 화력무기체계	특 정
무유도탄(M777)	• 가장 일반적인 무유도 포탄을 사용하는 곡사포
곡사포 정밀유도신관 (M1156)	• 정밀유도신관(PGK : Precision Guidance Kit)이 장착된 포탄을 사용하는 곡사포 • 무유도 포탄보다 정밀도 향상
정밀유도포탄 (M982)	• 정밀유도포탄을 사용하는 곡사포 • 정밀유도신관을 장착한 포탄보다 정밀도 향상
정밀유도 로켓시스템 (M142 HIMARS ⁴⁾)	• GPS(Global Positioning System : 글로벌 포지셔닝 시스템)와 INS(Inertial navigation system : 관성항법장치)가 장착된 정밀 유도 로켓시스템 • 정밀유도포탄과 정밀도 비슷하나, 병커관통 및 파괴능력 우수
정밀유도 미사일시스템 (Spike NLOS ⁵⁾)	• GPS·INS, EO seeker(=CCD(Charge Coupled Device) seeker : 전자광학 탐색기) 및 IIR seeker(Imaging Infrared seeker : 적외선 영상 탐색기)가 장착된 정밀유도 미사일시스템 • 정밀성이 가장 우수하며, 관통능력 우수

2.3 분석대상 화력무기체계 제원 및 특성

분석대상으로 선정된 화력무기체계의 제원은 실험을 위한 시뮬레이션 실행시 입력변수로 적용되었고, 장·단점은 실험결과와 더불어 각 화력무기체계의 전투효과성 및 효율성 분석에 활용되었다. 분석에 사용된 주요 제원 및 특성은 정확성, 파괴력, 가격, 발사수단, 유도방식, 사거리, 발사소요시간 등이다.

Table 1에 제시된 화력무기체계의 제원 및 특성 중 가장 두드러진 차이는 정확성과 가격이다. 정확성과 가격은 유도방식의 기술적 특징에 의해 크게 영향을 받는데, 가장 가격이 높은 정밀유도 미사일시스템은 발사체 및 발사체 유도방식에 최첨단 과학기술이 집약되어 있어, 그 기술적 가치에 의한 부가가치가 가장 높다고 할 수 있다. 정밀유도 미사일시스템은 전자광학 및 GPS에 의한 최첨단 유도기술이 적용되었고, 이에 따라 원형공산오차(CEP : Circular Ellipsoid Probability)가 1m 정도로 표적타격의 정확성이 획기적으로 향상되었다. 정밀유도 미사일시스템(Spike NLOS)의 발사체

4) HIMARS(High Mobility Artillery Rocket System : 고속기동 포병 로켓시스템)

5) NLOS(Non Line Of Sight : 비가시선)

1발당 가격은 21만 달러로 가장 가격이 낮은 발사체인 무유도 곡사포탄(1발당 800 달러)에 비해 260배 가량 비싸다. 이러한 정밀유도 미사일시스템에 버금가는 정확성을 자랑하는 화력무기체계는 정밀유도 로켓시스템이다. 정밀유도 로켓시스템의 경우도 GPS와 INS(관성항법)에 의한 유도방식을 적용하여 표적타격 정확성을 향상시켰는데, 미국의 M142 HIMARS의 경우 25Km 사거리의 표적에 대하여 1~2m의 원형공산오차(CEP)를 발생시킬 정도로 정확하게 목표를 타격할 수 있다. 다만, 식별된 표적 좌표를 입력해 유도로켓을 발사하면, 발사 이후 발사체의 궤도를 수정하여 위치가 변경된 표적을 추적하여 타격하거나 표적의 파괴 여부를 즉시 확인할 수 있는 기능은 없다. 정밀유도 로켓시스템의 발사체 1발의 가격은 로켓 1발당 168,000 달러로 정밀유도 미사일시스템보다는 가격이 낮으나 높은 수준의 가격이다. 이와 유사한 화력무기체계인 국산 K239(천무)는 정확성(CEP 15m)과 가격(1발당 4만 달러) 측면에서 M142 HIMARS와 차이가 있다.

<Table 1> Specification of firearm weapon systems

Category	Non-Guided Howitzer * M777 ⁶⁾	Guided Howitzer * M1156 PGK ⁷⁾	Guided Howitzer * M982 Excalibur ⁸⁾	Guided Rocket System * M142 HIMARS ⁹⁾	Guided Missile System * Spike NLOS ¹⁰⁾
				Guided Rocket System (Chunmoo) ¹¹⁾	
Accuracy (25km, CEP ¹²⁾)	139m	30m	4m	2m	1m
				15m	
Destructive force	Explosion after penetrating more than 50cm by free fall energy			Penetration performance of 60cm concrete (Unitary Rocket)	900mm armor penetration
Price (\$)	\$ 800 (per 1 shell)	\$ 10,000 (per 1 shell)	\$ 68,000 (per 1 shell)	\$ 168,000 (per 1 rocket)	\$ 210,000 (per 1 missile)
				\$ 40,000 (per 1 rocket)	
Launcher	155mm artillery	155mm artillery	155mm artillery	Rocket	Missile
Guidance techniques	Non guided	GPS guided	GPS/INS guided	GPS/INS guided	GPS/INS guided, Electro-Optical, IIR seeker (homing)

6) 뉴시스, “우크라이나 맹위 떨치는 M777 곡사포 주문 크게 늘어”

https://www.newsis.com/view/?id=NISX20221010_0002042507(검색일, 2023.3.13.)

제인스 무기연감(총, 포탄 핸드북),

<https://articles.janes.com/articles/Janes-Ammunition-Handbook/155-mm-M549-and-M549A1-HERA-projectiles-United-States>.

III. 실험 및 분석방법

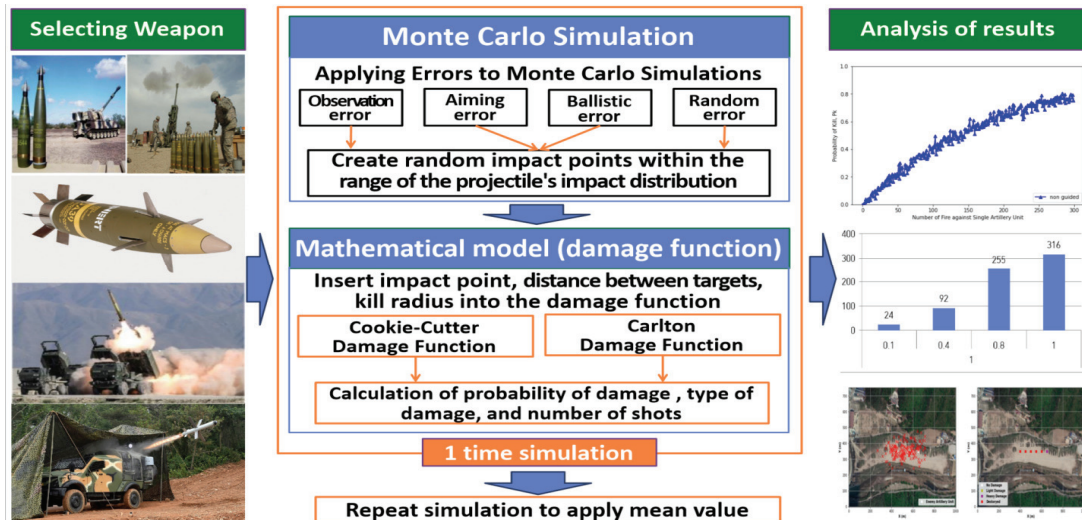
3.1 실험 및 분석 진행 과정

5가지의 화력무기체계에 대한 전투 효과성 및 효율성을 확인하기 위해, 각 화력무기체계(타격수단)별 피해확률, 피해유형, 요망 사격발수 결과를 도출해야 한다. Figure 1은 실험 및 분석 진행 과정이다.

