

대포병탐지레이더의 관측오차와 화포 오차에 따른 사격효과도 분석

김병주[†]

Analyzing the Impact of Observation Errors in Counter-Battery Radar and Errors of Artillery on Firing Effectiveness

Byung Joo Kim[†]

ABSTRACT

Unlike conventional radar, Counter-Battery radar encounters observation errors when estimating the target's location. These observation errors are among the main factors that decrease the effectiveness of hitting the enemy with artillery. The objective of this study is to analyze the impact of observation errors from Counter-Battery radar on firing effectiveness. Scenarios were assumed with enemy and friendly artillery ratios of 1:1, 1:6, and 6:6. The observation errors of Counter-Battery radar and artillery accuracy were each adjusted in increments of 1m within a range of 0-300m, and a Monte Carlo method was employed to conduct a simulation analysis on the firing effectiveness. Simulation analysis results confirmed that the observation errors of Counter-Battery radar impact the firing effectiveness as much as the errors in artillery. It was also found that the firing effectiveness can be improved depending on the way the artillery is operated. The findings of this research provide a quantitative analysis method for the military when determining the required performance in relation to observation errors of Counter-Battery radar. It is expected to contribute to enhancing the effectiveness of the current system operation, producing more realistic results in battlefield simulation analysis, among other benefits.

Key words : Counter-Battery Radar, Observation Error, Firing Effectiveness, Monte-Carlo method

요약

대포병탐지레이더는 일반적인 레이더와 달리 표적의 위치를 추정하는 데 관측오차가 발생한다. 관측오차는 화포로 적을 타격 시 효과도를 감소하는 주요 원인 중 하나이다. 본 연구의 목적은 대포병탐지레이더의 관측오차가 사격효과도에 미치는 영향을 분석하는 데 있다. 적군과 아군의 포병 비율을 1:1, 1:6, 6:6인 시나리오를 가정하였으며, 대포병탐지레이더의 관측오차와 화포의 오차를 각각 0~300m 범위에서 1m씩 조정하며 몬테카를로 방법을 활용하여 사격효과도 모의 분석을 수행하였다. 모의 분석 결과 대포병탐지레이더의 관측오차가 화포의 오차만큼 사격효과도에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 그리고 화포를 운영하는 방법에 따라 사격효과도 또한 개선될 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 연구의 결과는 대포병탐지레이더 관측오차에 대한 군의 요구성능 결정 시 정량적인 분석 방법을 제공하며, 현재 보유하고 있는 체계 운용 효과도 제고, 전장 모의 분석 수행 시 좀 더 실제와 가까운 분석 결과 도출 등에 기여할 것으로 기대한다.

주요어 : 대포병탐지레이더, 관측오차, 사격효과도, 몬테카를로

1. 서론

휴전 이후 남·북은 군사분계선을 중심으로 전력을 증강 배치해 오고 있다. 특히 북한은 포병 전력을 군사분계선 인근까지 배치하고 이를 은폐·엄폐할 수 있는 지하 갱도와 동굴 진지를 구축하고 있다. 이와 같은 북한 포병 전력 전방 배치는 수도권 지역에 인구 2,600만 명이 밀집

Received: 17 May 2023, Revised: 6 June 2023,
Accepted: 6 June 2023

[†] Corresponding Author: Byung Joo Kim
E-mail: bjkim@kida.re.kr
Korea Institute for Defense Analyses

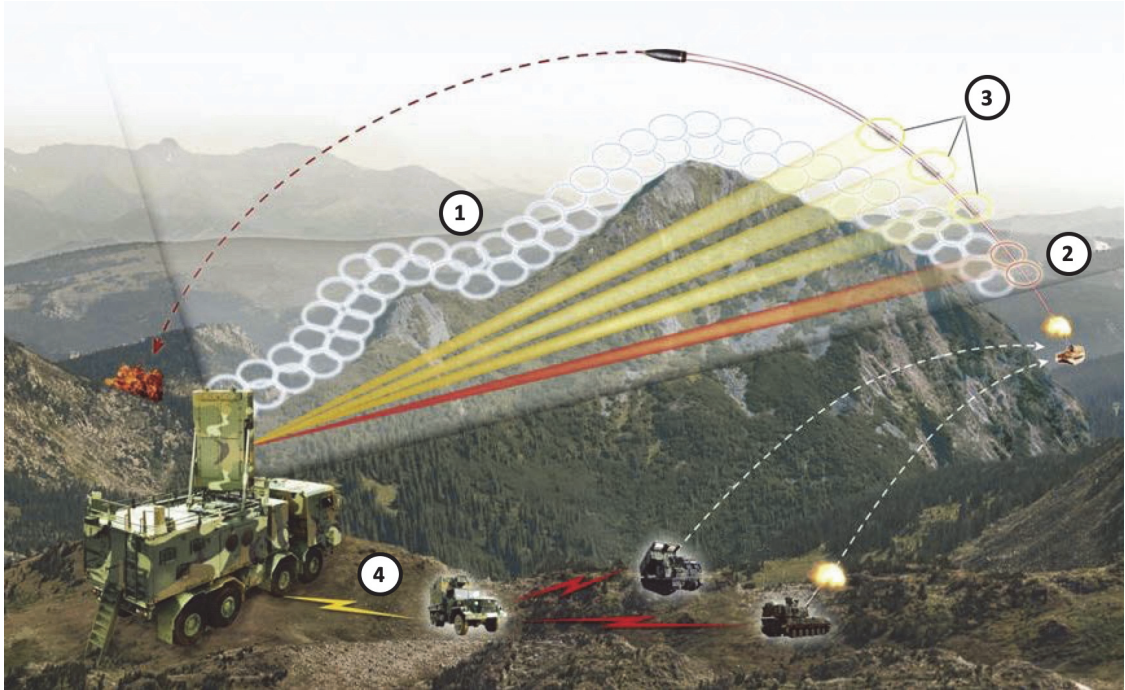


Fig. 1. Concept of Counter-Battery Radar Operation

된 우리나라의 특성상 매우 큰 위협이다. 2020년에 미 RAND 연구소는 개전 시 북한군의 포격으로 시간당 10,000명 이상의 인명 살상이 가능하다고 분석한 바가 있다 (Barnett 등, 2020). 이와 같은 북한군의 포격 위협은 전시 전면전 상황만이 아니라 평시에도 큰 위협이 되고 있으며, 2010년 11월 23일 발생한 연평도 포격전을 통해 그 위협을 가늠할 수 있다.

포병 위협에 대응하기 위해서는 적의 사격원점 파악이 매우 중요하다. 적 사격원점을 파악하여야 적 포병을 무력화하거나 사격원점 부근의 지속적인 정찰로 추가적인 사격을 억제하여 아군 피해를 감소할 수 있기 때문이다. 사격원점을 파악하는 방법은 적지 중심 작전부대, UAV 등을 통해 직접 관측하는 직접적인 방법과 대포병탐지레이더 체계 등의 적 포탄을 통해 표적 위치를 추정하는 간접적인 방법으로 구분할 수 있다.

