

목표 피해율 달성을 위한 포탄 정확도 산출방안

Way to Calculate the Accuracy of Artillery Fire to Achieve the Required Damage Rate

박민성¹⁾, 김경수²⁾

Minsung Park, Kyungsoo Kim

ABSTRACT

Monte-Carlo simulations have been used as a tool for making decisions in unpredictable situations. Because of the indirect fire method of the artillery weapon system, People vaguely think that higher the accuracy of Artillery fire, the more damageable to the enemy. However, even if the projectile with specified accuracy is fired, the damage to the enemy may vary depending on the way how the target is placed. Therefore, this paper calculates the general accuracy of the artillery fire by using Monte-Carlo simulation to achieve a specific damage level considering position angle of lengthy side of target. In the specified accuracy of the artillery fire, the damage rate was varied according to the position angle of longer side of target. And to overcome this problem, the general accuracy of the artillery fire for the required damage was calculated.

Keywords : Artillery Shell Accuracy, Range Error Probable, Deflection Error Probable, Circular Error Probable, Damage rate

논문접수일 : 2021년 11월 15일, 심사일 : 2021년 11월 30일, 게재확정일 : 2021년 12월 20일

1) 국방대학교 국방과학학과 무기체계 전공 석사과정

2) 국방대학교 국방과학학과 무기체계 전공 조교수

1. 서론

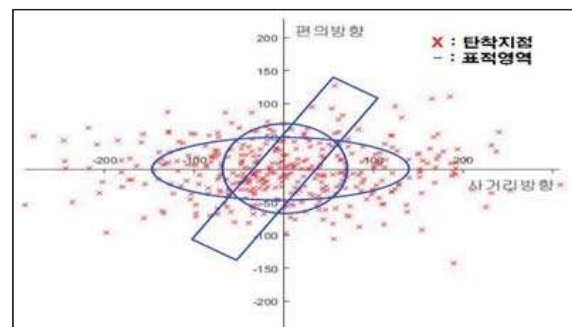
야전군에서 포병의 역할은 여전히 작전 수행에 큰 부분을 차지한다. 화력 운용 수단으로써 화포에서 발사되는 포탄은 항공기나 미사일과 비교하면 경제성, 조작성의 편이성, 전천후 운용가능성 면에서 아직도 많은 장점이 있다.

포탄을 통한 공격은 눈에 보이는 표적을 직접 조준하여 공격하는 직사화기와는 달리 표적을 간접적으로 확인하고 탄의 비행 특성을 고려해 사격한다. 표적이 있는 지점에 다량의 사격을 할지라도 포탄의 탄착지점은 한 지점에 탄착하지 않고 타원형의 분포로 탄착지점이 형성된다. 그 이유는 포탄의 무게, 형상, 장약 온도 및 습도의 미세한 변화, 포신 온도차, 방열의 기계 오차, 포탄이 비파시 사격 때마다 포탄에 미치는 기상 제원의 오차 등으로 사격제원에 오차가 발생하기 때문이다.[1]

포탄 사격으로 표적에 큰 피해를 주려면 포탄의 폭발 효과를 언급하지 않더라도 포탄의 정확도(표적에 근접하여 탄착 되는 정도, 표적을 기준으로 탄착지점과의 거리오차)의 중요성을 예상할 수 있다. 당연히 사격된 포탄의 탄착지점은 표적에 가까울수록 피해효과를 크게 할 수 있다.

포병탄의 정확도가 표적에 피해에 미치는 영향에 관한 연구는 국내에서 많이 이루어지지 않았다. 박진호(2015)는 건물 표적에 대한 무기체계의 파괴 효과를 분석하면서 정확도 기준의 하나인 원형공산오차(CEP)의 변화에 따른 건물의 파괴확률을 분석하였다.[2] 문호석(2020)은 워게임 모델에서 가상으로 운용되는 대항군 포병이 선택할 탄종별 사격 발수와 정확도를 자동으로 결정하는 방안에 관한 연구를 하였다. 야전부대가 전투지휘훈련을 하면서 사용가능한 가상의 대항군 포병사격에 의한 아군 피해율을 산정하기 위해 탄착지점에서 표적까지

지의 거리와 아군부대가 배치한 지역의 가로세로 비율 및 아군 훈련부대의 수준을 핵심 변수로 사용했다. 이렇게 해서 가상으로 운용되는 대항군 포병의 포병 공격 피해 수준을 조정하는 방안을 제시했다.[3] 기존 연구들은 주로 포병탄의 정확도가 단일건물 또는 원으로 표현되는 표적에 끼치는 효과의 정도를 나타내고, 정확도가 높을수록 더 큰 효과를 기대할 수 있다는 사실을 이용했다. 그러나 여러 개의 장비 또는 인원으로 이루어진 표적의 다양한 분포형태에 따라 표적에 끼치는 효과가 달라지는 것은 고려하지 않았다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 같은 사격제원으로 여러 발을 사격해도 특정한 탄착분포를 가지는 탄의 특성 때문에 적이 피해를 보는 정도(이하 피해율)은 사격선으로부터 시계방향으로 표적영역의 장축에 이르는 각(이하 사격선~장축 사이각) 또는 특정부대의 장비가 분포되어있는 형태에 따라 다르다.



