

# FASCAM을 이용한 적 진지 지역 화력 억제 분석 절차 연구

김태구<sup>\*1)</sup> · 서성철<sup>2)</sup> · 정경원<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 한밭대학교 산업경영공학과

<sup>2)</sup> 합동참모본부 분석실험실

## Analysis Procedure for Fire Power Suppression on Enemy Artillery Base Using FASCAM

Taegu Kim<sup>\*1)</sup> · Sungchul Suh<sup>2)</sup> · Gyungwon Jung<sup>2)</sup>

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

<sup>2)</sup> Analysis and Experimentation Directorate, Joint Chiefs of Staff, Korea

(Received 22 July 2015 / Revised 12 October 2015 / Accepted 27 November 2015)

### ABSTRACT

FASCAM is a newly introduced mean against enemy fire power and supposed to be scattered on base areas in front of a tunnel so as to deter maneuver and shooting of enemy artilleries. However, for its characteristics different from conventional munitions, only a few studies have been undertaken on operations system using this new measure. In this research, we propose a procedure to describe and analyze mathematically an operation system for suppression of enemy fire power using FASCAM. Two suggested simulation methods, impact point generation and density integration, both can describe the actual operation rationally and each has advantages of its own respectively. Further, we demonstrated an example analysis to derive an optimal suppression plan based on the proposed procedure.

Key Words : FASCAM(지뢰살포탄), 시뮬레이션, 화력억제, 장사정포, 갯도포병

### 1. 서론

장기간에 걸친 북한과의 대치 상황에서 우리나라의 안보를 위협하는 여러 요소 중 하나로 꼽히는 것은 적의 장사정포이다. 야포와 방사포를 합쳐 1만 4천 여

문에 달하는 것으로 알려진<sup>[1]</sup> 북한의 장사정포는 군사분계선 근처에 밀집 배치되어 수도권을 사정거리에 두고 있으며, 이를 바탕으로 서울 불바다 발언과 같은 위협은 물론 연평도 포격사건과 같은 실질적 위해를 가하고 있다<sup>[2,3]</sup>.

특히 북한군은 이러한 장비를 갯도 및 유개호를 통해 보호하며 사격 시에만 진지 지역으로 진출하여 운용하는 방식을 택하고 있다<sup>[4,5]</sup>. 이러한 운용 방식은 연

\* Corresponding author, E-mail: taegu.kim@hanbat.ac.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

평도 포격사건에서도 확인할 수 있으며<sup>12)</sup>, 그에 따라 아군의 대응 사격의 효과가 감소되는 측면이 있다.

이와 같은 북한의 위협에 대한 한국군은 선진화된 무기체계의 도입 및 개발을 통해 대응해 나가고 있으며, 그 결과 K9 자주포와 같은 최신 무기체계의 최전방 배치는 물론 수출을 달성하는 성과를 거두고 있다<sup>16)</sup>. 그러나, 앞서 언급한 갱도 진지에 대한 한계점 때문에 직접적인 표적에 대한 타격이 아닌 다른 지원 수단을 이용하는 것 역시 고려할 필요성이 대두되고 있다<sup>17,18)</sup>.

본 연구에서는 표적에 대한 직접 타격이 아닌 간접적으로 적의 운용을 방해할 수 있는 수단인 FASCAM을 활용한 적 진지 지역에 대한 화력 억제 효과를 분석하고자 한다. FASCAM(Family of Scatterable Mines)은 1970년대에 미군에서 도입 및 활용이 시작된 탄종 분류에 대한 명칭으로서, 곡사포나 로켓, 혹은 비행체에 탑재되어 투발된 후 자탄 확산을 통해 일정 지역에 지뢰를 부설 하는 수단이다<sup>19)</sup>. 미군의 FASCAM 체계는 155mm 곡사포에 의해 투발되는 대전차용 RAAM(Remote Anti-Armor Mine System)과 대인용 ADAM(Area Denial Artillery Munition) 및 공중 살포탄인 GATOR mine system 등을 포함한다<sup>10)</sup>.

한국군 포병에서는 RAAM 계열인 M718(장자폭), M741(단자폭) 탄과 ADAM 계열인 M692(장자폭), M731(단자폭) 탄을 155mm 곡사포를 이용해 운용 중에 있으며<sup>11)</sup>, 특히 1997년부터 시작된 대전차지뢰탄(RAAMS)의 국산화 사업이 2008년에 양산을 통해 결실을 맺어 전방 배치가 이루어지고 있다<sup>12)</sup>.

본 연구에서는 RAAM 계열 탄을 이용하여 적 장사정포의 위협을 억제하는 방안을 묘사하고자 하였다. 그에 따라 선정된 분석 대상 탄종은 장자폭 M718 탄으로서, M70 대전차지뢰 9발을 포함하고 있다. 살포된 지뢰는 전자 자기감응식 신관을 통해 전차나 장갑차 등에 반응하여 폭발한다. 기폭된 지뢰 자탄은 호형작약(Plate Charge) 방식으로 표적 하부를 관통한다. 또한 장자폭으로 설정된 지뢰의 경우 살포 시점으로부터 48시간 후에는 자폭하게 된다<sup>11)</sup>. 또한 살포된 지뢰가 지표 상에 노출되는 단점을 극복하기 위하여 전체 살포 자탄 중 일부는 항제거 장치를 포함하고 있다.

FASCAM은 기존 대전차지뢰에 비하여 살포하는데 인원과 시간이 크게 절약되고, 거리, 기상 및 장소에 관계없이 살포가 가능하다는 장점을 가진다<sup>13)</sup>. 그에 따라 FASCAM의 국산화 이전부터 이미 직접 타격이

어려운 적 표적에 대해 유용한 대안으로 고려되기도 하였다<sup>14)</sup>.

반면, FASCAM은 공중에서 자탄을 살포하는 형태의 탄종으로서, 일정 이상의 고밀도 살포가 어렵다는 한계가 존재한다. 따라서 이를 위해서는 다수의 포대가 하나의 적 진지 지역을 향해 일제 사격을 통해 동시에 다수의 지뢰를 살포해야 할 필요성이 있다.

이러한 FASCAM의 유용성에도 불구하고 그 특성을 고려한 효과적인 운용 방식은 아직 분석되지 못하고 있다. 이와 같이 새로운 무기체계 혹은 탄종에 대한 효과를 분석하는데 있어서 흔히 발생하는 제한 사항은 그 특수성과 도입 수량을 고려할 때 충분한 실제 사격 연습 결과가 활용되기 어렵다는 것이다. 이러한 경우 시뮬레이션 방법론을 통한 효과분석이 훌륭한 대안이 될 수 있다는 것이 제안된 바 있으며<sup>15)</sup>, 실제 다양한 연구들을 통해 여러 무기체계 및 표적을 대상으로 분석 사례가 생산된 바 있다<sup>15-17)</sup>.