화력무기체계 선정 후, 몬테카를로 시뮬레이션에 의해 발사체의 탄착지점이 무작위로 생성되며, 생성된 탄착지점은 해당 무기체계가 가지고 있는 고유특성(원형공산오차)이 반영된 산포 범위 내에서 생성된다. 즉, 무기체계가 가지고 있는 정밀성과 같은 고유특성이 탄착지점의 산포(흩어짐) 정도에 나타난다. 탄착지점이 생성되면, 탄착지점과 표적 간의 거리가 피해함수에 반영되어 피해확률이 산출되어 표적과 탄착지점 간의 거리가 가까울수록 피해확률은 커지게 된다. 피해확률이 산출될 때, 다수의 발사체에 의한 중첩된 살상효과가 발생하여, 피해효과는 누적피해확률로 산출된다. 이렇게 1회의 시뮬레이션이 종료되고, 시뮬레이션을 반복실행하여 평균을 구한다. 최종 피해확률과 소요 사격발수, 피해유형은 평균값을 적용하는 것이다. 이렇게 구해진 피해확률과 피해유형, 소요 사격발수는 전투효과성과 효율성을 판단하는 기준으로 전투임무와 상황에 따라 적합한 화력무기체계를 판단하는데 중요한 정보를 제공한다.

html(검색일, 2023.3.13)

- 7) Global Security, <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/ml156.htm>(검색일, 2023.3.13)
- 8) Wikipedia, 'M982 Excalibur', https://en.wikipedia.org/wiki/M982_Excalibur(검색일, 2023.2.28)
- 9) Wikipedia, 'M142 HIMARS', https://en.wikipedia.org/wiki/M142_HIMARS(검색일, 2023.2.28.)
- 10) 제작사(Israel Rafael Co) 제공정보, <https://www.rafael.co.il/solutions/spike-nlos-6/>(검색일, 2023.2.21.), EDR(European Defence Review) Magazine 제공정보, <https://www.edrmagazine.eu/rafael-unveils-the-spike-nlos-6th-generation-missile>(검색일, 2023.2.21.)
- 11) Wikipedia, 'K239 Chunmoo', https://en.wikipedia.org/wiki/K239_Chunmoo(검색일, 2023.2.22.)
Dong-Hwan Oh & Kwang Sup Joo(2022), "Methodology for Requirement Analysis of MLRS Munition", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 23, No. 11 pp. 247-255, 2022
뉴스 임팩트, <http://newsimfact.co.kr/View.aspx?No=2582934>(검색일, 2023.2.22.)
- 12) Wikipedia : In the military science of ballistics, circular error probability is a measure of a weapon system's precision. It is defined as the radius of a circle, centered on the mean, whose perimeter is expected to include the landing points of 50% of the rounds. https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_error_probable (검색일, 2023.2.17.)



<Figure 1> Concepts of experimental and analytical progress

3.2 피해확률 및 피해함수

모의실험을 통하여 화력무기체계의 정확성을 판단하기 위해 수리적인 피해확률(Probability of Damage)과 피해함수(Damage Function)를 정의한다. 발사체가 표적을 향해 발사되었을 때, 발사체의 탄착지점이 표적으로부터 얼마나 떨어져 있느냐는 표적에 피해를 주는 정도와 관련이 있다. 즉, 발사체가 표적에 가까게 탄착될수록 표적이 입는 피해 가능성이 크며, 탄착지점이 표적으로부터 가까울수록 피해확률이 높다고 판단한다. 무기체계의 정확성은 피해확률 상승과 밀접하게 관련이 있고, 피해확률은 무기체계들이 가지고 있는 고유의 불확실성에 의해 결정된다. 결국, 불확실성이 반영된 무기체계의 정확성은 표적에 피해를 입힐 수 있는 피해확률이므로 효과성으로 대변할 수 있다. 그래서 무기공학(Weaponeering¹³⁾)에서는 무기체계가 가지고 있는 고유의 불확실성(확률적 특성) 때문에 피해함수의 기댓값으로 피해확률을 정의한다.

무기효과 분석 시 고려하는 표적은 표적의 고유성질을 기초로 경성표적(Hard target : 전차, 장갑차 등과 같이 장갑 장착)과 비경성(연성)표적(Soft target : 인원 및 비장갑 장비 등과 같이 장갑 미장착)으로 구분한다(Driels, M. R, 2004). 경성표적에 대한 무기체계의 살상범위를 판단할 경우, 쿠키커터 피해함수(Cookie-cutter Damage function) 알고리즘을 적용하고, (1)과 같이 표현한다

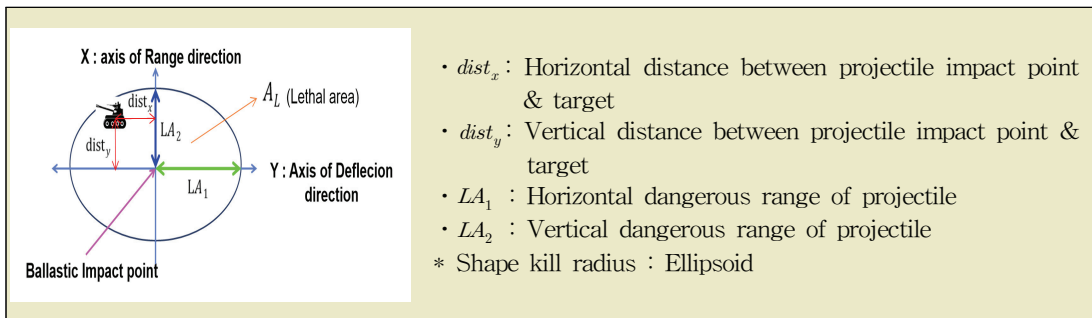
13) 무기공학(Weaponeering)은 Weapon과 Engineering의 합성어로 무기로 공격을 설계하는 분야를 지칭함. (출처) Morris R. Eriels, 2019, Weaponeering Conventional Weapon System Effectiveness second edition, pp 1. 무기를 설계하고 제작하는 'Weapons Engineering'과는 다른 의미의 용어임 (출처) Wikipedia, Weaponeering : Weaponeering is the field of designing an attack with weapons. It is a portmanteau of weapon and engineering. The term should not be confused with weapons engineering, which is the actual engineering design and development of weapon systems. (검색일 : 2023.3.8)

(Driels, M. R, 2004). 식(1)은 탄착지점과 표적 간의 거리 기준으로 특정거리 이내에는 피해효과가 존재하고 이외에는 존재하지 않음을 의미한다. 반면, 연성표적에 대한 살상범위는 칼튼피해함수 (Carlton damage function) 알고리즘을 적용하여 무기체계가 가지고 있는 고유한 살상범위와 탄착 지점으로부터 표적 간의 거리에 따라 변화하는 살상 정도를 살상확률로 표현한다(Driels, M. R, 2004)(식 (2)).

$$P_k(x, y) = 1, \text{ if } \sqrt{dist_x^2 + dist_y^2} \leq |R| \quad (1)$$

$$P_k(x, y) = \exp\left(-\left(\frac{dist_x^2}{LA_1^2} + \frac{dist_y^2}{LA_2^2}\right)\right) \quad (2)$$

위의 식 (1), (2)에서 $dist_x$ 는 발사체의 탄착지점으로부터 표적까지의 수평 이격거리로 $dist_y$ 는 포탄의 탄착지점부터 표적까지의 수직 이격거리를 의미한다. R 은 사격진지의 내부(방호벽 내측)에 발사체가 탄착했을 경우의 피해효과를 쿠키커터 피해함수로 산출하기 위해 특정한 거리로 사격진지의 방호벽으로부터 사격진지의 중심까지의 거리를 의미하며, 본 연구는 4m¹⁴⁾로 설정하였다. Figure 2는 발사체의 수직 · 수평 위험반경과 발사체와 표적 사이의 수평 · 수직 이격거리의 개념을 표현하였다. LA_1 는 포탄 살상효과의 수평 위험반경을 의미하며, LA_2 는 포탄 살상효과의 수직 위험반경을 의미한다.



<Figure 2> Vertical and horizontal dangerous range of projectile, distance between projectile impact point & target

식 (2)에 의해 산출된 살상확률은 0~1의 확률값으로 표적에 대한 살상확률 및 가상공간상에서의 살상범위가 산출된다. 본 연구의 모의 설계된 표적은 사격진지에 의해 보호되고, 인원과 장비를

14) 자주포의 크기(가로 3m 내외, 세로(포신제외) 6m 내외) 고려 반경 4m의 원형진지를 가정함.

포함한 가상의 적 포병부대로 반경 4m를 기준으로 4m 이내에 발사체가 탄착했을 경우를 가정하여 쿠키커터 피해함수를 적용한다. 반경 4m를 벗어난 외부에 발사체가 탄착된 경우는 무기체계의 살상범위가 적용된 칼튼피해함수를 적용한다. 즉, 표적이 원형의 사격진지로부터 방호를 받는 상황을 모의하기 위해 칼튼피해함수와 쿠키커터 알고리즘을 혼합하여 적용한다.