대포병탐지레이더는 적 포격 시 포탄을 탐지하고 궤적을 분석하여 사격원점을 파악하는 무기체계로, 개전 초 적지 중심 작전부대, UAV 전가가 되지 않은 시점에 유일하게 적 포병에 대한 위치를 파악할 수 있는 체계이다. 2015년 8월에 있었던 서부전선 포격 사건은 대포병탐지레이더의 개전 초 중요성을 확인할 수 있는 계기였다.

2015년 8월 북한군은 대북 화성기를 향해 고사포를 발사하였고, 고사포 사격 당시 우리 군은 대포병탐지레이더로 포탄의 궤적을 분석하여 짧은 시간에 사격원점을 파악하여 사격원점 인근에 155밀리 포로 대응 사격을 할 수 있었다(Kim 등, 2018a; Kim 등 2018b; Kim 등, 2015; Park 등, 2021).

우리나라는 현재 대포병탐지레이더를 자체적으로 개발 완료하여 전력화 중에 있다(Kim 등, 2018a; Park 등, 2021). 현재 전력화 중인 체계는 처음으로 국내연구 개발된 체계로 작전운용성능의 많은 부분을 국외 장비를 참조하여 설정하고 있다. 작전운용성능 중 관측오차의 경우 대화력전에서 사격효과도에 매우 큰 영향을 주는데, 관측오차 성능 또한 국내 여건이나 화포의 운영 등을 고려하지 않고 국외 장비를 참조하여 설정하고 있다.

관측오차는 포탄을 통해 적 위치를 추정하는 대포병탐지레이더의 특성상 불가피하게 발생하는 오차이다. 관측오차는 적 위치에 대한 오차이므로 대화력전의 대응 사격 시 화포의 오차와 함께 사격효과도를 결정하는 중요한 요소이다. 하지만 대포병탐지레이더의 관측오차 성능을 설정하기 위한 국내의 정량적인 분석방법론 등은 미흡한 상황이다.

본 연구는 대포병탐지레이더 관측오차에 따른 사격효과도의 변화를 정량적으로 분석하고자 수행되었다. 본 연구의 분석 연구 방법과 결과는 추후 전력화된 대포병탐지레이더의 성능개량이나 신규 대포병탐지레이더 개발 시 관측오차 성능 결정을 위한 분석에 활용될 것으로 기대된다. 본 연구에서는 화포의 오차와 현재 군의 화포 운영 방법도 일부 반영하여 분석하여 대포병탐지레이더 관측오차뿐만 아니라 대화력전 수행 시 표적 분배, 사격 형태, 사격 발수 등 군의 교리 개발에도 활용될 것으로 기대된다. 그리고 본 연구의 연구 방법을 활용하여 현재 보유하고 있거나 미래 보유할 적과 아군 체계 정보를 반영한다면 현재 및 미래의 대화력전 전장 분석 시 좀 더 정확한 사격효과도 또는 효과도 결과를 도출하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 이론적 배경

2.1 대포병탐지레이더 운영개념

대포병탐지레이더는 적 포탄을 탐지하고 탄도를 추적하여 탄도 방정식을 통해 적 화포 위치를 산출하고, 표적 위치를 아군에게 전달하는 무기체계이다. 일반적인 레이더는 표적의 현재 위치를 직접적으로 탐지하고 추적하지만, 대포병탐지레이더는 포탄을 통해 표적 위치를 간접적으로 추정하는 무기체계로 운영개념이 일반적인 레이더와 다르다. 대포병탐지레이더의 운영개념도는 Fig. 1과 같으며 단계별 운영개념은 다음과 같다(Park 등, 2020; Lee 등, 2020; Kim 등, 2018a; Park 등, 2021).

- ① 공제선상에 탐색 빔 운용
- ② 포탄 탐지 및 확인
- ③ 포탄추적 및 표적 위치 산출
- ④ 표적정보 전송

2.2 화포 사격 시 발생하는 오차

일반적으로 화포 사격 시 발생하는 오차는 화포 자체의 공산오차, 화포 위치 측정 오류에 따른 위치오차, 표적 위치 관측 시 발생하는 관측오차 등으로 발생한다.

2.2.1 화포 자체 공산오차, 위치오차

화포 자체 공산오차는 화포의 반복적인 사격으로 인해 포신의 침식, 마모 등의 결함으로 발생하는 오차이다. 화포 자체 공산오차는 사거리에 따라 100m 이상의 오차가 발생할 수 있어 화포 사격 시 정확도를 감소시키는 주요한 요인이다. 공산오차는 사격 방향에 따라 발생하는 사

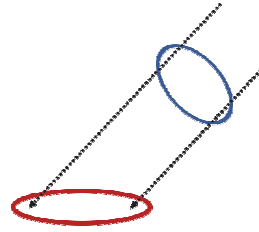


Fig. 2. Difference in error shape between air and ground

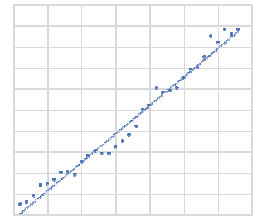


Fig. 3. Errors in Observation and Interpolation

거리 공산오차와 사격 방향과 직각 방향으로 발생하는 편의상 공산오차로 구분할 수 있다(Park 등, 2021; Shin 등 2011). 일반적으로 사거리 공산오차가 편의상 공산오차보다 크다. 이는 포탄이 포물선을 그리기 때문에 탄도에 대해 원형으로 발생한 오차가 지상에 타격할 때는 타원형으로 퍼지기 때문이다(Fig. 2). 군에서는 무기체계, 사거리, 탄의 종류, 장약에 따른 자료를 수집하여 통계적인 공산오차를 사표로 정리하고 이를 화포 사격에 활용하고 있다.

위치오차는 화포의 위치를 측정하는 정확도에 따라 발생하는 오차로 화포의 측지장비 정확도에 따라 발생한다.

2.2.2 관측오차와 대포병탐지레이더의 관측오차

관측오차는 표적의 위치를 측정할 때 발생하는 오차이다. 적지 중심 작전부대를 활용하거나 UAV, 인공위성 등으로 직접 표적을 관측하는 경우 최근 개발된 레이저 거리 측정기와 같은 정밀한 장비를 사용하여 거의 무시가 가능할 정도로 작은 관측오차가 발생한다. 반면, 대포병탐지레이더는 간접적으로 표적 위치를 산출하기 때문에 직접적인 방법에 비해 상대적으로 큰 관측오차가 발생할 수 있다.

대포병탐지레이더의 관측오차는 크게 두 가지에 의해 발생할 수 있다. 우선 대포병탐지레이더 자체에서 발생할 수 있는 오차이다. 화포의 위치오차와 마찬가지로 대포병탐지레이더의 위치 측정 시 발생하는 오차가 있을 수 있으며, 화포 공산오차처럼 레이더 자체적인 결함 등에 의해 표적 위치오차가 발생할 수 있다. 두 번째는 표적 추정 시 발생하는 오차이다. 대포병탐지레이더는 탄두 위치를 레이더로 관측하고, 보간법으로 탄두의 궤적을 구한 후, 탄도방정식으로 표적의 위치를 추정한다. 이 과정에서 탄두의 크기가 매우 작아 관측 시 표적의 위치오차가 발생할 수 있으며, 탄두 또한 공기의 저항으로 인한 항력

으로 정확한 포물선 궤적을 따르지 않으므로 오차가 발생한다(Fig. 3).