따라서 본 연구에서는 적 장사정포 진지에 대한 FASCAM의 효과적인 운용방안을 분석하기 위한 시뮬레이션 절차를 제안하고자 하였다. FASCAM과 그 투발 수단의 특성을 고려하여 적 진지 지역에 대한 화력 억제 효과를 수리적 모형을 통해 묘사하고, 이를 기반으로 다양한 대안을 평가할 수 있는 M&S 분석 절차를 제안한다. 더 나아가서는 몇 가지 가정을 기반으로 FASCAM을 통해 화력 억제를 달성하기 위한 방안을 사례 연구를 통해 살펴봄으로써 제안된 절차 및 방법론의 실질적 효용을 뒷받침할 것이다.

본 연구는 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 분석 절차 및 방법을 제안하였으며, 3장에서는 제안된 절차에 대한 비교분석 및 실제 분석 사례를 제시하였다. 마지막으로 4장에서는 전체 연구의 의의를 결론짓고 추후 연구방향을 제시하였다.

## 2. 분석 방법 및 절차

### 2.1 연구 대상

본 연구에서는 FASCAM을 이용한 적 진지 영역의 화력 억제를 수리적으로 모형화 하였다. 앞서 살펴본 바와 같이, 적 장사정포는 갱도 및 유개호에서 아군의 포병 사격으로부터 안전한 상태에서 준비를 마친 후, 사격을 위해 해당 진지로 나와 포격을 실시한 후 돌아가게 된다. 따라서 FASCAM의 운용 목적은 해당

진지 지역에 대전차지뢰를 살포하여 장사정포의 화력 운용을 억제하는 것이 된다.

이때 FASCAM을 살포하기 위한 수단으로는 KH 179 155mm 견인포가 선정되었다. KH 179 견인포는 K55 및 K9 자주포의 전방 배치로 인해 대화력전의 주요 무기체계로서의 임무에서는 제외된 상태이나, 여전히 다수가 운용중인 무기체계로서 FASCAM 탄의 개발 이후 FASCAM을 탑재, 발사하는 역할 또한 담당하고 있다. 따라서, FASCAM에 포함된 대전차 지뢰의 탄착군은 무기체계인 KH 179와 탄약인 FASCAM 모탄 및 살포되는 지뢰인 자탄의 특성이 결합된 전달정확도에 따라 결정된다. KH 179 HE탄의 사표 자료를 모탄의 전달정확도로 적용하고, FASCAM 실사격 시험자료를 자탄의 전달정확도로 사용하였다. 이때, 자탄의 전달정확도는 실사격 자료를 바탕으로 대략적인 근사치를 작성한 것으로서, 합동참모본부 분석실험실의 분석 결과에 기초하고 있다.

Table 1. Delivery accuracy of FASCAM

	REP(m)	DEP(m)	수
모탄	56	18	1
자탄	40	28	9

Contents are notional data for security issue.

위의 Table 1에 사거리 17km를 기준으로 한 FASCAM 탄의 전달정확도를 정리하였다. 일반적인 탄의 탄착분포와 마찬가지로, FASCAM의 경우 역시 사거리 방향의 공산오차가 편방향에 비해 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 적 진지 영역

실험에서 상정하고 있는 적 진지 영역은 경도 및 유효고 근방에 위치한 가로 세로가 각각 200m인 정방형 영역이다. 해당 영역은 다음 그림과 같이 포탄의 사거리 방향에 대하여 수직 방향으로 펼쳐져 있다고 가정한다. 또한 여러 탐지 자산을 활용하여 해당 진지 영역의 정확한 위치가 식별되어 있는 상황으로서 앞으로 실험에서 설정한 조준점은 실제 진지 영역에서도 원하는 위치에 대응된다고 보았다. 즉, 다시 말해 표적 위치오차(Target Location Error: TLE)가 없는 상황을 전제로 하였다.

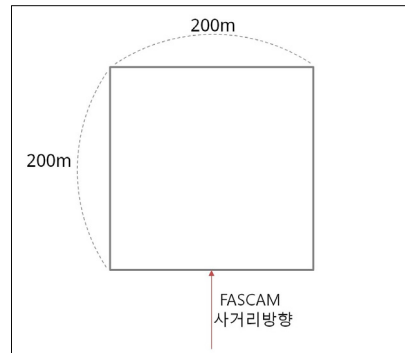


Fig. 1. Enemy base area

이때 적 진지 영역에 대한 화력 억제는 다음과 같이 정의한다. 일정 밀도 이상으로 지뢰가 살포된 지역에서는 적의 장사정포가 공격을 위한 기동 및 방열이 불가능하다고 가정한다. 본 연구에서는 고밀도 살포를 의미하는  $0.004\text{발}/\text{m}^2$ 의 밀도를 기준으로 하였다<sup>[11]</sup>. 따라서, 전체 적 진지 영역에서 지뢰가 고밀도로 분포하는 영역의 비율만큼을 FASCAM의 화력 억제 능력 혹은 탄착률로 정의하였다.

최종적으로는 전체 영역에 대하여 일정 이상의 억제율을 달성하게 되면, 표적 화력 부대가 정상적으로 화포를 운용할 수 없다고 보았다. 이때 기준이 되는 억제율은 80%로 설정하였다.

### 2.2.2 탄착점 생성 방식

FASCAM이 적 진지 영역에 탄착되는 정도를 평가하기 위한 하나의 방법은 실제 사격 후 탄착되는 과정을 수리적으로 묘사하는 것이다. 각 지뢰의 탄착 지점을 확률적으로 시뮬레이션 하여 구한 후, 격자 형태로 나뉘어진 진지 영역의 각 지점에 대하여 지뢰 탄착 수를 구하여 고밀도 살포 달성 여부를 판단하게 된다.

진지 영역을 격자 구역으로 나눌 때, 고밀도 살포 기준인  $0.004\text{발}/\text{m}^2$ 을 반영하기 위하여 한 번이 15.8114m 인 정사각형을 기본 격자로 정의한다. 이렇게 하면, 각 격자에 한 개 이상의 지뢰가 탄착되는 경우 고밀도 조건을 만족하게 된다. 이와 같은 정의에 따라 구획된 진지 영역을 다음 Fig. 2와 같이 묘사하였다.