<그림 1> 탄착분포와 표적 분포에 따른 피해의 차이

표적의 분포형태가 탄착지점의 분포형태와 다르므로 피해율이 달라진다. 표적 분포형태와 탄착분포의 형태가 서로 유사하고 중첩되어야 피해효과가 증대될 것으로 예측할 수 있다. 이처럼 표적의 분포형태가 변하면 피해율이 달라짐에도 불구하고 포탄 성능을 평가할 때 포탄의 평균 탄착지점과 표적까지의 거리 오차가 작을수록 피해효과가 크다고 오해하는 경우가

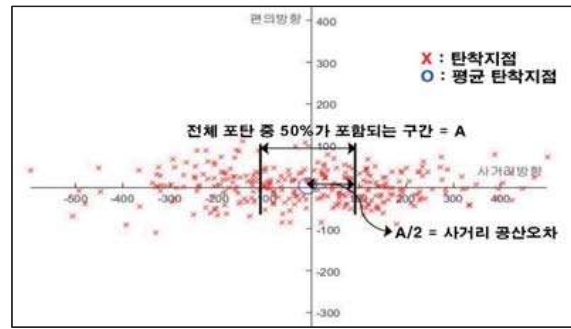
많다.

따라서 본 논문에서는 포탄의 정확도를 나타내는 개념인 REP, DEP, CEP³⁾가 표적의 피해율에 미치는 영향을 분석하고 특정 피해율 달성을 위해서는 어떤 수준의 정확도가 필요한지 알아본다. 2장에서 포탄의 정확도를 표현하는 개념과 의미를 확인한 후 3장에서 북한군 방사포 1개 중대 표적을 대상으로 표적 피해율 계산 모델을 수립하였다. 그리고 4장에서 정확도를 변수로 모든 사격선~장축 사잇각을 달리하면서 표적의 피해율을 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 통해 계산하고 5장에서 이를 통해 사격선~장축 사잇각과 무관하게 포탄의 정확도가 피해율에 미치는 영향과 특정 피해율 달성하기 위한 포탄의 정확도를 제시하였다.

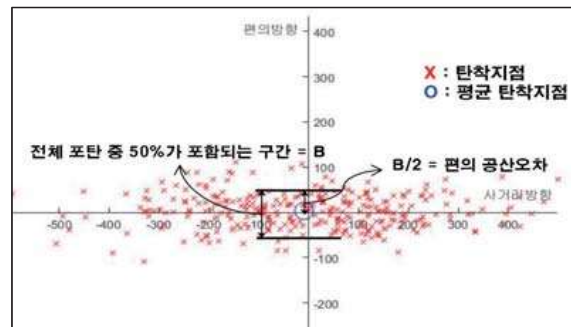
2. 이론적 고찰

2.1 공산오차

포탄의 정확도는 사거리/편의 공산오차(이하 REP/DEP) 또는 원형공산오차(이하 CEP)로 표현할 수 있다. 같은 화포를 사용하면서 같은 사격제한으로 다량의 사격을 하면 포탄의 탄착지점 분포는 평균 탄착지점을 중심으로 사거리와 편방향으로 정규분포를 따르며 흩어져 나타난다고 가정한다. 이때 탄착지점은 <그림 2>처럼 사거리 방향 상으로 탄착중심점으로부터 앞뒤로 REP 거리 이내에 사격한 포탄의 50%가 탄착되며 <그림 3>처럼 편의 방향으로 탄착중심점으로부터 좌우로 DEP 거리 이내에 사격한 포탄의 50%가 탄착 된다.[4].

