

지역표적의 효과분석방법론에 관한 연구

이 정 구
국방과학연구소

요약문

살상면적을 이용한 기존의 효과분석방법론 SQ2는 표적중심점을 조준점으로 하여 사격하는 것으로 가정하고 있다. 본 연구에서는 조준점 좌표에 관계없이 표적의 피해확률을 계산할수 있는 효과분석 방법론 MOSSE를 소개한다. MOSSE는 조준 좌표에 관계없이 표적의 피해확률을 계산할수 있다.

I. 서론

무기체계의 성능분석에 관한 가장 중요한 문제중의 하나는 무기체계에 의한 표적의 피해율을 예측하는 것이다. 주어진 무기체계에 의한 표적의 피해율을 평가하기 위해서는 먼저 표적의 형태 및 종류에 대하여 정확히 알아야 한다.

표적은 일반적으로 그 형태에 따라서 단일표적(Unitary Target), 지역표적(Area Target), 선형표적(Linear Target)등으로 구분한다.

단일표적이란 차량과 같이 하나의 요소로 취급되는 표적을 말하며, 지역표적은 다수의 단일표적 요소들이 일정한 지역내에 균일하게 (Uniformly) 분포되어 있는 표적을 말한다. 지역표적의 예로서 연료저장 탱크들이 모여있는 저유시설지역, 집결지상에 일정하게 모여있는 보병 부대등을 들 수 있다. 선형표적은 표적의 형태가 폭은 좁고 길이가 긴 교량이나 철교 및 활주로등을 말한다.[7, 8]

지역표적의 피해정도를 나타내는 피해확률(Fractional Damage)은 표적의 피해비율의 의미로써 사용되며 전체시설면적에 대한 파괴된 시설의 면적화 비율을 의미한다.

살상면적(Lethal Area)을 이용하여 지역표적의 피해확률을 계산하는 방법으로는 AMSAA(U.S. Army Materiel Systems Analysis Activity)산하의 JTCG(Joint Technical Coordinating Group)에서 개발한 SQ2 방법론이 있다. [1, 2, 3, 4, 5]

SQ2는 무기체계탄두의 살상면적(Lethal Area)을 이용하여 간단하게 피해 확률을 계산하는 방법론이다. 살상면적이란 일정한 피해기준(Casualty Criterion)을 만족하는 효과영역을 말하며 예를 들어 "병사가 5분이내에 공격능력이 마비되는 (살상)면적"을 생각할 수 있다.

SQ2에서는 지역표적의 중심점(Center)을 좌표의 중심으로 설정하여 무기 체계패턴(Pattern)중심이 표적의 중심점을 조준하는 것으로 가정한다.

하지만 이러한 가정은 무기체계 패턴의 크기가 표적의 크기보다 클 경우에 해당되는 일반적인 가정이지만, 패턴의 크기보다 표적의 크기가 클 경우에는 그렇지 못하다. 표적이 패턴의 크기보다 클 경우 일제사격(Volley)이 여러차례 계속된다면 표적은 몇개의 소형표적으로 분할되고 패턴중심은 소형표적 각각의 중심을 조준하여 사격하게 될 것이다.

본 연구에서는 무기체계 패턴중심이 표적의 중심점이 아닌 다른 지점을 조준하여 사격하는 경우에도 살상면적을 이용하여 지역표적의 피해확률을 계산할 수 있는 효과분석방법론 MOSSE(Monte carlo simulation method for Surface to Surface weapon's Effectiveness)를 개발하였다.

MOSSE의 개발로 무기체계 패턴의 크기보다 큰 대형표적을 몇개의 소형 표적으로 분할하여 사격하는 경우에도 표적의 피해확률을 구할 수 있다.

II. 효과분석방법론 MOSSE

1. 개요

지역표적을 구성하고 있는 단일표적을 표적구성요소라고 하며 표적구성 요소가 균일하게(Uniformly) 분포한 지역표적의 면적을 A_t 라 하고 i 번째 일제사격(Volley)에 의하여 표적이 피해를 입은 피해면적을 AE_i , i 번째 일제사격에 의한 피해면적 AE_i 내의 표적구성요소들의 살상확률을 PK_i 라고 하면 i 번째 일제사격에 의한 피해확률 FD_i 는

$$FD_i = \frac{AE_i * PK_i}{A_t} \quad \text{----- (1)}$$

이다.