2.2.3 화력 무기체계의 오차 표기법

일반적으로 화력 무기체계의 오차를 표기할 때 원형공산오차(Circular Error Probable, 이하 ‘CEP’)를 활용하고 있다. CEP는 원점을 기준으로 일정 범위에 목표하는 사건이 발생할 확률이며, 일반적으로 50%의 사건이 발생하는 것을 기준으로 하고 있다. CEP는 일반적으로 원점에 대해 오차의 분포함수를 x축과 y축에 독립된 이변량 정규분포로 나타내며 이는 식 (1)과 같이 표시된다. 만약 사거리 오차와 편의 오차의 표준편차가 같은 경우 식 (2)와 같이 원형 정규분포 함수로 나타낼 수 있다(Park 등, 2021).

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right] \dots\dots\dots (1)$$

$$f(r) = \frac{1}{2\pi\sigma_r^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_r^2}\right) \dots\dots\dots (2)$$

원형 정규분포를 따르는 경우 50%의 오차 거리 반경은 위 수식에 $f(r) = 50\%$ 를 대입하여 계산할 수 있으며, 표준편차와의 관계는 식 (3)과 같다. 이 식을 활용하여 CEP가 50%인 경우 오차 거리의 크기별 표준편차를 계산하고 정규분포 함수를 구할 수 있다.

$$r_{CEP50\%} = 1.17741 \sigma_r \dots\dots\dots (3)$$

2.2.4 사격효과도 산출 방법

사격효과도는 명중률, 피해율 등 여러 가지로 정의될 수 있으며 일반적으로 표적에 피해를 주는 정도로 정의한다. 효과도를 산출하는 방법은 표적의 크기와 살상반경을 고려하여 식 (4)와 같이 표적의 면적과 탄의 살상면적이 겹치는 교집합 면적을 탄의 살상면적으로 나눈 비율로 정의한다(Park 등, 2021; Shin 등, 2011). 정확한 효과도 모의를 위해 사격원점에서 떨어진 거리와 각도에 따른 포탄의 유효 살상 면적 감소를 적용하고, 표적의 면적과 취약점 특성을 반영하여 유효 살상 면적에 취약점이 포함되었는지 등을 고려한 분석을 수행하기도 한다. 반면 모의 분석의 속도, 효율성 등을 고려하여 적을 면적이 없는 점 표적으로 가정하여 적이 유효 살상범위에 포함되는 경우 무력화되는 것으로 사격효과도 분석을 수행

하는 방법을 채택하여 연구를 수행하기도 한다(Kim 등, 2015; Park 등, 2021; Shin 등 2011).

$$E_i = \frac{A_T \cap A_F}{A_F} \dots\dots\dots (4)$$

E_i : Effectiveness of i_{th} shot, A_T : Area of the Target, A_F : Effective Area of the Shot

2.3 선행연구

대포병탐지레이더의 관측오차와 화포의 오차 값을 모두 변경하며 사격효과도를 분석한 선행연구는 없으며, 대포병탐지레이더, 화포와 운영 효과도 간의 관계에 대해 정량적으로 분석한 연구는 다음과 같다.

Kang 등(2010)은 대포병탐지레이더를 운용할 때와 운용하지 않을 때의 적 피해율을 MANA(Map Aware Non-uniform Automata)를 통해 모의 분석을 수행하여 대포병탐지레이더의 운용 효과에 대해 분석하였다. 연구에서는 C2(Command & Control) 관점에서 계량적인 분석을 수행하여 작전 반응 시간을 위주로 고려하여 분석하였다.

Kim 등(2015)은 대포병탐지레이더의 관측오차와 화포 공산오차의 특정 값을 적용하여 두 가지 사격방식에 대해 사격효과도를 모의 분석 수행하여 비교 분석하였다.

Park 등(2021)은 화포 공산오차 변경에 따른 사격효과도를 몬테카를로 방법으로 모의 분석을 수행하였으며, 소요군이 요구하는 사격효과도를 달성하기 위한 화포의 허용 공산오차를 분석하였다.

Shin 등(2011)은 화포의 위치 측정 시 발생할 수 있는 위치오차에 따른 사격효과도 분석을 수행하였으며, 자체 개발한 모의 분석 도구를 활용하여 모의 분석을 수행하였다.

선행연구에서 Kang 등(2010)은 C2 관점에서의 효과도 분석을 수행하였고, Park 등(2021), Shin 등(2011)은 화포의 오차만 고려하여 사격효과도를 분석하였다. Kim 등(2015)은 대포병탐지레이더와 화포의 오차를 모두 고려하여 본 연구와 동일한 과정으로 포탄의 탄착지점과 표적의 거리 등을 모의하여 사격효과도를 분석하였으나, 특정 오차값에 대해서만 모의 분석을 수행하였으며 두 가지 사격방식의 효과도 비교 분석이 연구의 중점이었다. 이처럼 대포병탐지레이더의 관측오차와 화포의 공산오차의 크기를 모두 변경하면서 사격효과도를 분석한 선행연구는 없었다.

본 연구는 선행연구에서는 분석되지 않았던 대포병탐지레이더의 관측오차와 화포의 오차를 변경하였을 때 각 오차가 사격효과도에 주는 영향을 분석하고자 한다. 이를 위해 대포병탐지레이더의 관측오차와 화포의 오차를 0~300m로 1m 단위로 변경하며 사격효과도를 분석하였다. 선행연구에서는 수행된 바가 없으나, 화포 운영에 따른 사격효과도의 영향도 확인하고자 적과 아군의 비율을 1:1, 1:6, 6:6으로 변경하며 사격효과도 변화에 대한 분석도 추가로 수행하였다. 이와 같은 선행연구와의 차별점은 추후 대포병탐지레이더 관측오차 작전운용성능 결정을 위해 소요군이 요구하는 사격효과도 달성 여부 등의 정량적인 분석을 수행할 때, 본 연구의 결과와 분석과정을 활용하여 분석방법론을 개발하는 등의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 대포병탐지레이더 관측오차에 대한 분석 외에도 화포의 오차와 군의 화포 운영에 따른 사격효과도를 분석하는 방법을 제공하는 점에서 이후 대화력전 관련 연구의 발전에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 연구 방법

3.1 주요 가정사항 및 모의 분석 환경

화포의 오차는 공산오차, 위치오차 등의 다양한 원인에 의해 발생하지만 포 사격 결과에 나타나는 오차는 하나이므로, 본 연구에서는 화포에서 발생하는 오차를 화포 오차로 통합하여 모의 분석을 수행하였다.