3.3 시뮬레이션 방법

본 연구는 각 화력무기체계의 고유한 특성에서 기인하는 불확실성을 실험결과(무작위성을 따르는 발사체의 탄착지점들)로 산출하기 위해 몬테카를로 방법(Monte Carlo method)을 채택하였으며, 해당 방법은 반복된 무작위(random) 난수를 추출하여 복잡한 확률적 결과값을 실험적으로 산출된 수치로 근사하는 수치해석 알고리즘이다(Binder et al., 1993; Bortz, Kalos, & Lebowitz, 1975). 또한, 화력무기체계의 고유한 특성에서 기인하는 불확실성은 산포를 존재한다는 가정하에 산포 내에서 무작위 난수를 발생할 수 있는 몬테카를로 방법을 모의실험 방법으로 활용한다.

실험결과를 토대로 표적의 피해확률과 요망 피해효과 달성에 필요한 사격발수를 정량화했으며, 이 수치는 화력무기체계의 효과성 및 효율성을 대변한다. 피해확률은 효과성을 의미하고, 요망 피해효과 달성에 필요한 사격 발수를 효율성을 의미한다. 몬테카를로 방법에 적용된 전장의 불확실성은 표적 관측시 발생하는 관측오차(σ_o), 표적에 조준위치 산출시 발생하는 조준오차(σ_a), 발사체의 비행 간 발생한 탄도오차(σ_b), 그리고 사격 간 우발적으로 발생하는 우발오차(σ_i) 등 4가지 오차를 고려했으며, 통제할 수 없는 오차에 의해 발사체의 탄착지점은 표적 중심으로 산포가 나타난다. 발사체의 살상범위와 탄착거리(표적과 발사체 탄착지점 간 거리)에 기초한 피해함수(쿠키커터, 칼튼 피해함수)를 적용하여 피해확률(Probability of Kill, P_K)을 산출한다. 피해확률(살상확률) 정도에 따라 표적의 피해유형을 4가지 구분한다(Table 2). 무피해(No damage), 경피해(Light damage : 일시적 무력화, 지근시간 내 재임무수행 가능), 중피해(Heavy damage : 핵심기능 파괴, 상당 기간 내 임무수행 불가) 그리고 완전파괴(Destroy : 영구적 회복불가)(Kim & Ahn, 2020).

<Table 2> Damage probability (Lethal probability) P_K for classification of damage types

Damage Types	No Damage	Light Damage	Heavy Damage	Destroy
Ranges	$0 \leq P_K \leq 0.1$	$0.1 < P_K \leq 0.4$	$0.4 < P_K \leq 0.8$	$0.8 < P_K \leq 1$

또한, 다수의 발사체에 의하여 중첩된 살상효과(피해효과)를 표현하기 위해, 식 (3)과 같이 생존 이론을 적용한 n발 사격시 살상확률(피해확률)을 산출하였다.

$$P_k(x, y) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{ki}) \quad (3)$$

3.4 시뮬레이션 환경설계

본 연구는 전쟁 초기¹⁵⁾ 대화력전의 핵심전력인 대포병 사격에서 적 포병이 갱도나 유·무개 사격진지에 의해 보호된 상태로 정밀 타격이 요구되는 상황을 가정해 시뮬레이션 환경을 설계한다. 이런 상황을 기초로 시뮬레이션 설계 시 총 5가지 가정을 산정하였다.

가정	상세 설정 내역
1	대포병 사격 간 표적은 6문(1개 포병중대)
2	표적은 아군의 표적수집자산에 의해 탐지·식별되어, 아군 전술데이터(표적 위치) 공유시스템에 의해 신속하게 획득 및 제공
3	표적 타격하는 아군 타격수단의 수와 표적 수와 동일하게 설정 : one to one (1:1) 타격
4	대화력전 초기, 대포병 사격 상황으로 표적은 모두 반경 4m 내 원형 사격진지에 의해 보호
5	최초 점령한 사격진지에서 이동 없이 사격 * 포병사격 시 생존성 유지를 위한 전술적 상황조치인 사격 후 사격진지이탈, 예비 사격진지로 이동 후 재사격 등은 고려하지 않음

다음으로 시뮬레이션에 반영된 환경은 1) 임의 지역에서 1,000m × 750m 공간을 설정하고, 표적까지의 거리(사거리)는 25Km, 표적 간 간격은 50m로 설계하였다. 화력무기체계의 발사체(포탄, 유도로켓, 유도미사일 등)의 살상범위는 Table 1에 제시된 재원으로 사용하였다. 또한, 사격발수는 적 부대의 피해 정도에 대한 아군 지휘관의 요구 수준을 만족하는 사격발수를 설정하여 시뮬레이션을 통해 초기값 1발부터 100발(무유도 발사체는 300발까지 실행)로 진행하였다. 각 발당 시뮬레이션은 30회씩 진행하였고, 각 30회의 결과를 평균하여 각 발당 피해확률, 피해유형, 소요 사격발수를 산출하였다.

IV. 실험결과 / 분석

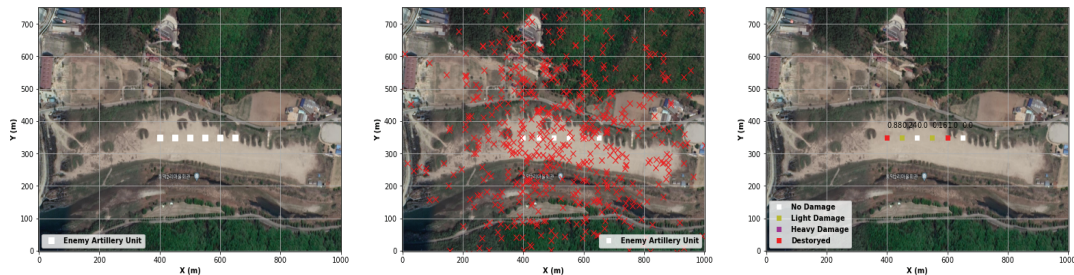
4.1 전투결과(발사체 탄착결과, 피해유형)

본 연구의 실험조건 설정을 위한 컴퓨터 사양은 윈도우 10 64비트, 8세대 i7, 1.9GHz 듀얼코어

15) 재래식 전쟁(전면전) 발발 시, 일반적으로 상대방의 주요 화력체계를 파괴하기 위해 대화력전이 우선 시행됨.

CPU, 8GB RAM이다. 프로그래밍 언어는 파이썬(Python)¹⁶⁾ Version 3.9.16이며, IDE(Integrated Development and Learning : 통합개발환경을 제공하는 프로그래밍 어플리케이션)은 Spyder를 사용했다. 다섯 종류의 화력무기체계의 제원을 반영하여 표적의 살상확률(피해확률)별 요망 사격발수를 산출하였고, 개별표적의 피해유형을 시각화하여 도출하였다(Figure 3). 18개의 지형 및 시물레이션 결과, 각 행의 1번째 그림은 최초 표적의 배치위치, 2번째는 각 화력무기체계의 제원 특성이 변수로 변형되어 몬테카를로 방법에 의해 생성된 발사체의 탄착지점을 나타낸다. 이 탄착지점은 확률적 불확실성이 반영되기 때문에 표적을 중심으로 표적에서 멀어질수록 탄착빈도가 줄어드는 분포를 보인다. 3번째 그림은 표적당 n 발의 발사체 탄착결과로 중첩된(누적된) 피해확률에 의해 판정된 최종 피해유형을 나타낸다. 피해유형은 4단계로 흰색은 무피해(No damage), 노란색은 경피해(Light damage), 보라색은 중피해(Heavy damage), 빨간색은 완전파괴(Complete destroyed)를 의미한다.

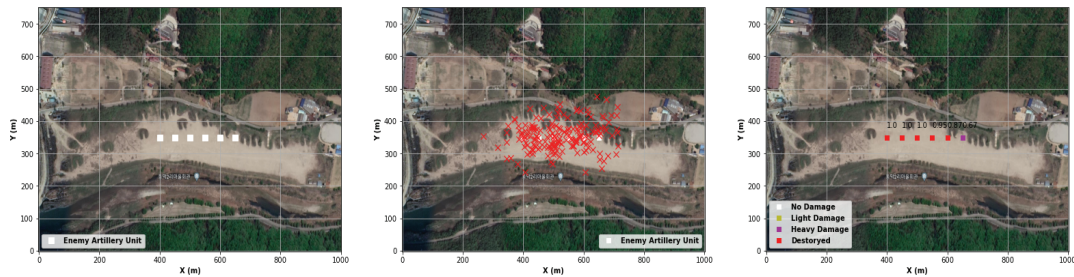
Figure 3-①의 무유도 곡사포탄의 사격결과, 문당 50발(총 300발) 사격의 효과로 중피해 이상(중피해, 완전파괴)의 피해 표적은 6개 중 2개이다. 상당수 포탄 사용에도 요망하는 수준의 피해유형에 도달하지 못하였으며, 탄착지점이 상·하·좌·우 넓게 산포되어 있다. 무유도 곡사포탄의 경우 사거리 25Km에서 발생하는 원형공산오차가 139m이므로 탄착지점의 산포가 넓게 나타날 수밖에 없으므로 정밀 표적 타격이 요구되는 전투임무에서 효율성이 매우 떨어진다.