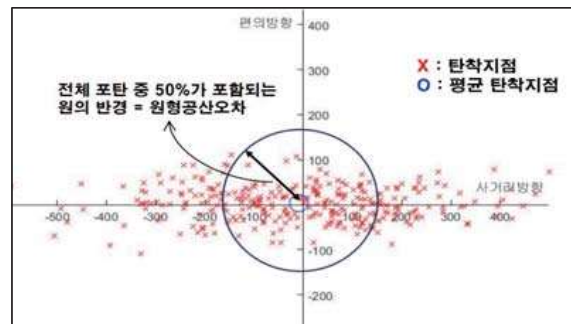


<그림 2> 사거리 공산오차



<그림 3> 편의 공산오차

원의 형태로 포탄의 탄착분포를 표현할 수 있는데 <그림 4>에서 보는 것처럼 탄착지점은 평균 탄착지점을 중심으로 CEP를 반경으로 하는 원안에 사격하는 포탄의 50%가 탄착하게 된다.[4]



<그림 4> 원형 공산오차

3) REP(Range Probable Error, 사거리 공산오차), DEP(Deflection Probable Error, 편의 공산오차), CEP(Circular Error Probable Error, 원형 공산오차)

단일건물이나 단일 장비를 표적으로 피해율을 산정할 때 위에 제시한 공산오차를 사용하는 것은 기존의 연구에서 제시된 바와 같으며 정규분포를 이용해서 해석적인 접근이 가능하다. 그러나 표적이 다수의 인원이나 장비 등으로 이루어져 산개된 모습일 경우에 포탄의 폭발반경이 중첩되는 현상이 발생하므로 해석적으로 접근하기 어렵고 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 피해율 계산방법으로 접근했다.

3. 표적 피해율 계산방법

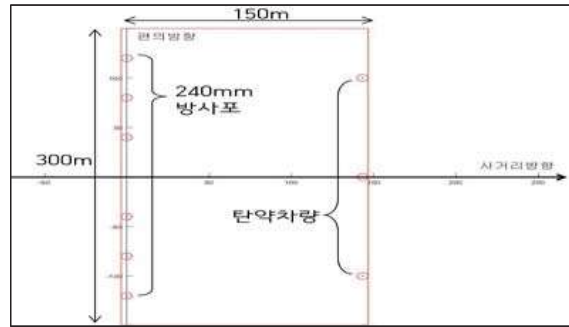
3.1 표적 형태

몬테카를로 시뮬레이션에 사용할 표적은 북한의 240mm 방사포 1개 중대에 편성된 장비를 대상으로 하였다. <그림 5>에서 보는 바와 같이 방사포 중대의 편성 장비는 240mm 방사포 6문과 탄약 차량 3대로 구성했고 항공사진을 기초로 시뮬레이션에 사용할 표적인 방사포는 일선형으로 배치하였다.[5]

<그림 6>처럼 방사포의 좌우 간격을 20~50m, 방사포와 탄약차 간 간격을 약 140m로 설정하여 사용하는 진지의 크기가 가로 300m, 세로 150m가 되는 곳에 장비의 피해를 최소화



<그림 5> 240mm 방사포 일선형 진지형태



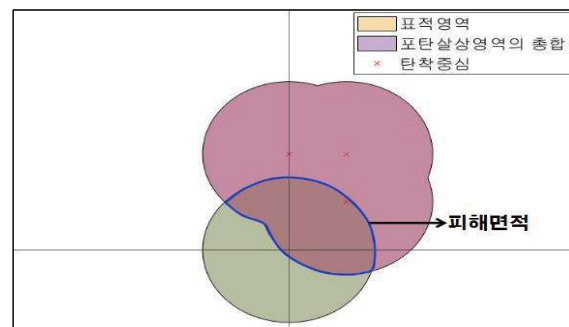
<그림 6> 표적 박스 및 배치형태

할 수 있도록 직사각형 영역 안에서 분산시켰다.[6] 사격선~장축 사잇각은 90°, 135°, 180°, 임의 각의 경우로 구분하였다.

240mm 방사포와 탄약차량의 크기는 모두 전장 10.5m, 전폭 3.3m의 직사각형 형태이나 피해면적 계산의 편이성을 고려하여 동일한 면적인 원의 형태(반지름이 3.3m)로 간주하였다.[7]

3.2 피해율 계산모형 개요

피해율(Pk)은 <그림 7>에서 보는 바와 같이 표적의 전체 면적을 기준으로 포탄에 의해 (직경 50m의 원형 살상구역) 표적에 피해를 준 면적⁴⁾의 비율로 설정하였으며 식(1)과 같다.[8]



<그림 7> 피해면적

4) 포탄의 살상영역과 원형의 표적 면적이 겹치는 영역이며 표적이 한번 피해입은 영역은 다른 포탄이 피해를 주지 않는 것으로 설정하였다.