대포병탐지레이더의 관측오차와 화포의 오차는 일반적으로 사거리 오차와 편의상 오차가 차이가 있으며, 아군과 적군의 고저 차이와 거리에 따라 발생하는 오차의 크기도 변한다. 그러나 본 연구에서는 연구의 편의를 위해 사거리 오차와 편의상 오차의 비율은 1로, 고저 차이와 거리에 따른 오차 차이는 없는 것으로 가정하였다.

사격효과도 분석 시 적 무기체계는 면적을 갖지 않는 점 표적으로 가정하였으며, 살상 면적 범위에 적 무기체계가 포함되면 무력화가 되는 것으로 가정하여 실험을 수행하였다.

사격 시 포탄은 HEBB탄(High Explosive Base Bleed)으로 사격하는 것으로 가정하였으며, 유효 살상반경은 HEBB탄의 유효 살상반경인 25m로 설정하였다(Shin 등, 2011; Park 등, 2020).

모의 환경은 R 4.0.5 버전을 사용하였으며, 모의 분석은 몬테카를로 방법으로 적 위치 결정, 대포병탐지레이더 관측오차를 반영한 표적 위치, 화포 오차를 반영한 탄착 지점 등을 모의하여 분석을 수행하였다.

3.2 모의 시나리오

적 아군의 비율 1:1, 1:6, 6:6의 세 가지 상황에 대해 각각 대포병탐지레이더와 화포의 오차를 0~300m로 변경하며 사격효과도를 분석하였다.

대포병탐지레이더 관측오차에 따른 사격효과도를 분석하는 것이 본 연구의 주목적이므로 관측오차 오차값을 변경하며 모의 분석을 수행하였다. 화포 오차의 경우 현재 보유한 화포 체계 오차가 매우 다양하고, 미래 개발 예정인 체계는 정밀한 타격이 가능할 것으로 전망되어 다양한 화포 오차에 따른 사격효과도를 확인하고자 화포 오차값을 변경하며 모의 분석을 수행하였다.

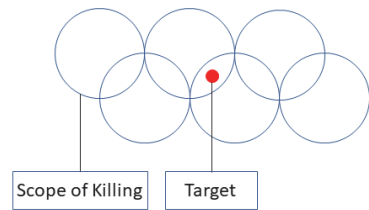


Fig. 4. 6 rounds of grid firing at 1 target

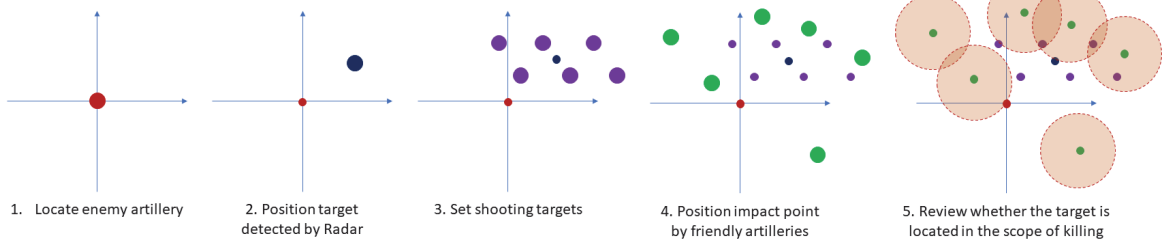


Fig. 5. Simulation Analysis Process

시나리오 1(1:1)은 대포병탐지레이더 오차와 화포의 오차에 의한 사격효과도 영향을 확인하기 위해 실시하였다. 이 경우 군의 대화력전 운영방안 등을 고려하지 않고 대포병탐지레이더 관측오차와 화포의 오차에 의한 사격효과도를 확인할 수 있어 직접적인 상관관계를 확인할 수 있다.

시나리오 2(1:6)는 현재 군의 화포 운영을 반영하여 사격효과도를 분석하고자 실시하였다. 군은 1개 표적에 대해 군집 사격을 한다. 일반적으로 1개 포대는 6문의 화포를 편성하여 운영하고 있으므로, 참고문헌과 현재 편성 현황을 바탕으로 (Fig. 4)와 같이 1개 적 표적에 대해 6개의 사격 표적을 지정하여 격자형으로 사격하는 형태로 분석하였다(Kim 등, 2015; US Army, 2016). 시나리오 2는 시나리오 1과 비교 시 화포 운영방식에 따른 사격효과도 변화를 확인할 수 있다.

시나리오 3(6:6)은 실제 적의 배치와 아군 화포 운영을 고려하여 사격효과도를 분석하고자 실시하였다. 일반적으로 적 1개 포대는 6문으로 구성되어 있으며, 일정한 거리로 배치되어 있다. 적 1문에 대한 사격은 시나리오 2와 마찬가지로 6발의 격자형 사격을 수행하므로, 적 1개 포대 6문에 대해 총 36발을 사격하여 36발의 살상범위에 있는 모든 적 포대는 무력화되는 것으로 보았다. 시나리오 3을 통해 실제 적이 다수 배치되어 있고, 각 적에 대해 군집 사격을 하는 등의 현재 군의 화포 운영을 적용하는 경우 사격효과도가 어떻게 변하는지 확인할 수 있다.

3.3 모의 수행 과정

모의 절차는 다음과 같다. (Fig. 5)

0. 대포병탐지레이더 관측오차와 화포 오차의 각 $r_{CEP\ 50\%}$ 를 0~300m 범위로 1m 단위로 변경하고 아래 1~6단계를 반복하여, 각 관측오차와 화포 오차별 사격효과도를 산출하였다.
 1. 적 포대를 배치한다.
 - ✓ 적이 1개인 경우 원점에 배치한다.
 - ✓ 적이 6개인 경우 원점에 최초 적 배치한 이후 각각 최소 50m 거리 이격을 보장하기 위해 50m 거리, 0~90° 범위에서 무작위 각도를 선택하여 다음 적을 배치하였다. 이 과정을 다음 표적을 기준으로 6개 적이 배치될 때까지 반복한다(Fig. 6).
 2. 대포병탐지레이더의 관측오차를 적용하여 적 포대에 대해 탐지된 표적의 위치를 구한다.