진지 영역의 가로 세로 길이가 200m이고 격자의 크기가 15.8114m이기 때문에 상하좌우의 네 변에는  $15.8114\text{m} \times 5.1316\text{m}$  크기의 직사각형 형태의 격자가 남는다. 또한 네 꼭지점 부분에는 5.1316m를 한 번으로 하는 작은 정방형의 격자가 4개 생긴다.

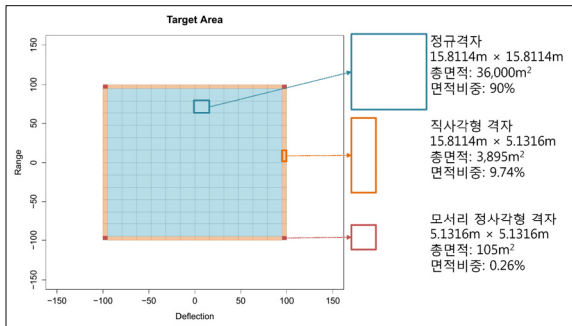


Fig. 2. Lattice grid of enemy base

다음 단계는 탄착지점을 생성하는 것이다. 사거리와 편향의 방향 공산오차가 주어진 경우, 탄착지점은 사거리 방향과 편향의 방향으로 각각 다음과 같은 표준편차를 갖는 이변량 정규분포를 따르게 된다.

$$\sigma_x = DEP / N^{-1}(0.75) = DEP / 0.6744898$$

$$\sigma_y = REP / 0.6744898 \tag{1}$$

이때  $x$ 는 편향의 방향,  $y$ 는 사거리 방향을 의미하며,  $N^{-1}$ 은 누적 표준 정규분포 역함수이다. 이제 탄착지점은 공분산이 0인 이변량 정규분포를 따르는 확률분포를 통해 난수 발생시킬 수 있다. 위 식을 통해 구한 모탄 및 자탄에 대한 정규분포 표준편차는 다음과 같다.

Table 2. Standard deviation of FASCAM

	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)
모탄	26.7	83.0
자탄	41.5	59.3

Contents are notional data for security issue.

이제 이를 이용하여 실제 탄이 탄착되는 과정을 모형화 하는 것을 사례를 통해 살펴보자. 우선 모탄의 탄착군은 다음과 같이 나타난다.

Fig. 3은 적 진지 영역의 중점(적색 표시 지점)을 향해 25발의 모탄을 발사한 결과이다. 사거리 공산오차가 편향의 공산오차에 비해 상당히 크다는 점 때문에 실제 분포 역시 좌우가 아닌 가운데 부분에 집중되어 있다.

다음으로는 각 모탄의 탄착 지점을 중심으로 9개의

자탄이 분산된 결과를 표시한다. 다시 말해서, 모탄의 탄착 지점을 분포의 평균값으로 하여 위에서 구한 표준편차를 갖는 이변량 정규분포에 따라 난수를 발생시킨다.

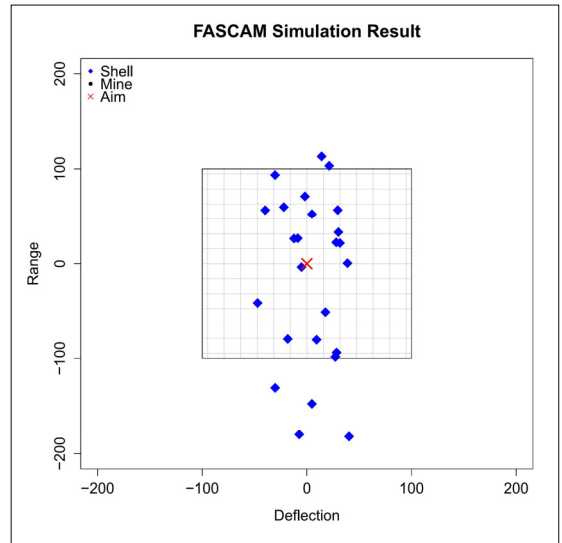


Fig. 3. Impact pattern of FASCAM shells

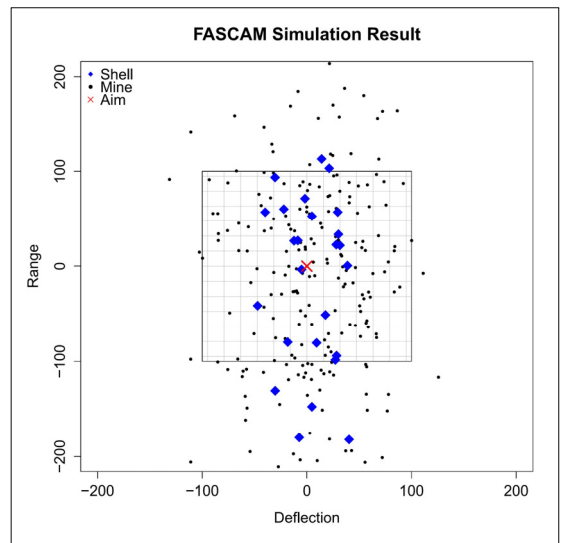


Fig. 4. Impact pattern of mines

위 Fig. 4에 자탄의 탄착 형태를 나타내었다. 자탄은 각 모탄으로부터 확산되기 때문에 전체적으로 모탄의 분포 영역을 바깥으로 확장한 형태가 된다.

이제 각 격자를 살펴 그 격자 안에 자탄(지뢰)이 하나 이상 존재하는지를 체크하게 된다.

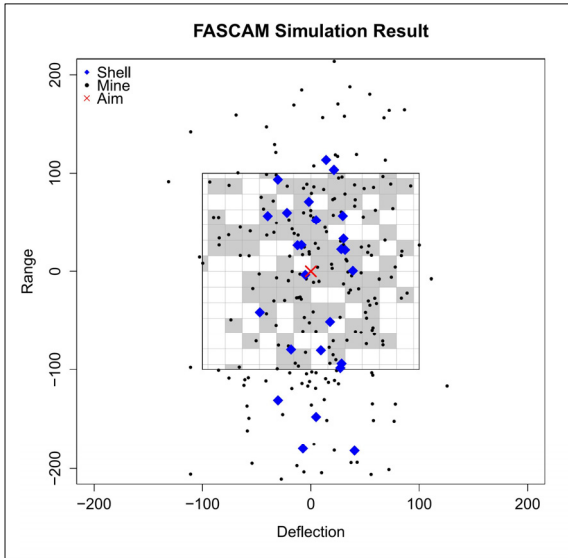


Fig. 5. Result of impact on lattice cells

위 Fig. 5에서 지뢰가 탄착된 영역은 진회색으로 표시되었다. 이제 전체 격자의 수에 대하여 고밀도가 달성된 격자의 수를 구하여 그 비율을 통해 적 화력에 대한 억제율을 평가할 수 있다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이, 네 변과 모서리의 경우 격자의 크기가 작아 탄착될 확률이 적어진다. 이러한 차이를 보정하기 위하여, 같은 크기의 격자들(정상 크기, 직사각형 형태, 작은 정사각형)을 그룹지은 후 각 그룹에 대하여 우선 각각의 억제율을 먼저 계산한다. 다음으로, 각 격자 그룹이 전체 진지 영역에서 차지하고 있는 면적 비중을 각각의 억제율에 곱하여 더한 가중합으로 최종적인 억제율을 구하게 된다.