① Results of the firing of Howitzers with non guided shell (50 shots per 1 unit)

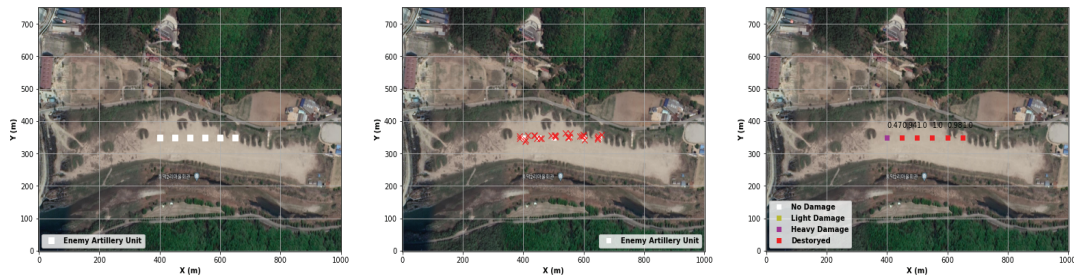
Figure 3-②는 무도유 곡사포탄보다 정밀하게 발사체(포탄) 표적까지 유도하는 M1156 정밀유도신관(PGK) 장착 포탄을 사격한 결과이다. 무유도 포탄과 비교하여 정확성이 높은 발사체로 문당 30발(총 180발) 사격으로도 모든 표적에 대해 중피해 이상이 나타났다. 포탄 탄착결과를 보면, 밀집된 형태의 산포가 나타나 정밀 표적 타격에 적합하다고 볼 수 있다.

16) Wikipedia, Python is a high-level, general-purpose programming language. Its design philosophy emphasizes code readability with the use of significant indentation. Python is dynamically typed and garbage-collected. It supports multiple programming paradigms, including structured (particularly procedural), object-oriented and functional programming. It is often described as a “batteries included” language due to its comprehensive standard library.(검색일, 2023.2.17.)



② Results of the firing of Howitzers with guided shell (PGK) (30 shots per 1 unit)

Figure 3-③의 M982 정밀유도포탄은 GPS뿐만 아니라, INS(관성항법장치)까지 적용되므로 정확성이 더욱 향상된 포탄이다. 사격결과, 문당 5발(총 30발) 사격하여 표적 6개 모두에서 중과 또는 완전파괴 피해가 나타났다. 즉, 정밀유도신관과 동일한 사격결과를 1/5 수준의 사격발수로 도달하여 신속성을 요구하는 정밀타격 전투임무에 효과적인 화력무기체계로 판단할 수 있다.

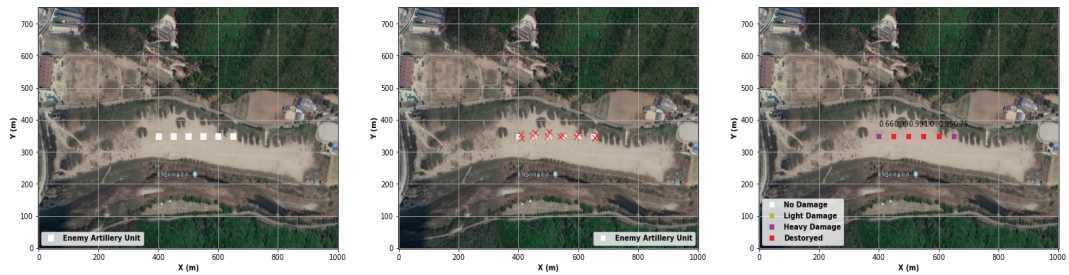


③ Results of the firing of Howitzers with guided shell (M982 Excalibur) (5 shots per 1 unit)

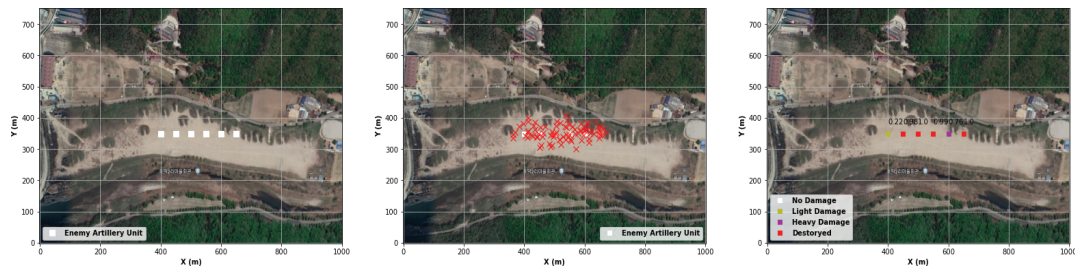
Figure 3-④의 경우, M982 정밀유도포탄과 동일하게 GPS와 INS로 정밀유도되는 로켓시스템의 사격결과로 미국산(④-③), 국산(④-④)으로 구분해 실험을 진행했다. 정밀유도로켓시스템은 정밀유도포탄과 정확성 측면에서 동일하지만, 로켓의 관통력과 파괴력 측면에서 우수하여 강력한 유개진지로 보호되는 표적 타격 시에 적절한 공격수단이다.¹⁷⁾ 실험결과, 정밀유도 로켓시스템은 문당 2발의 사격으로 6개의 표적이 모두 중과 또는 완전파괴되었다. 국산 정밀유도 로켓시스템인 K239(천무)의 사격결과(④-④), 공개된 CEP¹⁸⁾가 15m로 미국산 M142 HIMARS 보다 정확성이 다소 낮으므로 동일한 피해확률 달성하기 위해 더 많은 사격량이 필요하다.

17) 정밀유도 로켓시스템은 벙커 및 중장갑 표적파괴(단일표적파괴용 유도로켓), 경장갑(무유도 로켓) 파괴, 광범위 지역의 연성표적 파괴(확산탄 사용) 등 전투임무 및 표적성질에 따라 로켓의 종류를 다양하게 선택할 수 있다는 장점도 있다.

18) Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/K239_Chunmoo

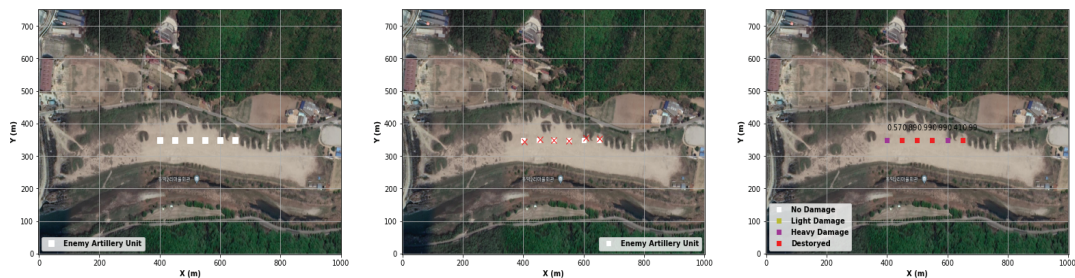


④-① Results of the firing of guided Rocket System (M142 HIMARS) (2 shots per 1 unit)



④-② Results of the firing of guided Rocket System (K239) (15 shots per 1 unit)

Figure 3-⑤의 경우, 전자광학 및 적외선 유도방식으로 유도되는 정밀유도 미사일시스템의 사격 내역을 나타낸다. 해당 화력무기체계는 오차 1m 수준으로 가장 정확성도 높아 표적당 1발 사격으로 모든 표적이 파괴되었다. 원거리 표적의 위치가 전술 데이터링크를 통해 입력되면, GPS 및 관성 항법기술이 적용되어 표적 3Km 근접까지 발사체가 비행하고, CCD(Charge Coupled Device seeker, 전자광학)이나 IIR(Imaging Infrared, 적외선 영상)을 통해 사수가 개입하여 표적확인 후에 표적에 명중할 때까지 발사체를 조종할 수 있다. 즉, 미사일이 표적에 명중될 때까지 CCD나 IIR



⑤ Results of the firing of guided Missile by Electro-Optical and Imaging Infrared (IIR) guidance (1 shots per 1 unit)

<Figure 3> Simulation results by Firearm weapon systems

Note. target location (left), impact points (center), damage type (right)

을 통해 주·야간 표적을 보면서 발사체의 궤도를 수정하면서 정확하게 목표를 유도하여 타격할 수 있다. 특히, 사수가 표적을 관찰하면서 발사체 궤도를 수정하므로 이동 중 표적뿐만 아니라 후사면과 같은 관측자의 불가시 지역에 위치한 갱도까지 타격할 수 있다.