$$P_k(\%) = \frac{\text{전체 피해 면적}(m^2)}{\text{표적 전체 면적}(m^2)} \quad (1)$$

몬테카를로 시뮬레이션에 사용할 표적은 방사포 6문과 탄약 차량 3대를 선정하고 포병대대 18문의 화포가 집중사향속⁵⁾으로 방사포 중대의 진지 중앙지점에 각각 1발을 사격하는 경우를 고려한다. 포병대대 18문의 화포가 사격하는 포탄의 낙탄 분포는 특정한 REP/DEP 또는 CEP를 가졌다고 가정했으며 포탄 각각 1발을 사격하여 총 18발이 낙탄되었을 때를 한 번의 사건으로 정의한다. 한 번의 사건이 발생할 때마다 식 (1)에 의해 각각의 사건에 대한 피해율을 계산한다. 주어진 특정한 REP/DEP 또는 CEP 값을 변화시키지 않고 같은 조건에서 100번의 시뮬레이션(100번의 사건)과 피해율 평균값으로 특정 REP/DEP 또는 CEP 값에 상응하는 피해율로 산출한다.

4. 시뮬레이션

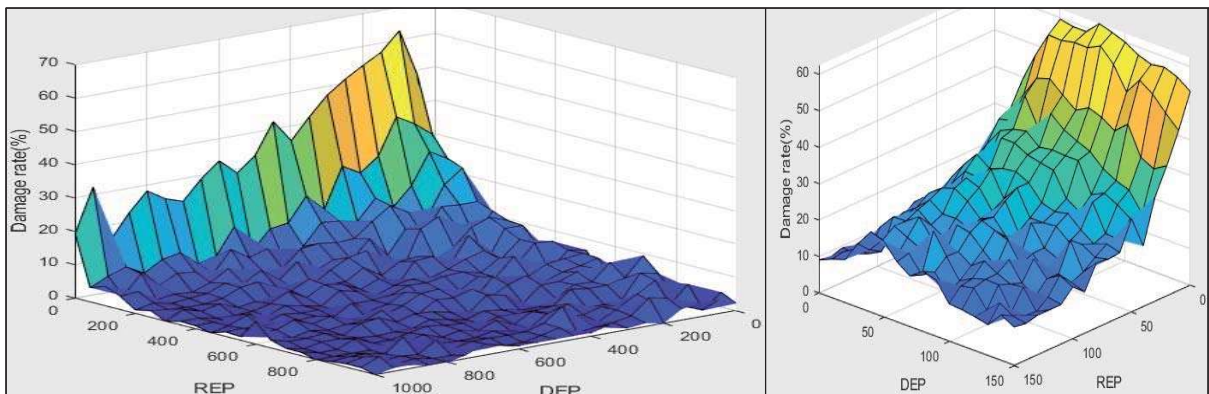
4.1 시뮬레이션 개요

주어진 포탄의 REP/DEP 또는 CEP로 인해 탄착분포의 변화가 생기고 <그림 7>에서 제시된 계산방법에 따라 피해율은 식 (2) 또는 (3) 처럼 표현할 수 있다.

$$P_k = f(REP, DEP) \quad (2)$$

$$P_k = f(CEP) \quad (3)$$

시뮬레이션은 식 (2), (3)에 제시한 핵심 변수인 REP, DEP, CEP를 변화시켜가며 진행했다. 공산오차를 사거리 방향과 편의 방향으로 표현하는 경우에 REP와 DEP를 각각 100m 단위로 변화시키며 식 (2)에 따라 피해율 변화를 측정하고, 공산오차를 원형으로 표현한 경우에 CEP를 100m씩 변화시키며 식(3)을 사용하여 피해율을 계산했다. 표적은 사격선~장축 사잇각이 각각 90°, 135°, 180°인 경우로 구분하여 피해율을 계산하고 사잇각을 특정할 수 없는 경우에 표적의 사격선~장축 사잇각이 90°~180°인 난수로 발생시켜 표적의 임의의 각에 대한 피해율을 계산했다. 마지막으로 야전부대



<그림 8> 사격선~장축 사잇각이 90°인 경우 REP와 DEP 변화에 따른 피해율(좌) / DEP·REP 간격 10m 설정 후 DEP 증가 시 최대 피해율 이후 감소경향(우)

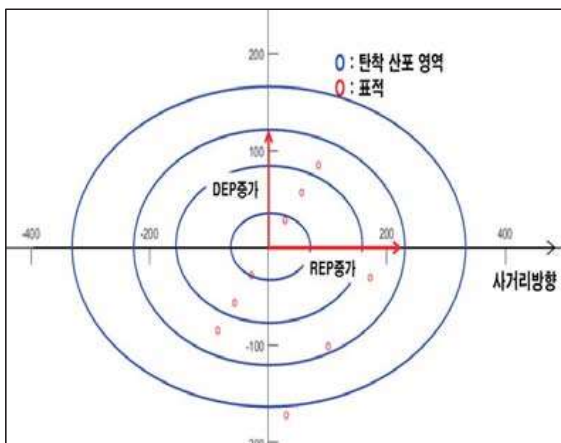
5) 집중사향속은 각 대포가 사격한 포탄이 한 지점에 낙탄되도록 하는 포탄의 파열형태이다.