MOSSE에서 피해확률을 계산하는 절차는 먼저 무기체계 운반정확도에 따른 난수(Random Number)를 생성하여 일제사격에 의한 패턴의 탄착점 좌표를 구한다. 표적과 패턴의 중첩효과를 고려하기 위하여 패턴 각각의 탄착점 좌표에 따라 표적을 여러개의 구역으로 분할하여 분할된 구역별로 중첩(Overlap) 횟수에 따른 살상확률을 고려한 표적의 피해확률을 계산한다.

이러한 계산은 해석적인 방법으로는 불가능하므로 MOSSE에서는 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 구한다.

아래에서는 피해확률 계산절차를 설명한다.

2. 기준좌표계

기준좌표계의 원점(Origin)은 표적의 중심점(Center)으로 하며, 사거리(Range) 방향을 X축, 편의(Deflection) 방향을 Y축으로 설정한다.

* 패턴(Pattern) : 한문의 포나 한 포대에서 동일제원으로 동일조건으로 사격한 일련의 탄이 이루는 분포모양

3. 일제사격에 의한 패턴중심의 탄착점 계산

일반적으로 탄의 분산에 관련된 오차는 탄착중심점 오차(Mean Point of Impact Error : MPI Error)와 정밀오차(Precision Error), 표적위치오차(Target Location Error)등이다. [6, 8]

탄착중심점 오차는 조준한 탄착 중심점과 실제 형성된 탄착점과의 차이로서 탄도계산 및 포에 관련된 오차들을 말하며 탄착중심점(Mean Point of Impact : MPI)들의 표적 주변에서 이루는 분산 정도를 나타낸다.

표적위치오차는 표적의 실제위치와 표적이 위치하고 있다고 생각되는 위치와의 차이로써, 지도 자체가 얼마만큼 정확하게 제작되었는가에 따라지만 표적이동등에 의한 표적을 관측할 때에 생기는 측정오차와도 관련된다.

정밀오차는 탄자체의 불균일성, 사격시 탄마다 약실압력편차등에 의한 오차를 말하며, 같은 탄종으로 하나의 목표지점을 반복하여 무수히 사격했을 경우 실제 탄착점들이 개별탄착중심점(MPI)으로부터 떨어진 분산 정도를 나타낸다.

본 연구에서는 SQ2에서와 같이 탄착중심점오차(MPI Error)와 표적위치오차(TLE)를 결합하여 총탄착중심점 오차로 간주하며 무기체계 패턴을 조준점까지 얼마나 정확히 운반하였는가 하는 운반 정확도의 척도는 이러한 총탄착중심점 오차로 나타낸다.[1]

또한 패턴중심점의 탄착점 (x, y) 가 2변수정규분포(Bivariate Normal Distribution)를 하고, 사거리 및 편방향의 탄착점을 나타내는 확률변수 X 와 Y 가 서로 독립이며, 표적내의 표적구성요소들은 균일하게(Uniformly) 분포한다고 가정한다.

본 연구에서는 패턴중심점이 표적중심뿐 아니라 표적의 여러 지점을 조준할 수 있다고 가정하며, 패턴중심점의 탄착점의 분포 $f(x, y)$ 는

$$f(x, y) = f_1(x) * f_2(y)$$

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

----- (2)

- 여기서
- $f(x, y)$: 패턴중심점의 탄착점 분포함수
 - $f_1(x)$: 사거리 방향의 패턴중심점의 탄착점 분포함수
 - $f_2(y)$: 편 방향의 패턴중심점의 탄착점 분포함수
 - σ_x : 사거리 방향의 패턴중심점의 탄착점 표준편차
 - σ_y : 편 방향의 패턴중심점의 탄착점 표준편차
 - μ_x : 사거리 방향의 패턴중심점의 조준점
 - μ_y : 편 방향의 패턴중심점의 조준점 이다.

패턴중심점의 탄착점은 (2)식에서와 같이 정규분포를 하는 난수(Random Number)를 생성하여 계산되며 총탄착중심점오차(Total MPI Error)는 공산 오차와 표준편차와의 관계식에 따라 다음과 같이 변환되어 사용된다.[1]

$$\sigma_x = 1.48 \text{ REPTm}$$

$$= 1.48 \sqrt{\text{REPm}^2 + (0.573 * \text{TLE})^2}$$

----- (3)

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 1.48 \text{ DEPT}_m \\ &= 1.48 \sqrt{\text{DEP}_m^2 + (0.573 * \text{TLE})^2} \end{aligned} \quad \text{--- (4)}$$

여기서 REPT_m : 사거리 방향의 총탄착중심점오차(Total MPI Error)
 DEPT_m : 편향 방향의 총탄착중심점오차
 REP_m : 사거리 방향의 탄착중심점오차(MPI Error)
 DEP_m : 편향 방향의 탄착중심점오차
 TLE : 표적위치오차 이다.