본 연구에서 쿠키커터 피해함수를 적용할 때, 표적으로부터 반경 4m 이내의 지점에 발사체 탄착 시 표적의 완전히 파괴를 가정한 시뮬레이션을 설계하였다.¹⁹⁾ 단, 지형(토질의 종류, 경도, 경사, 굴곡 정도 등) 및 수목의 형태(수목의 굵기, 높이, 울창함 정도 등)에 따라라도 피해확률 및 피해유형이 달라질 수 있는데, 본 연구의 실험에서는 별도 변수로 고려하지 않았다. 본 연구는 아군이 적군을 공격하는 입장으로 가정했기 때문에 본 연구의 실험환경은 실제보다 아군에게 유리하게끔 설계되어 실제 전투상황과 상이한 결과가 도출될 수 있다.

4.2 전투결과(피해확률 수준에 따른 요망 사격발수)

피해확률 수준에 따라 요망되는 사격발수로 횡축은 사격발수, 종축은 사격발수의 변화에 따른 표적의 피해확률($0 \leq P_k \leq 1$)을 나타낸다(부록 3). 본 연구는 사격발수마다 30번의 시뮬레이션을 실행하고 평균값을 도출하여 피해확률을 산출하였다. 문당 사격발수가 증가함에 따라 모든 시나리오에서 피해확률이 공통적으로 증가하나 원형공산오차(CEP : Circular Ellipsoid Probability)가 작을수록 상대적으로 적은 사격발수로도 피해확률이 높다는 것을 알 수 있다. Figure 3-①에서 볼 수 있듯이, 무유도 곡사포탄의 경우, 문당 100발 사격시에도 표적의 피해확률은 40% 수준이다. 그러나 정밀유도신관을 장착한 곡사포탄을 사용하면, 무유도탄보다 적은 문당 30발 사격 시에도 피해확률은 80% 수준으로 월등하게 높아졌음을 알 수 있다. 정밀유도신관을 사용한 곡사포탄의 경우 사거리와 관계없이 30m 내외의 원형공산오차를 발생시키기 때문에, 무유도 곡사포탄과 비교하여 매우 적은 사격발수로도 월등한 피해확률을 강요할 수 있는 것이다. 정밀유도신관을 장착한 곡사포탄보다 원형공산오차가 더 작은 정밀유도포탄의 경우, 단 3발의 사격으로 피해확률 80%를 얻었으며, GPS·INS 정밀유도 로켓시스템이나 전자광학·적외선으로 유도하는 정밀유도 미사일은 1~2발의 사격으로 80% 이상의 피해확률을 달성했다. 실험결과를 토대로 화력무기시스템의 가격을 고려하지 않고, 표적타격 임무의 정확성과 신속성을 최우선 가치로 가정하면 유도방식이 정밀할수록 우수한 화력무기체계라고 판단할 수 있다.

19) 이는 매우 보수적으로 실험을 설계로 실제 전장에서는 유개화 정도(유개호의 채질, 두께), 발사체 입사각에 따라 관통력이 달라질 수 있다. 즉, 상황에 따라서, 발사체가 유개호를 관통하지 못할 수도 있는 것이다. 따라서 실제 전투상황에서는 본 연구의 실험결과보다 피해확률이 더 낮게 나올 수 있다.

* 유개호 : 사격진지나 참호의 상부를 덮개나 지붕으로 보호함. 유개(有蓋)화 된 진지를 ‘유개(화) 진지’ 또는 ‘유개호’로 표현하며, ‘벙커’도 유개(화) 진지의 한 형태).

4.3 전투임무 시 고려사항에 따른 최적 화력무기체계 판단

표적의 성질(경성·연성), 상태(이동 및 방호 여부, 밀집도 등), 전투임무의 목적 등에 따라 무기체계 선택 시에 고려할 사항은 정확성, 신속성, 비용, 파괴력 등이다. 정확성과 파괴력은 전투 효과성에 직접적인 영향을 주며, 신속성과 비용, 정확성은 효율성에 직접적인 영향을 미치게 된다. 특히, 정확성은 전투 효과성과 효율성에 모두 직접적인 영향을 주기 때문에 중요한 고려사항이다. 부록 4에 전투임무(대포병 사격) 완수를 위해 고려되어야 하는 소요비용, 시간, 정확성, 파괴력 등에 대한 결과값과 순위를 제시하였다. 소요비용은 요망 피해확률 80% 달성까지 소요된 발사체의 가격을 모두 합하여 순위를 부여했고, 정확성과 파괴력은 Table 1에 제시된 체원을 적용하여 순위를 부여했다. 신속성은 전투임무가 완료될 때까지 소요되는 시간(요망 피해확률 80% 달성 시) 아래 식 (4)와 같이 산출하였다.

$$t_n(n\text{발 사격 소요시간}) = (n-1) \times t_r(\text{발사간격}) + t_f(\text{발사체 비행시간}) + t_0(\text{사격준비시간}) + \alpha(\text{알파}) \quad (4)$$

소요시간에 대한 산출결과를 보면(부록 4), 정밀유도포탄이 정밀유도 로켓이나 정밀유도 미사일 시스템보다 사격발수가 많음에도 불구하고 총 소요시간이 적은 이유는 유도포탄의 비파시간이 유도로켓이나 유도미사일보다 빠르고, 사격준비시간이 적기 때문이다. 정밀유도 로켓시스템의 사격준비시간은 총 사격발수에 따라 크게 달라지는데, PAD 장착 및 PAD 교체시간이 곡사포나·자주포에 비해 상대적으로 많이 소요된다. 식 (4)에서 표현된 α (알파)는 1개 사격 PAD를 초과하여 발사했을 때, 발생하는 추가시간을 의미한다. 총 소요비용은 무유도 곡사포탄이 가장 저렴하고, 정밀유도신관(PGK)을 장착한 곡사포탄이 가장 가격이 높다. 무유도 곡사포탄은 가장 가격이 저렴하지만, 소요시간과 포병부대에 부여된 다양한 임무, 현재 탄약보유량과 재보급수량 및 시기, 통제보급률 등을 고려한다면, 정밀한 표적을 타격해야 하는 초기 대화력전의 대포병 사격에 적합한 화력무기체계로 적합하지 않다. 따라서, 고정된 표적을 타격하는 전투임무를 효과적이고 효율적으로 달성하기 위해서는 신속성과 가격, 정확성을 모두 고려하여, M982 정밀유도포탄, M142 정밀유도 로켓 시스템, Spike NLOS 정밀유도 미사일시스템을 선택할 만하다. 이 화력무기체계의 특·장점을 비교하면, 정확성과 신속성에서는 큰 차이가 없고, 가격에서는 정밀유도 로켓시스템의 총 소요비용이 가장 크다. 다만, K239의 경우 로켓 1발당 40,000 달러로 미국산보다 저렴하나, 정확성에서 차이를 보여 정밀유도포탄 대비 사격발수와 총 소요비용이 비교적 크다. 비용을 가장 중요하게 고려하자면, 정밀유도포탄을 선택하는 것이 최선일 수 있으나, 견고한 유개화 진지로부터 표적이 보호받고 있다면, 유개화 진지 상부를 충분히 관통하여 표적을 파괴할 수 있는 정밀유도 로켓시스템을 선택해야 한다.²⁰⁾ 이처럼 정확성 및 소요비용뿐만 아니라, 파괴력도 화력무기체계 선택의 매우 중요한

고려사항이다. 정밀타격 전투임무를 위해 선택할 수 있는 또 하나의 화력무기체계가 정밀유도 미사일시스템이다. 정밀유도 미사일시스템의 대표적 모델인 Spike NLOS 가 다른 화력무기체계와 구별되는 특징은 야간 사격시 적외선 영상을 통해 표적 추적·유도·재지정, 발사수단 분배·재지정, 발사체 비행궤도 수정이 가능하다는 것이다. 이러한 특·장점은 특정 전투임무에서 단연 비교우위를 가질 수 있다. 이를테면, 후사면 갱도진지에 위치한 표적을 타격하거나 이동하는 표적을 타격해야 하는 상황에 매우 적합한 화력무기체계이다. 또한, 광학 및 적외선 영상을 통하여 발사체를 표적까지 유도할 수 있기 때문에 표적타격과 동시에 발사체가 정확하게 명중하였는지를 확인할 수 있다. 이러한 기능으로 인하여 신속하게 표적의 피해수준을 평가하고, 재타격 여부를 결정할 수 있다.