에서 작전수행간 유의미한 피해율인 20% 이상의 피해율을 달성하는데 필요한 공산오차의 범위를 추가로 제시했다.

4.2 결과 분석

4.2.1 REP/DEP 변화에 따른 피해율

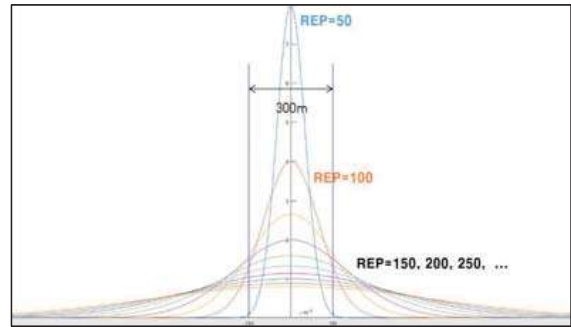
<그림 8>은 사격선~장축 사잇각이 180°일 때 피해율을 나타낸다. REP와 DEP를 각각 100m 단위로 변화시키기에 따라 발생하는 피해율은 그림에서 보는 바와 같이 DEP가 100m, REP가 0m일 때 최대 62%의 피해율을 보이다가 각 변수가 증가함에 따라 점차적인 감소추세를 보였다. 주목할 만한 것은 REP는 증가함에 따라 피해율은 지속해서 감소한다는 사실이다. 이는 DEP가 0m일 경우에 표적이 분포한 진지에 18문의 탄이 과도하게 중첩되어 충분히 분산된 표적을 타격하지 못하다가 DEP가 100m가 되면 포탄은 편의 방향으로 점점 넓게 탄착 분포되어 표적이 분포한 편의 방향인 300m 내의 표적에 탄착 되는 수가 최대로 많아졌기 때문이다. 계속해서 DEP를 늘렸을 때



<그림 11> 회전된 표적과 탄착 산포영역

이 일관되게 감소하는 추세는 표적의 배치형

낙탄된 탄의 분포가 표적의 편 방향 분포보다

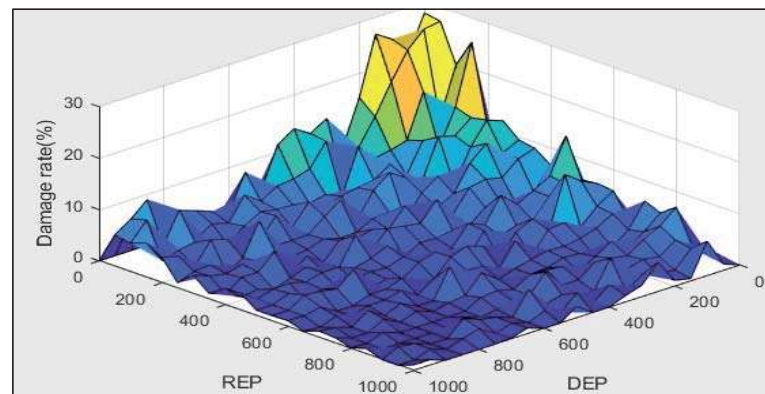


<그림 9> 편오차의 확률밀도함수

과다해지면서 포탄에 의한 표적 피해효과는 점차 감소하는 경향을 보였다.

<그림 9>는 편오차를 확률변수로 하는 확률밀도 함수 그래프를 나타낸다. 표적에 끼치는 피해는 포탄이 표적영역에 고르게 분포함과 동시에 최대한 많이 탄착해야한다. 이때 <그림 9>와 같이 DEP가 증가할수록 그래프의 형태는 평평해져 포탄이 편방향 300m 구간 내 고르게 분포하는 정도는 증가하고 탄착될 확률은 감소하는 반비례 관계를 보이기 때문에 DEP가 100m 까지는 피해율 62%로 증가하다가 이후 감소한다.⁶⁾

<그림 8>에서 REP가 증가함에 따라 피해율



<그림 10> 사격선~장축 사잇각이 135°인 경우 REP와 DEP·REP 간격 10m 설정 후 DEP·REP 증가

6) Morris, R, Driels. Weaponering : Conventional Weapon System Effectiveness second edition, AIAA, pp.140 식 (4.4)에 의하면 편오차~ $N(\mu, \sigma^2)$ 일 때 $DEP = \sigma \times 0.6745$ 이므로 DEP와 σ 비례관계이다.