$$\begin{aligned}
 \text{억제율} = & \text{정규격자면적비중}(90\%) \times \frac{\text{탄착격자수}}{\text{정규격자수}} \\
 & + \text{직사각형격자면적비중}(9.7\%) \times \frac{\text{탄착격자수}}{\text{직사각형격자수}} \quad (2) \\
 & + \text{모서리격자면적비중}(0.3\%) \times \frac{\text{탄착격자수}}{\text{모서리격자수}}
 \end{aligned}$$

위 그림에 표현된 탄착 예시를 기준으로 위 절차를 적용하여 구한 억제율은 51.42%가 된다. 다시 말해 전체 진지 영역의 약 절반 정도를 화력 운용이 불가

능하게끔 억제하는데 성공했다는 의미가 된다.

다만, 위 예시는 한 번의 실행 결과로서, 난수 발생의 특성에 따라 매번 탄착 분포를 생성할 때 마다 결과값은 조금씩 다를 수 있다. 이러한 편차를 극복하기 위하여 본 연구에서는 1000회를 반복하여 그 평균값을 통해 억제율을 구하도록 하였다.

### 2.2.3 적분 방식

적분 방식은 모탄과 자탄의 공산오차를 고려하여 최종적으로 평면상에 분포하게 되는 지뢰의 확률 분포를 이용하는 방식이다. 일반적으로 독립인 두 정규 분포가 더해질 경우, 합성된 확률 변수는 다음과 같은 성질을 갖는다.

$$\begin{aligned}
 A & \sim N(\mu_A, \sigma_A^2) \\
 B & \sim N(\mu_B, \sigma_B^2) \\
 A + B & \sim N(\mu_A + \mu_B, \sigma_A^2 + \sigma_B^2), \sigma_{AB} = 0
 \end{aligned} \quad (3)$$

본 연구에서는 탄착점의 분포를 이변량 정규분포로 정의하였으나, 사거리 방향과 편 방향이 서로 독립적이라는 가정이 있으므로 각각의 축에 대해서는 정규분포의 합성과 같은 결과를 갖는다. 예를 들어, 본 연구에서 가정하고 있는 모탄과 자탄의 공산오차를 함께 고려할 경우 살포된 지뢰의 사거리 방향과 편 방향의 표준편차는 각각  $\sqrt{83.0^2 + 59.3^2} = 102.03\text{m}$ ,  $\sqrt{26.7^2 + 41.5^2} = 49.35\text{m}$ 가 된다. 따라서 지뢰의 분포  $(X, Y)$ 는 다음과 같은 수식을 통해 이변량 정규분포의 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Range} : Y & \sim N(0, 102.03^2) \\
 \text{Deflection} : X & \sim N(0, 49.35^2) \\
 (X, Y) & \sim N(\mu, \Sigma),
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{단 } \mu = (0 \ 0), \quad \Sigma = \begin{pmatrix} 49.35^2 & 0 \\ 0 & 102.03^2 \end{pmatrix}$$

이제 평면의 각 지점에서 지뢰의 분포는 일반적으로 다음 Fig. 6과 같은 3차원의 종형 함수로 표현된다.

이때 평면의 특정 영역에 존재하는 지뢰의 양은 종형 함수의 일부를 직사각형의 기둥으로 잘라 그 부피를 구하는 부분 적분의 과정에 해당한다. 본 연구에서는 정밀성을 높이기 위하여 전체 적 진지 영역을 한

변이 0.1m인 정사각형의 격자로 구분하였다. 따라서 한 격자 내의 지뢰 수는 밀도 함수의 값, 즉 직사각형 기둥의 높이와 밑변의 넓이를 통해 구할 수 있다. 이때, 정확성을 위해 기둥의 높이는 네 꼭지점에서 구한 후 평균값을 사용하였다.

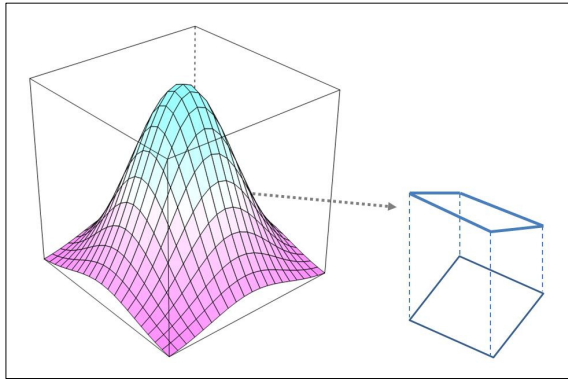


Fig. 6. Density function of a mine and partial integration area

이제 이 과정을 앞서 살펴본 탄착점 생성 방식의 예제에 적용하면 다음과 같은 결과를 얻는다. 다음 그림은 진지 영역의 중앙을 조준하여 모탄 25발을 발포한 결과이다. 다시 말해서 지뢰의 총 수는 225발이 되므로, 밀도 함수를 통해 구한 값에 225배를 한 결과가 각 격자에 존재하는 지뢰의 평균 기대치가 되며, 이를 격자의 면적 0.01m<sup>2</sup>로 나눈 것이 해당 격자의 밀도 값이다.

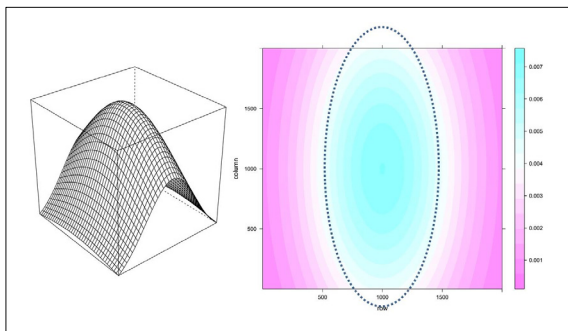


Fig. 7. Density of mines on each cell

위 그림 Fig. 7에 나타난 결과는 탄착점 생성 방식의 예와 마찬가지로 사거리 방향을 따라 가운데 부분에서 높은 밀도를 보인다. 오른쪽에 색 온도를 통해 표현된

형태를 통해 평면 상의 분포를 확인할 수 있으며, 고밀도 기준인 0.004개/m<sup>2</sup>를 만족하는 영역이 점선으로 표시된 바와 같이 타원형 형태임을 알 수 있다.