4.3.1 전투임무시 고려사항에 따른 최적 화력무기체계 판단(예시)

Table 5는 전투임무 유형에 따라 최적 화력무기체계 판단의 의사결정 결과표로 표적성질, 상태, 요망피해수준, 전투임무 시 최우선 고려사항 등에 따라 타격할 수 있는 화력무기체계가 상이하며, 효율성과 효과성을 고려하여 판단기준의 우선순위가 달라질 것이다. 예를 들어, ‘전투상황 4’와 같이, 후사면 갱도에 보호되어 있는 자주포병이나 ‘전투상황 3’과 같이, 표적의 상태가 이동 중인 기갑부대일 경우, 발사체가 이동하는 표적을 추적하고, 표적을 타격하는 순간까지 궤도수정이 가능한 정밀유도 미사일시스템이 사용할 수 있는 유일한 화력무기체계이다. 반면에, ‘전투상황 2’와 같이, 초기 대화력전의 대포병 사격과 같이 고정되어 있으면서, 정밀한 타격이 요구되는 표적일 경우에는 정밀유도 미사일시스템이나 정밀유도 로켓시스템, 정밀유도포탄으로 타격이 가능하다. 그러나, 소요비용 및 가용탄약의 수량, 관통력 등을 종합적으로 고려해 타격수단을 결정해야 할 것이다. 또한, 표적을 보호하는 사격진지가 견고한 유개호의 경우에 정밀유도포탄보다 정밀유도 로켓시스템을 선택하는 것이 적절하지만, 유개호의 강도가 정밀유도포탄이 관통하여 피해를 입힐 수 있을 정도라면, 비용을 고려하여 정밀유도포탄을 선택하는 것이 바람직하다. 마지막으로 ‘전투상황 1’과 같은 연성표적을 타격하는 전투임무 시 모든 무기체계 사용이 가능하지만, 무기체계의 유효 살상범위를 충분히 활용할 수 있으므로 정밀 타격보다는 유효 살상반경, 비용, 신속성을 고려하여 무유도탄 사용이 적절하다.

20) 곡사포탄보다 정밀유도로켓의 관통력이 이 더 크며, 천무의 Unitary 로켓(관통력이 우수한 천무 탄약의 한 종류)의 경우, 콘크리트 60cm 를 관통할 수 있다.

<Table 3> Determination of optimal firearm weapon system with combat mission type (examples)

Types of Combat Mission	Types of Firearm Weapon System				
	Howitzers with non guided shell (M777)	Howitzers with guided shell (M1156 PGK)	Howitzers with guided shell (M982 Excalibur)	Guided Rocket System (M142 HIMARS, K239)	Guided missile by GPS · INS, EO, IIR (Spike NLOS)
Combat Mission 1	✓	✓	✓	✓	✓
Combat Mission 2			✓	✓	✓
Combat Mission 3					✓
Combat Mission 4					✓

<Combat Mission 1>

- Type of Target: Soft targets(Infantry Units)
- Target Status: Scattered/on the move (Target area : 100m × 300m)
- Desired level of damage: probability of Damage 70%
- Considerations for Mission: CEP, speed, cost

<Combat Mission 2>

- Type of Target: Hard targets(self-propelled guns)
- Target Status: Targets in roofed position(size : 8m × 8m)
- Desired level of damage: probability of Damage 80%
- Considerations for Mission: precision, destructive power (penetration)

<Combat Mission 3>

- Type of Target: Hard targets(Armored Units)
- Target Status: Moving Armored Units
- Desired level of damage: probability of Damage 80%
- Considerations for Mission: precision, destructive power(Penetration)

<Combat Mission 4>

- Type of Target: Hard targets(a long-range artillery)
- Target Status: Targets in cave site on the back slope
- Desired level of damage: probability of Damage 80%
- Considerations for Mission: precision, destructive power(Penetration)

Note. ✓ indicates available fire weapon systems.

V. 결론

본 연구는 초기 대화력전의 ‘대포병 사격’ 전투상황을 가정한 실험설계를 토대로 몬테카를로 시뮬레이션으로 전투상황을 설명하였다. 그 결과, 발사체 유도방식에 따라 화력무기체계의 전투 효과성과 효율성의 차이를 확인하였다. 전투임무 시 고려사항에 따른 최적 화력무기체계 판단에서 ‘대포병 사격’ 과 같은 전투상황뿐만 아니라, 다른 전투상황에 따라 비교우위를 가지는 화력무기체계를 선택할 수 있었다. 예를 들어, 전투임무를 달성하기 위해 신속성과 정확성 조건을 충족할 수 있는 정밀타격이 가능한 화력무기체계를 선택해야 한다. 그러나, 표적의 수가 많고, 각 표적의 위치가 광범위한 지역에 넓게 산개된 연성표적일 경우에는 초정밀 타격보다는 어느 정도의 정확성을 보장받으면서 다량의 발사체를 신속하게 발사할 수 있는 무유도 다련장 로켓이나 무유도 포탄을 사용

하는 곡사포병을 타격수단으로 선택하는 것이 합리적일 것이다.

이러한 결과는 실무적 활용 측면에서도 기여하는 바가 크다고 할 수 있다. 예를 들어, 본 연구결과를 활용하여 야전 전투부대는 적의 성격(규모, 무기체계의 능력, 방호정도, 활동상태 등)과 전투 임무에 따라 화력계획을 수립하고 운용할 때, 최적의 무기체계를 선택하는 참고 기준으로 활용할 수 있을 것이다. 또한, 현재 전력화되어 배치되어있는 화력무기체계가 부여된 전투임무를 달성하기에 양적·질적 측면에서 부족하다고 판단할 때, 화력무기체계의 증가배치 등과 같은 편성조정 소요 제거나 정밀성이나 파괴력 향상 등과 같은 화력무기체계의 성능개량을 전력발전 소요로 제기할 수도 있다. 끝으로 본 연구의 수리적 이론에 기반한 정량적 실험결과를 토대로 불확실성이 높은 전장 환경에서 전투상황과 전투임무에 따라 화력무기체계의 선정에 필요한 의사결정 도구로 활용될 수 있을 것이다. 특히, 본 연구는 사거리에 따른 오차의 분산, 표적상태(방호형태, 이동 및 고정 여부, 표적 간 밀집도 등) 등과 같은 변화하는 상황요인을 변수로 고려하여 사격 시뮬레이션을 통한 계량적 결과(피해확률, 요망 사격발수 등)를 산출하는 알고리즘을 설계하고 구축하였다는 점에서 학술·실무적 시사점이 크다고 볼 수 있다. 후속 연구자는 다양한 전장 조건(합성전장, 유무인 복합 활용 등)에서 화력무기체계의 최적 활용을 위해 수행되는 의사결정의 정확성을 높이기 위한 정밀하고 실증적인 비교분석 연구를 지속할 필요가 있다.

Acknowledgements

We would like to thank Editage (www.editage.co.kr) for English language editing.

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Author contributions

Conceptualization: KJ; Literature review: KJ; Resources and Data curation: JY; Investigation and Methodology: JY; Writing (Original Draft): JY; Project administration and Supervision: JY and KJ.

Reference

- Baik, S. W., & Jo, S. S. (2016). Optimization of Engagement Strategy for Counterfire warfare using Heuristic Algorithm. *Korean Journal of Military Art and Science*, 72(1), 249-264. <https://doi.org/10.31066/kjmas.2016.72.1.010>
- Binder, K., Heermann, D., Roelofs, L., Mallinckrodt, A. J., & McKay, S. (1993). Monte Carlo simulation in statistical physics. *Computers in Physics*, 7(2), 156-157. <https://doi.org/10.1063/1.4823159>
- Bortz, A. B., Kalos, M. H., & Lebowitz, J. L. (1975). A new algorithm for Monte Carlo simulation of Ising spin systems. *Journal of Computational Physics*, 17(1), 10-18. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(75\)90060-1](https://doi.org/10.1016/0021-9991(75)90060-1)
- Driels, M. R. (2004). *Weaponneering: conventional weapon system effectiveness* (pp. 300-302). Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics. Retrieved from <http://weaponneering.com/TOC.pdf>
- Gouveia, H., & Borges, J. (2023). The Future of Field Artillery Projectiles: New Technologies, Strengths and Challenges. In: Rocha, Á., Fajardo-Toro, C.H., Riola, J.M. (eds) *Developments and Advances in Defense and Security. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 328. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7689-6_30
- Kim, J. W., & Ahn, N. S. (2020). Monte Carlo Simulation based Optimal Aiming Point Computation Against Multiple Soft Targets on Ground. *JOURNAL OF THE KOREA SOCIETY FOR SIMULATION*, 29(1), 47-56. <https://doi.org/10.9709/JKSS.2020.29.1.047>
- Kim, S. Y. (2008). *A study on the mine artillery striking method using agent based agent based modeling & simulation*. Korean Operations Research and Management Science Society Conference, 359-363. <https://koreascience.kr/article/CFKO200811850424986.page?&lang=ko>
- Lim, J. W., & Lee, T. E. (2012). *The Study on Analysis of Counterfire Warfare by Utilizing Simulation: Emphasis on Tactical Operation*. The Korean Operations Research and Management Science Society Conference, 2257-2263. https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE01959662&googleIPSandBox=false&mark=0&ipRange=false&accessgl=Y&language=ko_KR&hasTopBanner=true
- Oh, D. H., & Joo, K. S. (2022). Methodology for Requirement Analysis of MLRS Munition. *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 23(11), 247-255. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.11.247>