때 때문이다. <그림 8>에서의 표적은 사격선~장축 사잇각이 90°로 표적이 사거리방향상으로 좁게 분포되고 편의 방향으로 넓게 분포된 형태이기 때문에 REP가 늘어날수록 표적 지역에 탄착 되는 포탄의 수는 줄어든다.

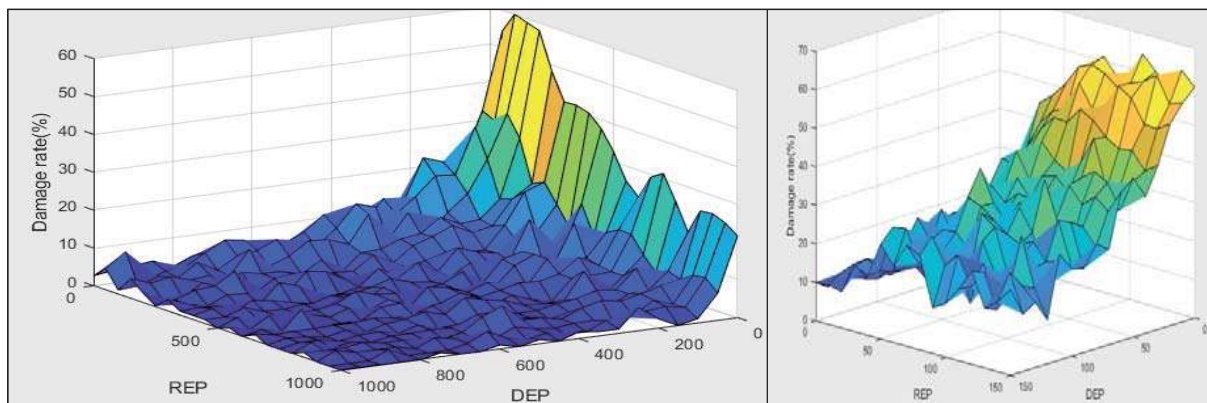
사거리 방향을 기준으로 사격선~장축 사잇각이 135° 일 때 피해율은 <그림 10>과 같다. REP와 DEP가 각각 50m일 때 최대 피해율 29.7%를 보이고 이후 REP와 DEP 값이 증가함에 따라 점차 피해율은 감소추세를 보인다.

REP와 DEP가 각각 50m일 때 피해율이 최대가 되고 이후 감소하는 이유는 사거리 방향을 기준으로 사격선~장축 사잇각이 90°일 때 비해 45°만큼 더 회전되어 <그림 11>과 같이

4.2.2 사격선~장축 사잇각과 무관한 피해율

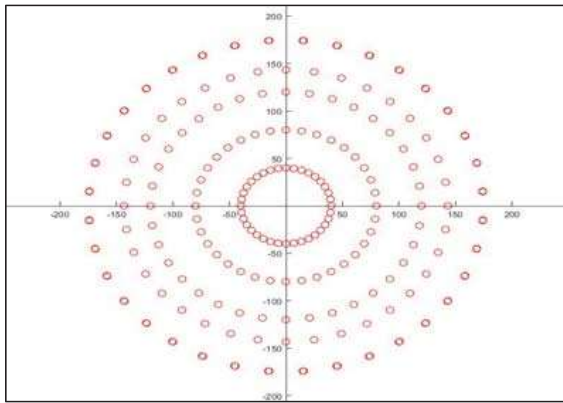
특정한 사격선~장축 사잇각인 경우에 대한 피해율 결과들을 통해 같은 정확도일지라도 표적이 어떠한 형태로 배치되어 있는가에 따라 피해율이 달라짐을 알 수 있다. 그래서 특정 피해율을 달성하기 위한 보편적인 포탄의 정확도를 제시하는 것은 사실상 불가능한 일이다.

그러나 전투 수행 간 적 방사포 중대의 사격선~장축 사잇각이 0°~360°의 범위에서 같은 확률로 일어나는 상황을 가정하면서 앞에서 진행한 시뮬레이션을 실행하면 요망 피해효과 달성을 위한 보편적 정확도를 제시할 수 있다.



<그림 12> 사격선~장축 사잇각이 180°인 경우 REP와 DEP 변화에 따른 피해율(좌) / DEP-REP 간격 10m 설정 후 REP 증가 시 최대피해율 이후 감소경향(우)
REP, DEP가 증가할수록 표적 위로 탄착하는 산포영역이 점진적으로 증가하다가 REP와 DEP가 각각 50m에서부터 줄어들기 때문이다.