최종적으로 고밀도 기준을 만족하는 타원 영역 면적의 전체 표적 영역 면적에 대한 비율이 억제율이 된다. 위 예시에서 구한 억제율은 45.39%로서, 탄착점 생성 방식의 결과값과는 다소 차이가 있다. 그러나, 탄착점 생성 방식이 난수 발생을 통해 탄착점을 새로이 생성할 때 마다 그 결과가 달라지는 것과 달리, 적분 방식에서는 한 번에 단일한 계산 결과를 얻는다.

### 3. 실험 결과

전체 실험은 두 가지 측면에서 이루어졌다. 첫 번째는 앞서 제안된 두 가지 시뮬레이션 방식에 대한 비교이며, 두 번째는 제안된 방식을 이용하여 실제적인 효과 분석 사례를 생산하는 것이다.

#### 3.1 시뮬레이션 방식 비교

3장에서 제안된 두 가지 시뮬레이션 방식인 탄착점 생성 방식과 적분 방식의 여러 특성을 비교하기 위한 실험을 진행하였다. 특성은 크게 결과값인 억제율의 계산 결과와 계산 성능에 해당하는 계산 속도의 두 가지 측면이 고려되었다.

##### 3.1.1 계산 결과 비교

억제율의 계산 결과를 비교하기 위하여 다음과 같은 상황을 가정하였다.

Table 3. Experiment setting for comparison of calculation result

항목	설정값
모탄의 수	10 ~ 200발
조준점 위치	(0,0)
탄착점 생성 방식의 반복 횟수	1000회
적분 방식의 격자 크기	0.2m × 0.2m

결과적으로, 표적 영역의 가운데로 설정된 조준점을 향해1발에서 200발까지의 FASCAM탄을 발사하는 각각의 경우에 대해 억제율을 계산하였다.

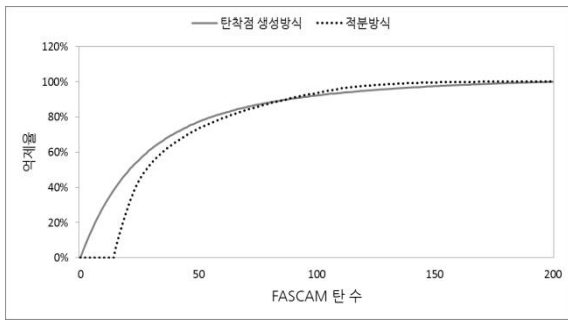


Fig. 8. Calculation results across methods

Fig. 8의 그래프 형태를 살펴보면, 발사되는 FASCAM의 수가 증가함에 따라 두 가지 방법의 결과값이 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 비교적 적은 수의 FASCAM에 대해서는 각 방법에 따른 억제율 간 편차가 존재하는데, 이는 다음과 같은 해석이 가능하다.

적분 방식은 이산적인 지뢰를 연속적인 값으로 확률 밀도에 따라 전체 영역에 퍼뜨리는 것과 같은 개념을 갖는다. 이러한 방식은 전달정확도에 따라 획득된 이변량 정규분포의 성질을 가장 완전히 반영하는 방식이다. 반면, 탄착점 생성 방식의 경우 하나의 지뢰가 한 번이 15.8114m인 정사각형에 대해 억제력을 가진다고 가정하는 방식이다.

이러한 개념 상의 차이는 특히 지뢰의 수가 아주 작을 때 크게 두드러진다. 위 그래프에서 나타난 예의 경우 14발 이하의 모탄 수에 대해서는 지뢰가 기준 밀도 이상으로 존재하는 지점은 평면상에 전혀 존재하지 않는다. 따라서 적분 방식에서는 억제율이 0이 된다. 그러나 탄착점 생성 방식에서는 분명 어딘가에는 자탄이 탄착하게 되고, 그에 따라 억제가 이루어진 격자가 최소 수 개 이상 나타난다.

그러나 두 방식 중 어느 것이 더 현실을 정확히 반영하는지는 간단히 결론짓기 어렵다. 15.8114m가 한 변인 커다란 정사각형 영역에 하나의 지뢰가 있는 경우, 주변의 다른 영역에 지뢰가 없다면 현실적으로는 적 장사정포가 이를 우회해서 기동하는 것이 가능하다. 다른 한 편으로, 적분 영역에서 가정하는 것처럼 일정 수 이하에서는 전혀 억제된 영역이 존재하지 않는다고 보는 것도 비현실적이다. 결국 이를 완전히 해소하기 위해서는 지뢰에 대해 장갑차 혹은 다련장포 등의 아군 무기체계가 제약을 받는 방식 및 제약 정도를 세부적으로 정의하고 그에 따른 억제 기준을 확립하는 것이 필요하다.

다만, 위의 논의는 본 연구가 다루고 있는 범위를 넘어서는 것이다. 다행스럽게도 현실적인 억제 목표에 해당하는 높은 억제율 영역에서 두 방식의 결과값이 거의 일치하고 있기 때문에 실제 분석에 적용하는데 있어서는 제한 사항이 되지 않는다.

### 3.1.2 계산 속도 비교

시뮬레이션 실험의 장점 중 하나는 시간과 비용을 절약할 수 있다는 것이다. 이를 위해서는 빠른 계산 속도가 필요하다. 일반적으로 시뮬레이션을 통한 연산은 요구되는 정밀도가 증가함에 따라 소요 시간 역시 증가하는 경향이 있다. 탄착점 생성 방식에서는 정밀도가 반복 횟수에 의해 결정되며, 적분 방식에서는 격자 크기의 감소가 정밀도를 향상시키는 방법이 된다.

우선 탄착점 생성 방식의 반복 횟수 별 결과값 추이를 살펴보았다. 아래 그래프는 한 세트를 1000회 반복으로 하여 총 1000세트, 즉 100만 번을 반복한 결과이다. 조준점의 수는 앞서 살펴본 예와 같이 1개로 하였으며, 발사된 모탄의 수는 50개이다. 계산시간은 Intel i7-4770(3.4Ghz)의 CPU를 이용하여 통계 프로그램 R 3.1.1 version<sup>[16]</sup>을 실행시킨 결과를 통해 측정되었다.