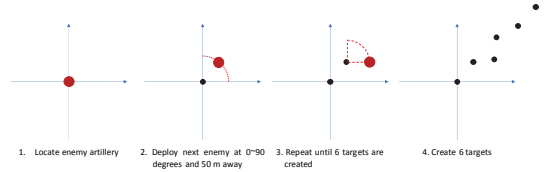


Fig. 6. Random placement process of 6 targets

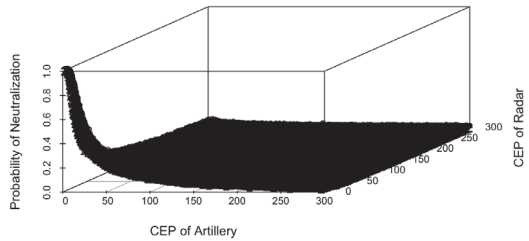


Fig. 7. Effectiveness of 1:1

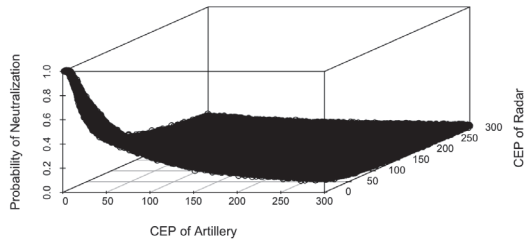


Fig. 8. Effectiveness of 1:6

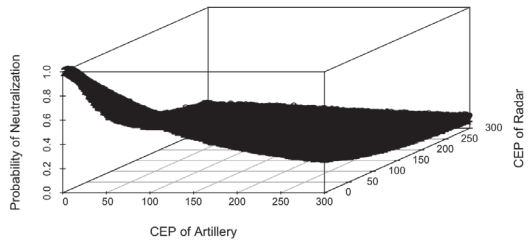


Fig. 9. Effectiveness of 6:6

3. 표적 위치를 기준으로 사격 표적을 설정한다.
 - ✓ 아군이 1개인 경우 관측된 표적 위치로 사격 표적을 설정하고, 6개인 경우 Fig. 4와 같이 6개의 사격 표적을 설정하였다.
4. 사격 표적에 대해 화포의 오차를 고려하여 탄착지점을 산정한다.

Table 1. Simulation result of effectiveness by scenarios

Simulation result of Scenario 1(1:1)																
Artillery Radar	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
0	100.0%	61.7%	30.1%	23.1%	17.4%	13.7%	11.7%	9.6%	6.8%	7.0%	6.5%	6.4%	5.8%	5.6%	3.8%	5.3%
20	58.0%	34.8%	20.9%	16.4%	12.5%	7.9%	8.1%	6.9%	5.7%	5.4%	5.3%	4.1%	4.2%	4.1%	3.8%	3.2%
40	31.9%	21.4%	15.8%	9.7%	7.1%	6.8%	5.1%	4.8%	3.8%	2.9%	3.3%	2.8%	2.8%	2.2%	1.9%	1.7%
60	24.3%	15.9%	9.6%	5.4%	4.1%	4.4%	3.8%	2.8%	2.5%	1.9%	2.5%	2.1%	1.3%	2.2%	1.5%	1.9%
80	17.7%	13.2%	7.3%	5.4%	4.9%	4.0%	3.0%	2.5%	1.3%	1.9%	1.7%	1.7%	1.7%	1.6%	1.5%	1.1%
100	10.9%	8.9%	4.8%	4.6%	2.5%	2.6%	2.5%	2.1%	2.0%	2.1%	1.6%	2.2%	0.7%	1.2%	2.0%	1.1%
120	10.2%	7.2%	4.6%	4.0%	1.9%	2.9%	2.2%	1.5%	2.2%	1.2%	1.6%	1.7%	0.9%	0.8%	1.1%	0.6%
140	8.6%	6.3%	4.3%	3.2%	2.6%	1.8%	1.0%	1.2%	1.2%	0.7%	1.1%	1.1%	1.2%	0.9%	0.7%	0.9%
160	10.1%	7.0%	4.0%	2.4%	2.4%	2.4%	1.9%	1.2%	1.5%	1.6%	0.9%	0.8%	0.7%	0.8%	0.3%	0.8%
180	7.6%	5.1%	4.0%	3.3%	1.7%	1.6%	1.5%	1.3%	1.0%	0.8%	1.1%	1.2%	1.1%	1.3%	1.0%	0.7%
200	6.9%	5.2%	3.1%	1.7%	2.2%	0.9%	1.7%	0.9%	1.6%	0.6%	1.2%	0.9%	0.9%	1.3%	0.2%	0.4%
220	5.6%	4.5%	3.9%	1.6%	2.7%	1.5%	0.8%	1.2%	1.3%	0.8%	1.0%	0.8%	1.0%	0.4%	0.8%	1.1%
240	5.7%	4.9%	1.5%	1.9%	1.8%	1.6%	1.7%	1.2%	0.8%	0.9%	1.1%	0.3%	0.5%	0.6%	0.9%	0.3%
260	5.4%	3.9%	2.9%	1.9%	1.2%	1.5%	1.0%	0.9%	0.7%	1.2%	0.6%	1.1%	0.6%	1.1%	0.7%	0.2%
280	4.1%	3.0%	2.5%	1.8%	1.8%	1.4%	1.4%	0.5%	0.8%	0.8%	1.0%	0.6%	0.8%	0.5%	0.9%	0.5%
300	4.2%	2.6%	2.7%	1.0%	1.8%	1.4%	0.7%	0.5%	0.9%	0.5%	0.3%	0.5%	0.4%	0.2%	0.2%	0.6%
Simulation result of Scenario 2(1:6)																
Artillery Radar	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
0	100.0%	79.2%	62.3%	45.9%	37.9%	32.3%	28.5%	24.8%	22.3%	19.6%	17.2%	15.6%	15.0%	14.3%	14.4%	12.6%
20	85.5%	66.7%	49.9%	39.6%	31.2%	27.2%	22.0%	21.5%	18.2%	16.4%	14.4%	13.8%	11.8%	12.0%	10.0%	11.3%
40	60.0%	46.3%	37.3%	31.9%	23.0%	23.8%	19.0%	14.8%	15.2%	12.8%	11.0%	11.8%	10.4%	8.7%	8.3%	8.9%
60	44.7%	35.4%	30.9%	23.6%	18.8%	17.0%	14.2%	13.9%	12.0%	10.8%	8.7%	9.2%	7.9%	7.5%	7.2%	7.5%
80	34.4%	29.0%	21.6%	19.9%	17.2%	14.9%	12.9%	11.8%	8.8%	10.1%	7.5%	7.3%	6.6%	7.0%	4.6%	5.0%
100	27.4%	23.7%	19.2%	15.8%	13.7%	12.8%	10.5%	9.6%	8.7%	7.8%	7.9%	4.8%	6.0%	6.0%	5.9%	5.3%
120	23.9%	18.3%	16.3%	13.1%	11.7%	9.6%	8.9%	9.3%	6.6%	6.4%	5.4%	4.6%	5.4%	5.1%	4.8%	3.1%
140	19.3%	17.0%	14.5%	13.3%	10.7%	9.8%	6.8%	6.7%	6.1%	5.5%	5.9%	5.8%	4.7%	3.8%	3.5%	4.9%
160	16.0%	14.5%	11.8%	11.7%	8.1%	8.3%	7.5%	6.5%	4.5%	5.0%	4.3%	3.7%	2.6%	4.7%	3.6%	4.2%
180	16.9%	11.7%	9.9%	9.2%	8.8%	8.1%	5.6%	6.4%	4.6%	4.2%	4.1%	3.5%	4.0%	4.1%	4.5%	3.3%
200	14.4%	11.4%	10.1%	8.9%	7.8%	6.0%	5.0%	5.9%	4.9%	4.6%	4.4%	3.7%	3.4%	3.5%	3.4%	3.2%
220	13.5%	13.2%	7.2%	8.2%	5.7%	5.6%	5.1%	5.3%	3.3%	4.7%	2.9%	3.0%	2.6%	3.6%	2.9%	2.9%
240	12.8%	11.2%	6.6%	6.6%	7.2%	5.3%	5.4%	5.2%	4.1%	4.7%	2.7%	3.2%	3.8%	3.1%	2.9%	3.0%
260	11.0%	7.7%	7.0%	6.3%	7.0%	5.0%	4.8%	4.8%	3.9%	3.7%	4.0%	2.9%	1.9%	2.5%	2.6%	2.4%
280	10.8%	9.4%	7.6%	6.0%	5.3%	5.3%	3.7%	3.8%	4.5%	3.5%	2.7%	2.9%	2.3%	2.6%	2.5%	1.8%
300	8.8%	7.7%	5.7%	4.6%	5.2%	3.8%	4.1%	3.8%	3.2%	3.5%	2.4%	2.0%	1.4%	2.2%	2.0%	1.8%
Simulation result of Scenario 3(6:6)																
Artillery Radar	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
0	100.0%	92.0%	83.2%	75.3%	67.2%	60.6%	55.1%	50.1%	47.1%	43.0%	39.1%	37.3%	34.6%	32.6%	30.6%	29.0%
20	96.0%	86.3%	78.6%	71.0%	62.9%	57.7%	51.8%	46.9%	43.7%	40.6%	37.5%	34.2%	31.6%	30.9%	28.8%	26.7%
40	82.2%	74.6%	68.7%	62.7%	58.4%	52.5%	47.0%	41.8%	40.2%	35.7%	33.9%	31.3%	28.0%	28.8%	26.9%	24.8%
60	67.7%	61.7%	59.0%	52.9%	49.2%	46.8%	41.9%	39.3%	35.7%	31.7%	29.0%	28.0%	27.3%	25.9%	23.1%	21.9%
80	57.7%	53.3%	49.6%	47.6%	43.1%	41.0%	37.3%	34.9%	31.8%	29.3%	26.7%	24.4%	23.3%	21.3%	21.1%	20.8%
100	50.0%	43.8%	43.7%	42.5%	36.5%	36.1%	33.4%	30.5%	29.2%	26.5%	23.6%	21.7%	21.9%	20.0%	18.4%	17.6%
120	41.4%	38.6%	39.6%	35.0%	33.1%	31.9%	29.8%	28.0%	25.2%	23.1%	22.0%	20.5%	19.1%	18.5%	16.9%	16.3%
140	36.1%	35.3%	32.6%	32.6%	31.3%	28.5%	26.7%	25.0%	23.0%	21.4%	20.4%	18.6%	18.6%	16.4%	15.3%	15.1%
160	32.6%	29.1%	31.2%	30.5%	28.1%	25.3%	23.7%	22.6%	20.9%	18.9%	18.2%	18.2%	18.2%	15.8%	14.3%	13.6%
180	29.7%	27.5%	27.0%	26.2%	24.7%	24.3%	21.2%	20.4%	19.9%	18.4%	18.4%	16.4%	15.5%	14.1%	13.3%	11.7%
200	25.6%	24.9%	24.7%	25.8%	21.9%	21.5%	21.3%	18.6%	17.8%	17.2%	15.0%	14.5%	14.6%	14.0%	12.6%	12.0%
220	25.2%	24.8%	23.6%	22.7%	21.9%	19.6%	19.6%	17.2%	16.4%	14.7%	15.3%	14.6%	12.4%	11.9%	11.3%	11.3%
240	21.5%	20.2%	18.8%	21.3%	18.5%	19.2%	17.4%	16.6%	15.6%	15.1%	14.4%	13.3%	12.7%	12.4%	11.4%	11.1%
260	19.0%	19.9%	19.3%	18.1%	18.8%	17.8%	17.6%	14.1%	14.6%	12.9%	11.8%	11.7%	11.9%	11.9%	11.5%	9.8%
280	19.6%	17.2%	17.5%	17.7%	16.3%	16.7%	15.7%	14.2%	14.1%	13.6%	12.0%	10.7%	10.8%	11.1%	9.6%	9.2%
300	16.8%	16.7%	17.4%	16.7%	15.4%	16.2%	14.0%	12.9%	12.5%	12.7%	12.1%	11.6%	10.3%	9.2%	9.2%	9.4%