사격선~장축 사잇각이 180°의 경우는 90°일 때와 반대로 REP가 100m, DEP가 0m 일 때 최대 60%의 피해율을 보이다가 이후에는 REP와 DEP 값의 증가에 따라 피해율이 감소하며 <그림 12>와 같다. 이는 사격선~장축 사잇각이 90° 최대 피해율을 보였던 것과 같은 논리로 표적이 사거리방향으로 300m 간격내에 길게 분포하기 때문이다.



<그림 13> 임의 사격선~장축 사잇각에서의 표적의 분포

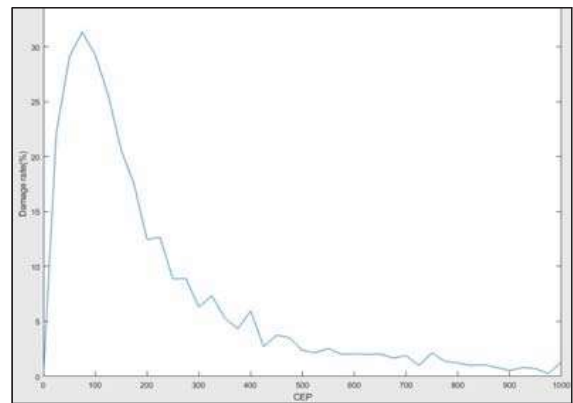
시뮬레이션의 편의를 위해 표적의 사격선~장축 사잇각이 0°~360°의 범위에서 균일하게 분포한다는 가정하에 <그림 13>과 같이 사잇각을 10°씩 증가시키며 표적을 분포시키면 임의의 사격선~장축 사잇각을 갖는 표적은 원형의 형태로 분포함을 가정할 수 있다. 따라서 포탄의 정확도를 원의 반경으로 표현하는 CEP를 기준으로 피해율을 시뮬레이션하였다.

임의의 사격선~장축 사잇각에서의 REP/DEP에 대한 피해율은 <그림 14>에서 보듯이 REP/DEP가 각각 50m일 때 최대 30%의 피해율을 보였으며 전술적으로 의미 있는 20% 이상의 피해율을 달성할 수 있는 범위는 REP와 DEP 모두 동일하게 25~150였다. 이는 임의의 사격선~장축 사잇각에서의 표적을 원형

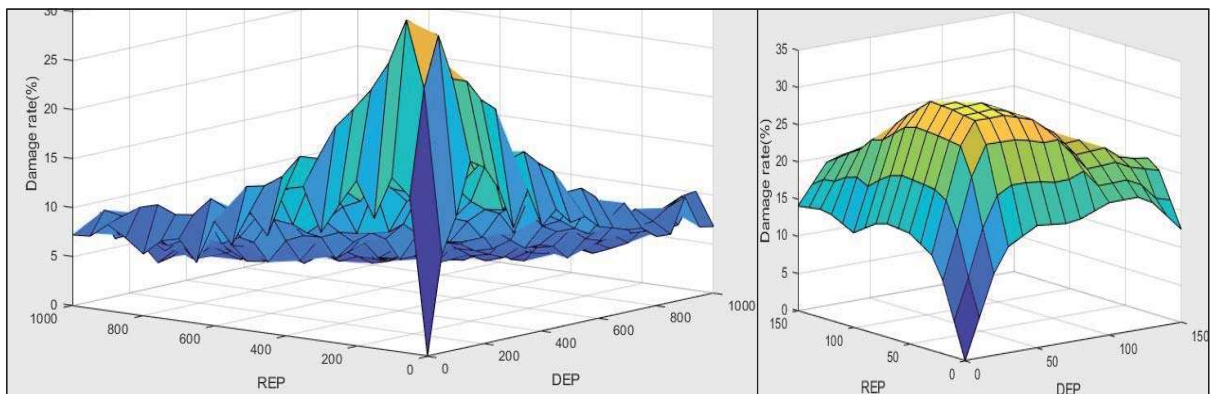
으로 고려할 경우 원형의 영역에 포탄이 고르게 탄착 되게 하려고 REP와 DEP가 같은 비율로 증가해야 하기 때문이다. 또한, REP와 DEP가 같을 때 한 변의 길이가 2×REP(또는 2×DEP)인 정사각형의 사탄 산포 영역이 원 형태의 표적 영역에 가장 잘 중첩되므로 최대 피해율을 기대할 수 있게 된다.

CEP 변화에 따라 임의의 사격선~장축 사잇각으로 배치된 표적에 대한 피해율은 <그림 15>와 같다.