원 고 접 수 일 2023년 03월 15일

원 고 수 정 일 2023년 04월 20일

게 재 확 정 일 2023년 04월 26일

부록

<부록 1> 선행연구 고찰

구 분	연구목적 및 분석내용
Lim & Lee (2012)	• 연구목적 : 사격정확성을 높이기 위한 탐지수단과의 조합 최적화 • 정밀타격 제한되는 무유도탄 사용 화력무기체계(155mm 자주포)에 한하여 분석 • 정밀타격에 대한 실험/분석 없음.
Kim (2008); Baik & Jo (2016)	• 연구목적 : 표적할당 최적화 • 정밀타격 제한되는 무유도탄 사용 화력무기체계(155mm 자주포)에 한하여 분석 • 정밀타격에 대한 실험/분석 없음.
Kim (2020)	• 연구목적 : 피해함수에 기반한 피해확률을 극대화하는 최적 조준점 산출 • 연성표적(비장갑 표적 : 인원, 비장갑 장비 등)의 피해확률 극대화 모형 연구,
Oh & Joo (2022)	• 연구목적 : 지역표적 타격을 위한 적정 탄약 소요량 산출 • 지역표적(다수의 표적이 일정 면적의 공간에 넓게 퍼져있는 표적)이면서 연성표적인 표적을 타격시 요망 피해확률 달성에 필요한 사격발수를 도출하는 알고리즘 제시 • 정밀타격에 대한 실험/분석 없음
본 연구	• 연구목적 : 발사체 유도방식(유도/무유도)에 따른 전투효과성/효율성 비교분석 • 정밀타격이 요구되는 보호된 사격진지 내 경성표적(전차·자주포 등 장갑표적)에 대한 효과성, 효율성 판단을 위해 복수의 무기체계를 대상으로 시뮬레이션 실시 • 정밀타격이 가능한 무기체계, 정밀타격이 제한되는 무기체계 모두 분석

<부록 2> 연구의 분석대상 화력무기체계



(1) 무유도탄(M777)²¹⁾



(2) 정밀유도신관(M1156)²²⁾



(3) 정밀유도포탄(M982)²³⁾



(4) 정밀유도 로켓시스템(M142 HIMARS²⁴⁾)



(5) 정밀유도 미사일시스템(Spike NLOS²⁵⁾)

21) image : free image

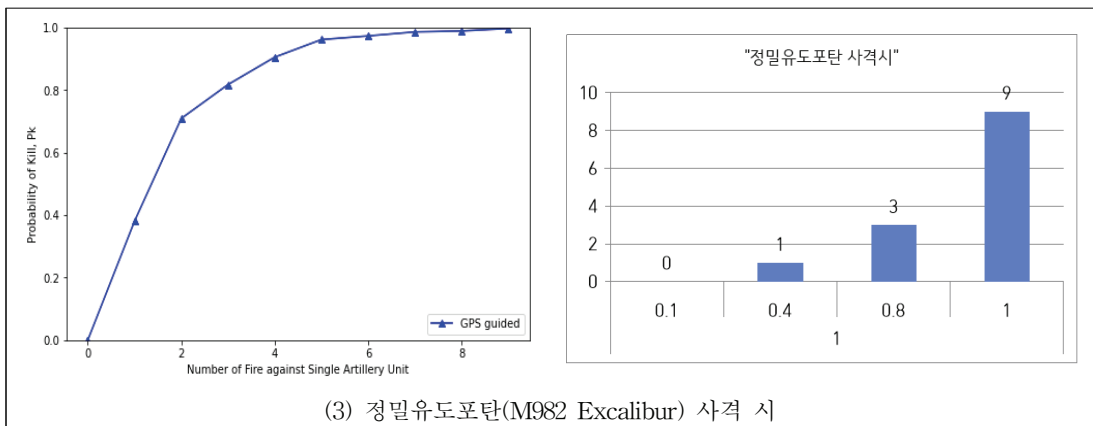
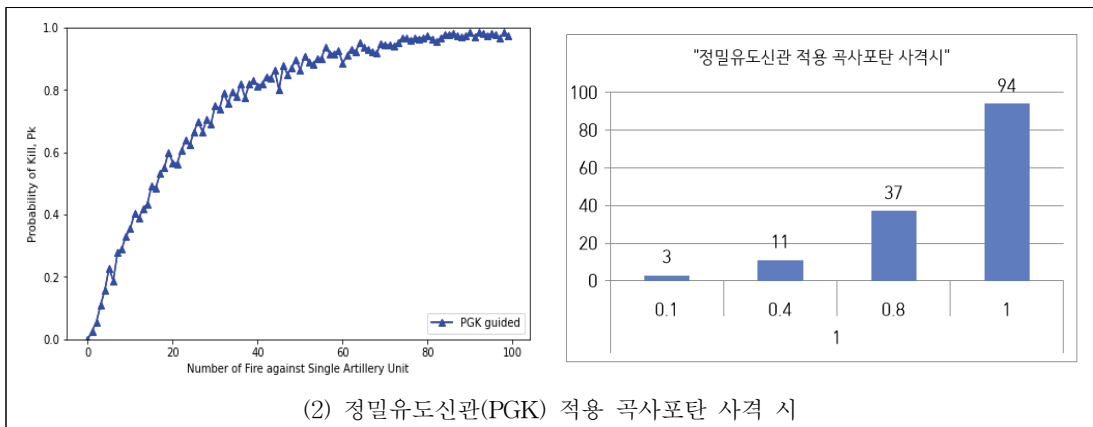
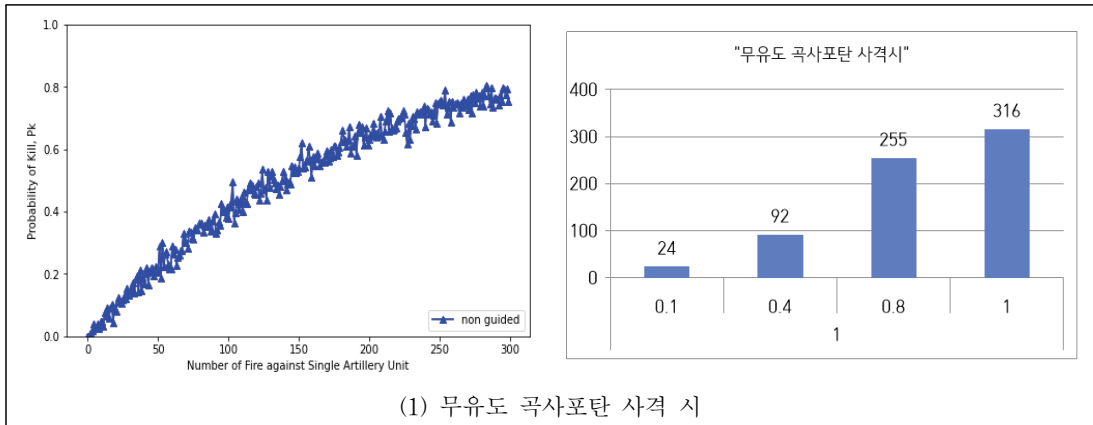
22) image : <https://defenceredefined.com.cy/rheinmetall-and-northrop-grumman-strategic-partnership-for-precision-guided-enhanced-range-artillery-ammunition/>