5. 포탄 탄착지점을 중심으로 살상반경에 적 표적이 포함되는지 확인하여, 포함되는 경우 무력화에 성공한 것으로 계산하였다.
 - ✓ 6개 적이 있는 경우 아군이 사격한 36발의 살상범위에 포함되어 있으면 무력화된 것으로 분석하였다.
6. 위의 1~5 과정을 1,000회 반복하여 사격효과도 평균을 계산한다. 1,000회 반복이 완료되면 0으로 돌아가 대포병탐지레이더 관측오차와 화포 오차의 $r_{CEP\ 50\%}$ 를 변경하여 1~5 과정을 다시 반복하였다.

4. 연구 결과

4.1 시나리오별 사격효과도 분석 결과(Table 1)

4.1.1 시나리오 1: 적 1개 포, 아군 1개 포

적 1개 포에 아군 1개 포가 사격하는 경우 화포의 오차가 없는 경우 대포병탐지레이더의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 45m 이하, 대포병탐지레이더의 오차가 없는 경우 화포의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 43m 이하일 때 30% 이상의 무력화 확률을 가지는 것으로 확인하였고, 50% 이상의 무력화 확률을 갖기 위해서는 대포병탐지레이더의 $r_{CEP\ 50\%}$ 와 화포의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 25m 이하인 경우로 확인되었다. (Fig. 7)

4.1.2 시나리오 2: 적 1개 포, 아군 6개 포

적 1개 포에 아군 6개 포가 사격하는 경우 화포의 오차가 없는 경우 대포병탐지레이더의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 90m 이하, 대포병탐지레이더 오차가 없는 경우 화포의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 100m 이하일 때 30% 이상의 사격효과도를 가지는 것으로 확인되었다. 50% 이상의 사격효과도를 갖기 위해서는 대포병탐지레이더와 화포의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 각각 50m, 54m 이하인 경우로 확인되었다(Fig. 8).

4.1.3 시나리오 3: 적 6개 포, 아군 6개 포

적 6개 포에 아군 6개 포가 사격하는 경우 화포의 오차가 없는 경우 대포병탐지레이더의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 177m 이하일 때 30% 이상의 사격효과도를 가지는 것으로 확인되었고 50% 이상의 사격효과도는 대포병탐지레이더와 화포의 $r_{CEP\ 50\%}$ 가 각각 100m 이하인 경우로 확인되었다(Fig. 9).

4.2 결과 분석

시나리오 1 결과에서는 대포병탐지레이더와 화포의 정확도가 유사한 정도의 중요도를 갖는 것으로 확인되었다. 1발만 사격하는 경우 적 위치와 화포가 정확하여야 살상범위에 적이 포함되기 때문으로 판단된다. 이와 같은 결과는 매우 정확한 타격체계를 확보하더라도 표적 위치가 정확하지 않다면 사격효과도가 감소하므로 타격체계 뿐 아니라 탐지체계의 정확도 또한 중요하다는 것을 보여준다.