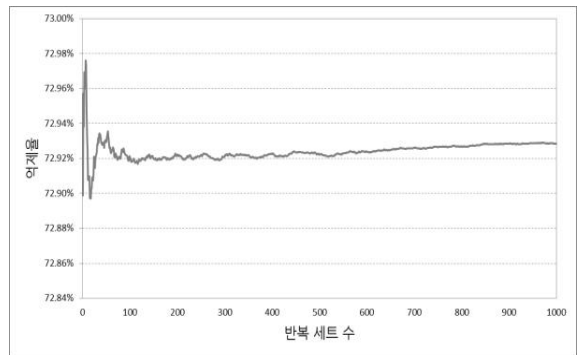


Fig. 9. Calculation result trend along the repetition size based on impact production method

Fig. 9에서 나타나듯이 반복 횟수가 증가함에 따라 결과값은 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보인다. 그러나 100세트, 즉 10만 번을 반복하여 얻는 값은 최종 수렴치와는 상당한 차이를 보인다. 1만 번의 반복 수행을 위해 소요된 시간은 약 35.93초로서, 상당히 긴 시간이다. 또한 0.01% 단위에서의 수렴이 이루어진 것은 653세트 즉 60만번 이상을 반복한 이후로, 이는 234초 이상의 계산 시간을 요구한다.

또한 탄착점 생성 방식은 위치를 계산해야 하는 탄의 수에 비례하여 계산 시간이 길어지게 된다. 그 정도를 알아보기 위하여 반복 횟수를 1000회로 고정시킨 상태에서 탄의 수를 증가시키며 계산 시간을 알아 보았다.

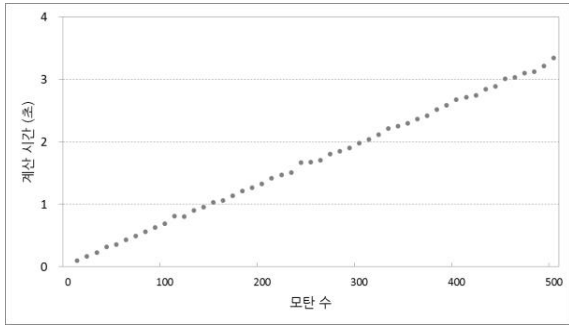


Fig. 10. Computation time trend along number of shells based on impact production method

Fig. 10은 모탄 수가 증가함에 따라 소요 시간이 선형으로 증가한다는 것을 보여준다. 모탄이 100개일 때에는 계산시간이 0.43초 정도이지만, 400발의 FASCAM을 발사하는 경우에는 2.67초 정도 소요된다. 따라서 정밀도를 높이기 위해 반복횟수를 10배인 1만 회로 증가시킬 경우 27초가 필요하게 된다.

적분 방식은 탄착점의 수를 고려하지 않으므로 모탄의 수는 계산 속도에 영향을 주지 않는다. 다만 표적 영역을 분할하는 격자의 크기 단위가 결과의 정밀도와 계산 시간을 결정하게 된다. 탄착점 생성 방식과 마찬가지로 1개의 조준점에 50발의 FASCAM을 나눠 쏜 경우를 상정하여 격자 크기에 따른 결과값과 계산 시간의 추이를 살펴보았다.

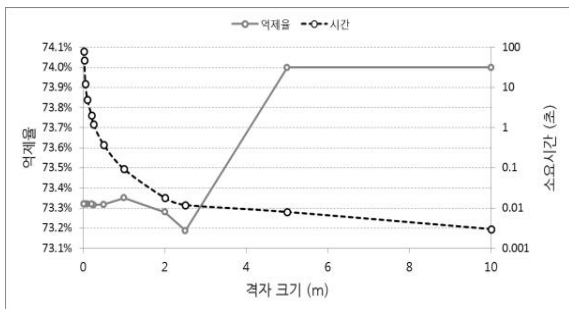


Fig. 11. Calculation result and computation time trend along cell size based on integration method

격자크기가 감소함에 따라 억제율은 일정한 값으로 수렴하고 있다. 0.01% 단위에서의 수렴은 격자 크기 0.2m에서 이루어졌으며 이때의 소요시간은 2.03초였다. 모탄의 수에 따라 시간이 증가하지 않으므로, 같은 정밀도를 얻기 위한 소요시간은 탄착점 생성 방식에 비해 매우 짧은 편이다. 다만, 격자 크기가 0.1m로 감소하는 경우 소요 시간이 5.00초로 크게 증가한다. 이는 격자의 길이가 절반으로 줄어들면서 전체 계산이 필요한 격자의 수가 4배로 증가하기 때문이다.

### 3.1.3 비교 결과 요약

두 방식을 비교하여 얻은 결과를 다음 Table 4에 정리하였다.

Table 4. Comparison summary of two methods

	탄착점 생성 방식	적분 방식
계산 결과	비슷한 값으로 수렴	
억제율 0.01 % 수렴 시점	60만 번 반복 이후	격자크기 0.2 m
수렴 시점의 계산시간	234초 (모탄 50발 기준)	2.03초
계산시간 증가 수준	모탄 100발 기준 400초 이상	격자크기 0.1 m에서 5초 이상
장점	직관적, 시각적 이해 적은 모탄 수에서도 적용 가능	빠른 계산 속도 일정한 결과
단점	계산 속도 느림 결과값의 변동성	직관적인 이해가 어려움

두 방식 모두 계산 결과값은 모탄 수가 증가함에 따라 비슷한 형태로 수렴하였다. 따라서 두 방법의 결과값 모두 분석에 사용하는 것이 가능하다. 계산 정밀도를 억제율 0.01% 수렴 시점으로 볼 때, 탄착점 생성 방식은 60만 번의 반복이 필요하고, 적분 방식은 격자 크기 0.2m가 요구된다. 그러나 이때 두 방식의 소요 시간에는 큰 차이가 있는데, 탄착점 생성 방식이 모탄 50발 기준으로 234초인 반면, 적분 방식은 2.03초에 불과했다. 또한 더 많은 수의 모탄을 분석하고자 할 때에는 탄착점 생성 방식의 계산 시간이 그만큼 증가하



게 된다. 물론 적분 방식 역시 격자의 크기가 절반으로 줄어들 때 마다 계산 시간이 4배씩 증가하게 되지만, 탄착점 생성 방식에 비해서는 상대적으로 매우 짧은 시간에 해당한다.