임의의 사격선~장축 사잇각을 갖는 표적은 CEP가 75m일 때 최대 31%의 피해율을 보였으며 전술적으로 의미 있는 20% 이상의 피해율을 달성하기 위한 CEP 범위는 25~150m였다. CEP가 25m 이하일 때 매우 정확한 사격을



<그림 15> 임의의 사격선~장축사잇각의 경우 CEP 변화에 따른 표적의 피해율



<그림 14> 임의의 사격선~장축 사잇각의 경우 REP와 DEP 변화에 따른 피해율(좌) / DEP·REP 간격 10m 설정 후 각 변수 증가 시 최대피해율 이후 감소경향(우)

할 수 있고 표적 피해율도 높으리라 생각할 수 있지만, 시뮬레이션 결과는 오히려 과도하게 작은 CEP는 표적 피해율에 도움이 안 되는 것으로 관찰되었다. 오히려 CEP는 75m가 되었을 때 최대 피해율을 달성할 수 있었으며 75m를 초과하는 CEP는 점차 피해율을 감소시키는 결과를 가져왔다. 이는 표적의 분포를 원형으로 간주할 때 과도하게 작은 CEP는 중첩된 탄착 지점을 만들어 내어 넓게 분포한 모든 표적에 피해를 주는 것이 아니라 특정 표적만 집중적으로 피해를 줌에 따라 피해율이 적게 발생한 것으로, 최대 피해를 주기 위해 표적의 분포만큼 탄착분포도 형성되어야 함을 나타낸다.

도 탄착지점으로부터 멀어질수록 피해율은 감소할 수 있다. 향후 더 정확한 피해율 산정을 위해 포탄의 낙각 변화에 따른 피해영역과 표적과 탄착 중심으로부터의 거리에 따른 피해 정도를 추가로 고려한 연구가 필요하다.

5. 결론

본 논문에서는 다수의 장비로 이루어진 표적을 대상으로 포탄의 정확도 변화에 따른 피해율에 대해서 몬테카를로 시뮬레이션을 이용해 다루었다. 산출된 피해율 데이터를 통해 20% 이상의 전술적 의미가 있는 피해율을 달성을 위한 포탄의 정확도를 REP, DEP, CEP의 표현 방법으로 도출하였다. 특히 포탄의 정확도가 변하지 않음에도 불구하고 사격선에서 표적의 장축에 이르는 사잇각 변화에 따라 다른 피해율이 산출될 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 증명하였다. 사격선에서 표적의 장축에 이르는 사잇각이 임의로 선정될 수 있는 경우에 전술적으로 의미 있는 20% 이상의 피해율 달성에 필요한 포탄의 정확도를 제시하였다.

본 연구는 포탄의 피해영역을 직경 50m의 원으로 설정하여 이 영역에 포함된 표적들은 피해를 본 것으로 가정하였다. 하지만 포탄이 지면에 닿는 순간 이루는 낙각에 따라 포탄의 피해영역은 달라지며 피해 형태도 원형이 아닐 수 있다. 그리고 표적이 피해영역 안에 있더라

참 고 문 헌

- [1] 육군본부, “야전교범 32-3 포병포술(사격지휘)”, 2010.
- [2] 박진호(Jinho Park), 최상영(Sangyeong Choi) , 김영호(Yeongho Kim). 무기체계 3차원 건물표 적에 대한 간이 파괴효과분석 방법론 연구. 한국시물레이션학회 논문지, Vol.24, No.1, pp.89-96. 2015.
- [3] 문호석(Hoseok Moon), 김태성(Taesung Kim). 훈련용 구성 위게임 모델에서 대항군 포병의 사격발수와 정확도 결정 자동화 방안 연구. 군사과학연구지, Vol.14, No.1, pp65.-75. 2021
- [4] Morris, R, Driels. Weaponering : Conventional Weapon System Effectiveness second edition, AIAA, pp.134-142. 2004.
- [5] REUTERS, “North Korea’s other threat“ (검색일: 2021.09.17.)
- [6] 정보본부, ”북한군 참고교범 1-2-2 야전포병포술“, pp.88-89, 2019
- [7] 나무위키, ”240mm 방사포“ (검색일: 2021.09.21.)
- [8] 육군본부, “야전교범 32-5 포병포술(전포)”, pp. 1-25, 2010

저 자 소 개



박민성 (E-mail: pms51317@gmail.com)

2015 육군사관학교 무기&시스템 공학과 졸업(이학사)
현재 국방대학교 무기체계전공 석사과정
관심분야 : 포탄 정확도 해석
공산오차



김경수 (E-mail: kyongsookim@mnd.mil)

1995 육군사관학교 기계공학과 졸업(이학사)
2004 Air Force Institute of Techonology 졸업(항공
공학 석사)
2009 아이오와 주립대 졸업(기계공학 박사)
현재 국방대학교 국방과학학과 조교수
관심분야 : 포탄 정확도 해석
공산오차