시나리오 2의 경우 시나리오 1에 비해 대포병탐지레이더와 화포의 오차가 2배 정도 커도 유사한 사격효과도를 달성하는 것으로 확인되었다. 다시 말하면, 단일 사격 대비 6개의 포로 군집 사격하는 경우 $r_{CEP\ 50\%}$ 허용 크기가 약 2배가량 거리가 증가하였고, 오차의 허용 면적은 4배 정도 증가한 것으로 볼 수 있다. 이는 1개 포 사격 대비 6개 포의 격자형 사격 시 살상반경이 약 5.1배 증가하였기 때문으로 보인다. 이와 같은 결과는 대포병탐지레이더와 화포의 정확도가 높지 않더라도 타격체계의 특성을 이해하고 어떻게 운영하는지에 따라 사격효과도를 증가시킬 수 있음을 보여준다.

시나리오 3의 경우 시나리오 1, 2 대비 낮은 정확도에서 더 높은 사격효과도를 보이는 것으로 확인되었다. 이는 표적당 각 6발씩 총 36발을 사격하므로 시나리오 1, 2 대비 더 넓은 면적을 공격하고, 적이 일정한 거리로 있는 경우 목표한 표적이 아닌 다른 적도 공격하여 더 높은 사격효과도를 보이는 것으로 확인되었다(Fig. 10). Table 1 결과를 보면 대포병탐지레이더의 관측오차가 화포의 오차 대비 사격효과도를 증가시키는 데 더 중요한 역할을 하는 것으로 보인다. 이는 넓은 면적에 화망을 구성하여 공격하더라도 표적의 위치를 정확하게 특정하지 못하면 사격효과도가 감소하기 때문으로 보인다. 다시 말하면, 화력 운영을 통해 넓은 화망을 구성하더라도 소요군이 요구하는 사격효과도 달성을 위해서는 대포병탐지레이더의 정확도를 높여 오차를 일정 수준 이하로 감소해야 하는 것을 의미한다.

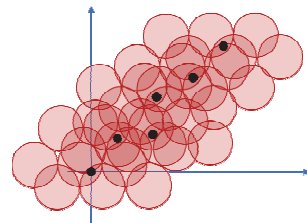


Fig. 10. Targets and hit ranges in Scenario 3

3개 시나리오 분석 결과 대포병탐지레이더의 관측오차가 화포의 오차와 유사한 수준의 중요도로 사격효과도에 영향을 주는 것을 알 수 있었고, 대포병탐지레이더의 관측오차로 사격효과도가 결정되는 것이 아니라 화포의 오차, 대화력전의 화포 운영, 적의 배치 등의 다양한 요인이 복합적으로 사격효과도에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구발전 방안

본 논문은 적과 아군 수를 1:1, 1:6, 6:6인 상황에 대해 3개의 시나리오를 구성하고, 대포병탐지레이더 관측오차, 화포 오차 $r_{CEP\ 50\%}$ 를 각각 0~300m까지 1m 단위로 변경하면서 1,000회씩 몬테카를로 방법으로 사격효과도 모의 분석을 수행하여 대포병탐지레이더의 관측오차와 화포의 오차의 크기가 사격효과도에 어떤 영향을 주는지 분석하였다.

모의 분석 수행 결과 1:1의 상황에서는 대포병탐지레이더와 화포의 오차가 모두 낮아지만 30% 수준의 사격효과도를 보이는 것을 확인하였다. 1:6의 상황에서는 살상반경이 넓어져 1:1 경우 대비 오차가 2배 정도 커도 유사한 사격효과도를 달성하는 것을 확인할 수 있었다. 6:6의 경우는 1:1, 1:6의 경우보다 더 넓은 면적을 공격하므로 1:6의 경우 대비 오차가 더 커져도 유사한 사격효과도를 보이는 것을 확인하였다. 단, 이 경우 대포병탐지레이더의 오차가 화포의 오차보다 중요한 역할을 하는 것으로 보이는데, 이는 넓은 면적을 공격하더라도 적 위치를 정확하게 특정하지 못하면 사격효과도가 감소하는 것을 보여주는 것으로 분석된다.

모의 분석 결과는 사격효과도를 증가시키기 위해 화포 오차 감소 외에도 대포병탐지레이더의 관측오차 감소가 필요한 것을 보여준다. 최근 사격효과도 증가를 위해 화포 오차를 감소할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 이 경우 적정 사격효과도를 달성하기 위해서는 대포병탐지레이더의 관측오차를 고려한 추가적인 분석이 필요한 것을 본 연구를 통해 알 수 있었다. 그리고 대포병탐지레이더와 화포의 정확도를 개선할 수 없는 경우에는 화포를 운영하는 방법에 따라 사격효과도를 개선할 수 있으므로 표적을 획득하였을 때 어떤 타격 수단을 쓸지, 타격 수단에 따른 표적 분배, 사격 방법 등의 교리에 대해 정량적인 분석과 발전이 필요한 것을 확인하였다.