두 방식의 장단점은 다음과 같이 정리할 수 있다. 적분 방식이 빠른 계산 속도는 물론 계산 마다 일정한 결과를 도출한다는 장점을 가지고 있어서 분석에 더 적합해 보인다. 그러나 확률 분포에 의한 면적 도출이라는 개념은 야전의 현실적 해석에 다소 어려움을 낳는다. 특히 적은 수의 모탄에 대해 분석할 경우에는 억제율이 0으로 나타나는 문제를 겪는데, 이는 탄착점 생성 방식으로 극복이 가능하다. 탄착점 생성 방식은 조준점은 물론 모탄 및 자탄의 산포 형태를 평면 상에 전시할 수 있기 때문에 실험 절차 및 결과에 대한 직관적이고 시각적인 이해를 가능하게 한다. 다만 난수 발생에 의존하기 때문에 계산 시 마다 값의 차이가 존재한다는 점이 큰 단점으로, 이를 해소하기 위해서는 많은 수의 반복이 필요하지만 상대적으로 느린 계산 시간과 맞물려 더욱 큰 소요시간을 낭기게 된다.

3.2 분석 사례

이 절에서는 적분 방식을 이용하여 실제 작전 계획을 위한 분석 사례를 제시하고자 한다. 앞서 두 계산 방식의 비교 결과를 통해, 적분 방식이 계산 결과에 비해 빠른 속도를 갖고 있기 때문에 다양한 상황에 대한 분석을 수행하는데 더 적합하다는 것을 알 수 있다. 또한 목표로 하고 있는 억제율 80% 수준에 도달하는 상황에서는 두 계산 방식의 결과가 수렴한다는 것을 알고 있으므로 적은 수의 모탄에서 발생하는 차이는 영향을 주지 않는다.

3.2.1 실험 설정

FASCAM을 이용해 적 진지 영역의 화력을 억제하는 작전을 수행함에 있어서 결정되어야 하는 요인은 필요한 탄약의 수와 조준점의 위치이다. 본 연구에서는 다양한 조준점의 수와 위치에 따른 효과를 비교하기 위하여 조준점을 다양하게 설정하였다. Fig. 5와 Fig. 7에서 살펴본 바와 같이 모탄 및 자탄의 전달 정확도를 고려한 최종 지뢰의 산포가 사거리 방향으로 매우 길게 뻗은 타원 형태이므로 조준점은 편 방향을 따라 일렬로 배치되는 것이 효과적이다. 다음 Table 5에 조준점의 수와 위치를 정리하였다.

Table 5. Setting for aim points

조준점 수	조준점 간의 간격(m)
1	0
2	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200
3	30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
4	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80
5	25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60
6	15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50
7	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40
8	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

조준점이 1개인 경우를 제외하면, 각 조준점 수 별로 간격을 8가지로 변경시켜가면서 다양한 경우에 대해 억제효과를 비교할 수 있도록 하였다. 전체적으로, 총 57개의 경우에 대해 각각 모탄을 100개부터 400개까지 증가시켜가면서 억제율을 구하였다.

3.2.2 결과 비교

조준점에 따른 억제 효과 차이를 한 눈에 살펴보기 위하여 억제율 80%를 달성하는데 필요한 최소 모탄 수를 각 상황 별로 구하였다.

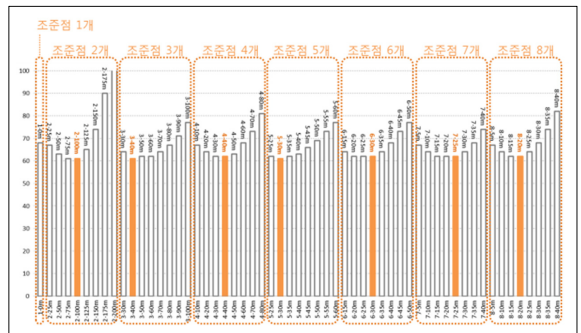


Fig. 12. Numbers of FASCAM for 80% suppression

Fig. 12의 막대그래프 상에서 범위를 벗어난 경우는 80%의 억제율 달성을 위해 100발 이상이 소요되었음을 의미한다. 각 조준점 수 별로 가장 적은 수로 80% 억제율을 달성한 간격에 대하여 막대의 내부를 색칠하여 표시하였다. 조준점의 수에 따른 성능을 비교하기 위하여 조준점 수 별로 가장 80% 달성 모탄 수가 가장 작은 간격들을 다음 Table 6에 정리하였다.

Table 6. Performance of optimal intervals for each number of aim points

조준점 수	간격 (m)	100발에서의 억제율	80% 도달 모탄 수
1	-	87.1%	68
2	100	90.8%	61
3	40	89.6%	61
4	40	90.3%	62
5	30	90.1%	61
6	30	90.2%	62
7	25	90.2%	62
8	20	90.2%	62

세 번째 열에는 100발을 사격하였을 때의 억제율을 추가로 표시하였다. 조준점의 수가 1개일 때에는 상대적으로 낮은 억제율을 보이지만, 그 수가 증가하면서 억제율은 점차 개선된다. 이는 소수의 모탄이 발사되더라도 다양한 조준점에 의해 자연스럽게 분산되기 때문인 것으로 생각된다.

그러나 조준점 2개부터는 80% 도달 모탄 수가 더 이상 감소하지 않고 조준점 4개부터는 100발에서의 억제율 수준이 개선되지 않는다. 따라서 작전 수행 방안을 수립함에 있어서 조준점의 수는 2개 이상에서 무관하며, 아군 포병 부대에서 운용하는 화포의 수와 배치를 고려하여 적용이 용이한 조준점의 수를 선택하면 된다.

최종적으로 도출된 최적 방안 중 하나인 조준점 수 2개, 조준점 간 간격 100m인 상황에서 61발을 사격한 상황의 예를 탄착점 생성 방식을 통해 다음 그림에 나타내었다.

예시 그림은 2개의 조준점에 각 30발, 31발의 모탄이 발사되어 전체 표적 영역에 고르게 지뢰가 살포된 양상을 잘 보여주고 있다. 조준점의 편의 방향(가로) 좌표는 각각 -50m, 50m로서 모탄과 자탄의 공산오차를 통해 적절히 조준점 사이 공간에 지뢰가 분포하도록 하고 있다.

추가적으로, 야전의 판단에 의해 억제율 기준의 변화가 필요한 경우에 추가로 요구되는 모탄의 수를 구하였다. 현재의 80% 억제율에서 1%, 5%, 10%를 추가 상승시키고자 할 때의 요구 발 수를 다음 Table 7에 정리하였다.