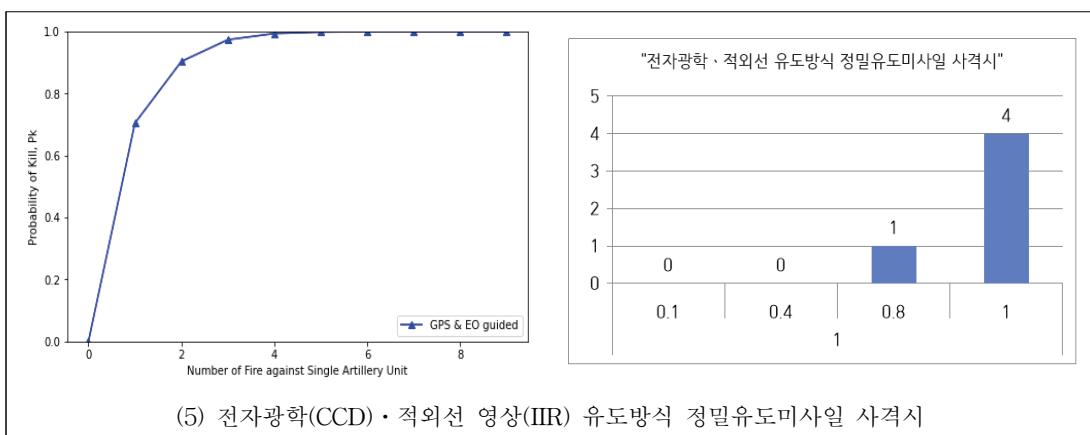
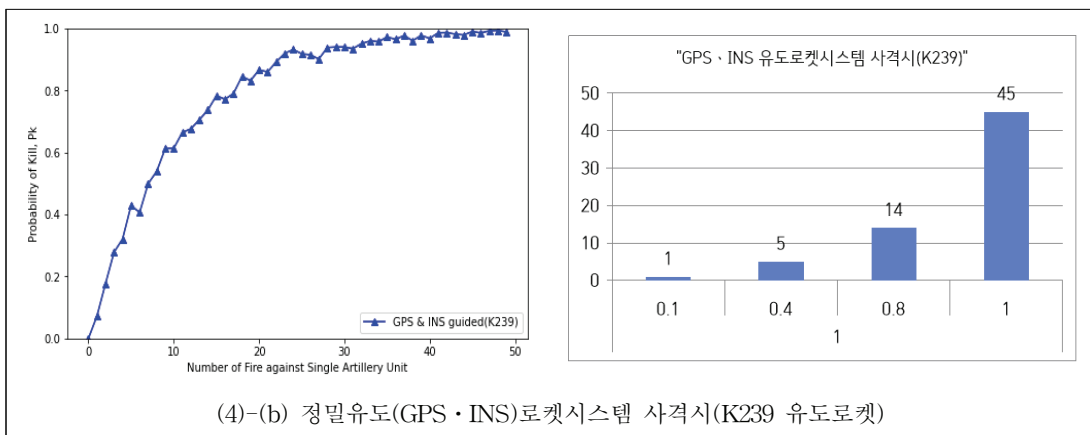
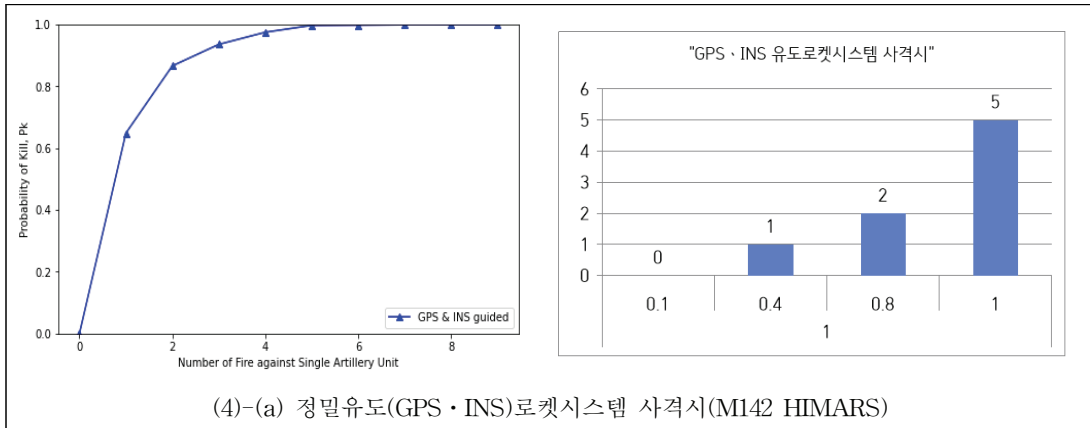
23) image : https://ko.wikipedia.org/wiki/M982_%EC%97%91%EC%8A%A4%EC%B9%BC%EB%A6%AC%EB%B2%84

24) HIMARS(High Mobility Artillery Rocket System : 고속기동 포병 로켓시스템)

25) NLOS(Non Line Of Sight : 비가시선)

<부록 3> 피해확률에 따른 소요 사격발수





<부록 4> 초정밀타격 전투임무(대포병 사격, 사거리 25Km, 피해확률 80%)시 소요시간, 비용, 우선순위

구 분		무유도탄 (M777 적용)	정밀유도신 관 포탄 (M1156 PGK 적용)	정밀유도포탄 (M982 Excalibur 적용)	정밀유도로켓시 스템 (M142 HIMARS 적용)	정밀유도 미사일시스템 (Spike NLOS 적용)
					K239 유도로켓(천무)	
정확성 (25Km, CEP)		139m	30m	4m	2m	1m
					15m	
소요 사격발수 (문당)		181발	37발	3발	2발	1발
					14발	
1발 사격시 소요시간		20초	20초	20초	5초	15초
					5초	
총 소요시간 (사격준비·비파 시간 포함)		60분 내외	15분 내외	1분 내외	2분 내외	95초
					5분 내외	
총 소요비용		\$ 800 × 255발 = \$ 204,000	\$ 10,000 × 37발 = \$ 370,000	\$ 68,000× 3발 \$ 204,000	\$ 336,000	\$ 210,000
					\$ 560,000	
전투임 무시 고려 사항	신속성 순위	6	4	1	3	2
					4	
	정확성 순위	5 (CEP 139m)	4 (CEP 30m)	3 (CEP 4m)	2(CEP 2m)	1 (CEP 1m)
					4(CEP 15m)	
	비용 순위	1	5	1	4	3
					6	
	파괴력 순위 (관통력)	4	4	4	2	1 (장갑 900mm)
					2 (Unitary 로켓, 콘크리트 60cm)	
기타 특·장점					전투임무 따라 다양한 발사체 선택 가능	주·야간 표적탐지·추적, 발사체 궤도수정, 표적제지정, 후사면 타격, 발사수단 변경 및 분배 가능

발사체 유도방식에 따른 화력무기체계의 전투 효과성 및 효율성 분석*

정윤영** · 김종환***

국문초록

본 논문은 확률적 모의실험을 통해 화력무기체계의 전투 효과성과 효율성을 분석한다. 화력무기체계의 전투 효과성과 효율성은 무기체계의 정밀성에 의해 좌우되며, 정밀성은 무기체계의 발사체 유도방식에 의해 크게 차이가 난다. 따라서, 본 연구는 이러한 발사체 유도방식을 확률적 모델을 적용하여 모의실험을 진행하였다. 모의실험은 대포병 사격을 가정하여 설계되었는데, 이는 대포병 사격은 전쟁 초기의 화력적인 우세를 달성하기 위해 반드시 성공해야 하는 중요한 전투이며, 화력무기체계의 정밀성에 기인한 전투 효과성과 효율성을 판단하기에 적합한 상황이다. 전투 효과성과 효율성은 피해확률, 피해유형, 요망 사격발수 등의 결과로 판단되며, 피해확률과 피해유형은 전투 효과성을 나타내고, 요망 사격발수는 효율성을 나타낸다. 모의실험 환경은 1,000m × 750m 크기의 표적지역 포대급(화포 6문) 규모의 적 포병부대를 전개 및 모의하고, 각 화력무기체계의 살상범위를 적용하였다. 피해묘사를 위해 수리적 모델인 칼튼피해함수와 쿠키커터 피해함수를 적용하였고, 전장의 불확실성을 모의하기 위하여 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하였다. 본 연구결과는 화력무기체계를 운용과 계획하는 전술 및 작전 제대의 화력무기체계 운용계획 개선에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

주제어 : 화력무기체계, 몬테카를로 시뮬레이션, 피해확률, 칼튼피해함수, 쿠키커터피해함수, 대포병 사격, 전투 효과성 및 효율성, 무기체계의 정밀성, 발사체 유도방식

* 본 연구는 2023년 육군사관학교 미래전략기술연구소의 연구활동비를 지원받아 수행되었습니다. (23-AI-연구소-01)

** (제1저자) 육군사관학교 경영학과, 조교수, 4348901@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7667-0746>.

*** (교신저자) 육군사관학교 시스템공학과, 부교수, jonghwan7028@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6962-4389>.