본 논문에서 사용된 방법론과 결과는 추후 대포병탐지

레이더를 신규 개발하거나 현재 보유한 체계의 성능개량 시 관측오차 요구성능에 대한 정량적 분석 수행에 활용될 것으로 기대된다. 그리고 군에서 설정하고 있는 현재 및 미래의 작전 개념, 화력 무기체계, 화력 무기체계 운용 계획 등에 따라 요구되는 미래 대포병탐지레이더 허용 관측오차를 산출하는 데에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 산업계에서는 이와 같은 허용 관측오차 결과를 바탕으로 대포병탐지레이더의 요구되는 크기, 전력, 주파수 대역 등을 분석하고 현재 무기체계의 성능개량 및 추후 신규 무기체계의 개발에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구를 발전시키기 위해서는 다음과 같은 사항의 추가 분석이 필요하다. 우선 현재 분석 결과는 대포병탐지레이더와 화포의 오차를 원형 정규분포를 가정하여 도출되었으나, 대포병탐지레이더와 화포의 오차는 원형이 아니라 편이상 오차와 사거리 오차가 차이가 있는 타원형을 가지므로 이를 반영한 모의 분석 수행이 필요하다. 두 번째로, 실제 전시 상황에서 적은 화포를 사격하고 이동한다. 그러므로 표적 확인 후 사격까지의 대응 시간과 사격 이후 낙탄까지 발생하는 시간을 고려하여 적이 이동하는 것을 적용한 사격효과도 분석을 수행한다면 실제에 좀 더 가까운 사격효과도를 산출할 수 있을 것이다. 그리고, 본 논문에서는 6개의 적 위치를 고도를 무시하고 무작위로 배치하였으나, 실제 적의 위치를 적용하여 고도차와 분포를 적용하여 발전시킬 필요가 있다. 실제 북한은 화포를 보호하기 위해 지하갱도와 동굴 진지를 구축하고 있으므로 이를 모의 분석 모델에 반영한 연구 수행이 필요하다. 마지막으로 모의 분석을 통한 예측 결과에 대한 실증이 필요하다. 연구에서는 많은 부분을 실제보다 단순화하여 모의 분석을 수행하였으므로 결과의 신뢰성을 담보하기 위해서는 실증이 필요하다. 이를 위해서는 소요군이 훈련기간에 현재 운영 중인 대포병탐지레이더와 화포를 통해 각각 표적에 대한 오차와 사격효과도를 측정하여 데이터를 축적해야 한다. 훈련 결과를 바탕으로 현재 모의 분석을 통해 얻은 결과와 비교하여 모의 분석 과정을 보완하는 등의 신뢰도를 높이기 위한 추가 작업을 수행해야 한다. 이와 같은 추가적인 모의 분석과 실증을 바탕으로 보완작업을 수행한다면 실제에 가까운 사격효과도 결과를 산출할 수 있고, 이는 대포병탐지레이더와 화포 등 무기체계의 작전운용성능 설정과 운영교리 연구 및 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Cheul-Han Kim, Hyun-Jin Han (2015), "Determining effect of Target Location Error on the Field Artillery Fire", *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, Vol. 41, No. 2, pp. 9-17.
- (김철한, 한현진 (2015), "표적 위치오차가 포병사격 효과에 미치는 영향", *한국국방경영분석학회지*, 제41권 제2호, pp. 9-17.)
- D. Sean Barnett, Yvonne K. Crane, Gian Gentile, Timothy M. Bonds, Dan Madden, Katherine Pfrommer (2020), "North Korean Conventional Artillery", *RAND*, RR-A619-1, pp. 1-19.
- Hojun Kim, "Army: 'North Korea Provokes with Artillery Fire Twice at 3:53 PM and 4:12 PM' (Comprehensive)", *Yeonhap News*, 2018. 8. 20.
- (김호준 "軍 '北 오후 3시 53분, 4시 12분 두차례 화력 도발'(종합)", *연합뉴스*, 2015년 8월 20일)
- Janghyung Lee, Byunggyu Choi (2008), "Research on Target Processing for Efficient Artillery Fire", 2008 Korean Institute of Industrial Engineers Fall Academic Conference Proceeding, pp. 1089-1094.
- (이상형, 최병규 (2008), "효율적인 포병 사격을 위한 표적처리에 대한 연구", 2008년 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1089-1094.)
- Kyuyong Shin, Myungho Oh, Youngsoo Lee, Naeho Shin, Doohyung Kim (2011), "The Influence Analysis of Geodetic Accuracy on Artillery Fire", *Korean Journal of Military Arts and Science*, Vol. 67, No. 2, pp. 319-34.
- (신규용, 오명호, 이영수, 신내호, 김두형 (2011), "측지정확도가 포병사격에 미치는 영향분석", *한국군사학논집*, 제67권, 제2호, pp. 319-344.)
- Minsung Park, Kyungssso Kim (2021), "Way to Calculate the Accuracy of Artillery Fire to Achieve the Required Damage Rate", *Journal of Military Science and Technology Studies*, Vol. 14, No. 2, pp. 23-32.
- (박민성, 김경수 (2021), "목표 피해를 달성을 위한 포탄 정확도 산출방안", *군사과학연구*, 제14권 제2호, pp. 23-32.)
- SeungRyul Lee (2020), "The Robust Artillery Locating Radar Deployment Model Against Enemy's Attack Scenarios", *Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering*, Vol 43, No. 4, pp. 217-228.
- (이승률, 이문걸 (2020), "적 공격시나리오 기반 대포병 표적탐지레이더 배치모형", *산업경영시스템학회지*, 제43권, 제4호, pp. 217-228.)
- Shin Sung Kang, Jae Yeong Lee (2010), "An Analysis of the Operational Effectiveness of Target Acquisition Radar", *Journal of The Korea Society for Simulation*, Vol. 19, No. 2, pp. 63-72.
- (강신성, 이재영 (2010), "포병 표적탐지 레이더 운용의 계량적 효과 분석", *한국시뮬레이션학회 논문지*, 제19권, 제2호, pp. 63-72.)
- Sung-Jin Park, Hyung-Seuk Jin (2020), "Classification Type of Weapon Using Artificial Intelligence for Counter-Battery Radar", *j.inst.Korean.electr. electron. eng.*, Vol. 24, No. 4, pp. 1-10.
- (박성진, 진형석 (2020), "인공지능을 이용한 대포병 탐지레이더의 탄종 식별", *전기전자학회논문지*, 제24권, 제4호, pp. 1-10.)
- US Army(2016) "Field Artillery Manual Cannon Gunnery", US Army, pp. 6-1~9-38.
- Wonbyung Kim, Yeonyeop Lee (2018), "Retrospective on the South Korean Military's Artillery Radar Detection Project (Part I)", *Korea Defense Industry Association Defense and Technology*, Vol. 472, pp. 46-65.
- (김원병, 이연엽 (2018a), "한국군 대포병탐지레이더 사업 회고(I)", *한국방위산업진흥회 국방과 기술*, 제472호, pp. 46-65.)
- Wonbyung Kim, Yeonyeop Lee (2018), "Retrospective on the South Korean Military's Artillery Radar Detection Project (Part II)", *Korea Defense Industry Association Defense and Technology*, Vol. 473, pp. 90-105.
- (김원병, 이연엽 (2018b), "한국군 대포병탐지레이더 사업 회고(II)", *한국방위산업진흥회 국방과 기술*, 제473호, pp. 90-105.)
- Younggeun Park, Sunghan Park, Jongbok Park (2021), "Introduction to the Domestic and International Development Status of Artillery Detection Radar and Suggestions for Future Advancement of Artillery Detection Radar", *Korea Defense Industry Association Defense and Technology*, Vol. 507, pp.

90-105.

(박영근, 박성한, 박종복 (2021), “대포병탐지레이더 국내·외 개발현황 소개 및 미래 대포병탐지레이더 발전방향 제시”, 한국방위산업진흥회 국방과 기술, 제507호, pp. 76-85.)

Janghyung Lee, Byunggyu Choi (2008), “Research on

Target Processing for Efficient Artillery Fire”, 2008 Korean Institute of Industrial Engineers Fall Academic Conference Proceeding, pp. 1089-1094.

(이장형, 최병규 (2008), “효율적인 포병 사격을 위한 표적처리에 대한 연구”, 2008년 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1089-1094.)



김 병 주 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1847-6376> / bjkim@kida.re.kr)

2006 서울대학교 공과대학 전기공학부 학사

2008 서울대학교 공과대학 전기공학부 석사

2012 미국 Georgia Institute of Technology, Management, MS

2021 고려대학교 과학기술학 협동과정 과학관리학 박사과정 수료

2015~ 현재 한국국방연구원 선임연구원

관심분야 : 비용분석, 효과도분석, 모델링&시뮬레이션, 무기체계, 항공 수송, 레이저 무기체계