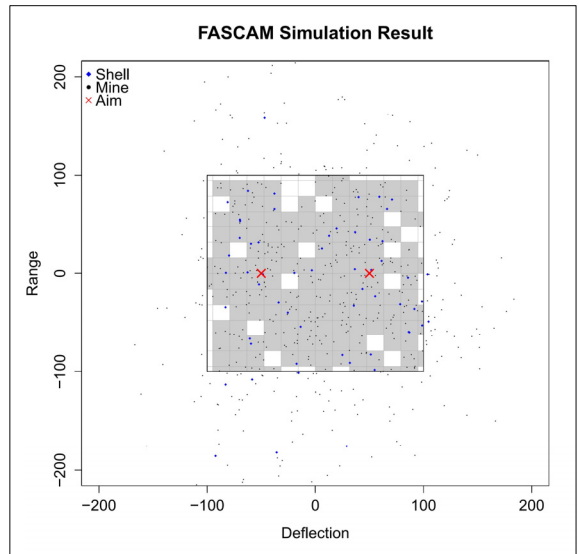


Fig. 13. An example of shooting with optimal aim points intervals

Table 7. Necessary number of additional FASCAM for a higher level of suppression

증가 목표량	추가 요구 발 수
1 %	2
5 %	15
10 %	36

현재 수립된 사격 방안에서, 80%를 기준으로 억제율을 1% 상승시키는 데에는 약 2.3발의 추가 사격이 필요할 것으로 파악되었다. 이러한 관계는 90%의 억제율에 이르기까지 대체적으로 지수 함수 형태로 증가하여, 5%의 증가를 위해서는 15발, 10% 증가를 위해서는 36발을 더 발사해야 한다.

#### 4. 결론

수도권을 사정거리에 둔 적 장사정포의 위협은 한국군의 최우선적 타격 대상으로 간주되어 대화력전 수행체계의 수립 및 개선은 물론 그에 대한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 그러나 적의 선제 타격 후 대응 사격을 통한 적 장사정포 파괴를 기본으로 하는 현 대화력전 수행체계는 전쟁 개시 초반에 집중되는

적 화력에 의한 수도권 기반 시설 및 민간인 피해를 효과적으로 억제하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 직접 타격을 통한 파괴가 아닌 적 기동 및 화력 운용을 억제함으로써 아측 피해를 감소시키는 새로운 개념의 대응 방안을 연구하는 것에서 출발하였다.

FASCAM은 탄체에 포함된 지뢰 자탄이 일정 영역에 넓게 산포되어 적 화력 장비가 파괴되지 않더라도 기동 및 화력 운용을 불가능하게 하는 기능을 가진 탄종이다. 이를 이용한다면 기 식별된 적 진지 지역에 살포하여 개전 즉시 빠른 화력 억제를 가능케 할 것으로 기대된다. 그러나 새로이 개발된 탄약이면서 또한 파괴를 목적으로 한 기존의 탄약과 그 특성이 다르다는 점 때문에 FASCAM을 통한 적 화력 억제에 대한 기대 효과 평가에는 새로운 분석 방법이 요구된다.

본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 이용하여 FASCAM을 이용한 화력 억제를 평가하고 다양한 상황을 비교 분석할 수 있는 방법론 및 절차를 제안하고자 하였다. 이를 위해 시각적인 이해를 돕는데 기여할 수 있는 탄착점 생성 방식과 빠른 계산 속도 및 결과의 안정성이 담보된 적분 방식을 제안하여 그 예시와 장단점을 설명하였으며, 특히 적분 방식을 통해 다양한 조준점 설정에 따른 억제를 비교라는 분석 사례를 제시하였다.

이론적 설명과 예시를 통해 제안된 시뮬레이션 절차는 공학급의 정밀 자료 및 비교 분석을 위한 도구로서 적합한 조건을 갖추고 있으며, 향후 FASCAM을 이용한 새로운 대화력전 수행체계를 수립 및 개선하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

다만 본 연구가 FASCAM 단일 탄종에 대한 분석에 그치고 있는 점은 단일 연구로서의 한계이며, 그에 따라 다른 화력 억제 수단과의 결합을 고려한 더욱 효과적이고 현실적인 대응 방안에 대한 실험 방법론의 제안 및 연구가 주요 추후 연구 방향이 될 것이다.

## References

- [1] Ministry of National Defense, (2014) Defense White Paper, Ministry of National Defense, Republic of Korea, Seoul, 2014.
- [2] Chung-Gil Heo, Aanalysis of ROK Counter Fire Warfare Capability: Focusing on Counter Fire Execution Methodologies, Master's Dissertation, Kookmin Unversity, 2012.
- [3] Chang-Joon Lee, Directions for Development of Joint Power Operation, Master's Dissertation, Graduate School of National Defense Strategy, Hannam University, 2013.
- [4] Jong-Won Lee, Tae-Eog Lee, and Dae-Kyu Kim, "Modeling and Analysis of Counterfire Warfare for Tactical Operation and Acquisition," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 16, No. 2, pp. 175-184, 2013.
- [5] Youngho Chung, Kitae Shin, and Jinwoo Park, "A Study on Mine Artillery Hit Using DEVS," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 17, No. 3, pp. 45-51, 2008.
- [6] Park, Sung-Hwan, First Export of Korean K9 Self-Propelled Artillery to Poland, 2015, Newsis.com, Seoul.
- [7] Youngho Chung, Kitae Shin, Tai-Woo Chang and Jinwoo Park, "A Study on the Working Effect of UAV Hitting Mine Artillery," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 17, No. 4, pp. 175-182, 2008.
- [8] Hanyoung Kim, A Study on the Combination Model Development for Counterfire Operation with Heterogeneous Weapon System : Focused on Mine Artillery CounterFire, Master's Dissertation, Hansung Unviersity, 2013.
- [9] Martin B. Chase, Scatterable Mines, 1980.
- [10] Federation of American Scientist. Family of Scatterable Mines - Fascam. 2000 2000-02-19 [cited; Available from: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/fascam.htm>, Major Mark T. Kimmitt, Rethinking Fascam, 1988.
- [11] Republic of Korea Army Training and Doctrine Command, Artillery Munitions, Republic of Korea Army, 2004.
- [12] Seokjong Lee, "Impact Resistance Capability and Reliability," are Secured for Localization in 2007, Kookbangilbo, 2010, Ministry of National Defense, Republic of Korea, Seoul, p. 12.
- [13] Taekman Kwon, "Introduction of Scattered Mines System," Defense Quality, Vol. 11, pp. 85-89, 1999.
- [14] Kwanghee Ha, "Implication on Artillery Hit on Hardened Site based on Probability of Impact in a

- Fixed Circular Area,” Collection of Defense Research, Vol. 39, pp. 148-169, 1997.
- [15] Seyong Ahn, Christopher Cortez, and Bumjoo Jin, “Theatre Level Counter-Fire Sensitivity Analysis Using Excel Based Modeling,” The Quarterly Journal of Defense Policy Studies, Vol. 106, No. -, pp. 125-154, 2015.
- [16] R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2014, R Foundation for Statistical Computing.