4. 일제사격에 의한 패턴의 크기 계산

MOSSE는 SQ2와 같이 고폭탄(High Explosive)과 분산탄(Cluster Bomb)에 대한 피해확률을 계산할 수 있으며, 일제사격에 의한 패턴크기를 계산하는 절차는 다음과 같다. [1, 2]

4.1. 단일 탄에 의한 패턴의 크기 결정

먼저 고폭탄의 경우, 원형(Circle)으로 표시된 살상면적을 표적에 떨어지는 각도 즉 충돌각도(Impact Angle)에 따른 면적 형태의 변형을 고려한 동일면적의 사각형으로 변환한다.

길이대너비비율(Length to Width Ratio) a는 다음과 같이 구한다.[2]

$$a = 1 - 0.8 \cos(w) \quad \text{--- (5)}$$

여기서 w : 충돌각도(°) 이다.

단일 탄(Single Round)에 의한 패턴의 길이(Length) L_{dp}와 너비(Width) W_{dp}는 다음과 같이 구한다.

$$L_{dp} = 2 \sqrt{\frac{A_l * a}{\pi}} \quad W_{dp} = \frac{L_{dp}}{a} \quad \text{--- (6)}$$

여기서 A_l: 단일 탄의 살상면적(Lethal Area) 이다.

다수의 자탄(Submunition)을 갖는 분산탄(Cluster Bomb)의 경우는 다음과 같다.

자탄이 표적에 떨어지는 각도는 일정하며 분산탄이 표적에 떨어져 생성된 패턴내의 표적구성요소가 단일 자탄에 의하여 피해를 입을 확률 즉 자탄 하나에 의한 살상확률(Kill Probability) P_d는

$$P_d = \frac{A_{el} * R_{rs}}{L_{dp} * W_{dp}} \quad \text{--- (7)}$$

여기서 A_{el}: 단일 자탄의 살상면적
 R_{rs}: 단일 자탄의 신뢰도
 L_{dp}: 분산탄의 패턴의 길이
 W_{dp}: 분산탄의 패턴의 너비 이다.

패턴내에 자탄의 탄착점이 균일하게(Uniformly) 분포한다고 가정하고 분산탄(Cluster Bomb)이 nb개의 자탄을 갖고 있다면 단일 분산탄에 의한 패턴내의 표적구성요소의 살상확률 Phd는

$$Phd = 1 - \exp\left(-\frac{nb * Ae1 * Rrs}{Ldp * Wdp}\right) \quad (8)$$

이다.[2]

따라서 분산탄의 경우, 단일 분산탄의 살상면적 AI는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$AI = Ldp \cdot Wdp \cdot Phd \quad (9)$$

일제사격에 의한 패턴의 크기를 계산하는 첫번째 단계에서 고폭탄의 경우는 입력자료인 살상면적과 충돌각도를 이용하여 단일 탄에 대한 패턴의 길이와 너비를 계산하며, 분산탄의 경우는 입력자료인 자탄의 살상면적과 패턴의 길이, 너비를 이용하여 단일 탄의 살상면적을 계산한다.

첫번째 단계에서 단일 탄의 살상면적과 패턴의 길이, 너비를 탄의 종류에 관계없이 구했기 때문에 다음 단계부터는 탄의 종류에 관계없이 같은 계산 절차 및 변수를 적용한다.

4.2. 정밀오차를 고려한 패턴의 크기 결정

앞에서 언급했듯이 정밀오차는 탄자체가 갖는 오차이며 탄은 조준점에 아무리 정확히 조준하여도 탄착점과 조준점이 완전히 일치하기는 힘들며, 조준점에서 정밀오차의 일정범위내에 있는 표적요소는 항시 무기체계에 의한 피해가능지역내에 들게 된다. 따라서 수정계수(Adjusted Factor)를 이용하여 정밀오차의 일정배수만큼의 영역도 단일탄에 의한 피해영역 즉 패턴으로 간주한다.[1,2]

수정계수에 대한 자료는 살상면적, 탄착점오차, 정밀오차등 기본적인 효과도 입력자료들과 같이 자료화되어 있다.[1]

단일 탄(Single Round)에 의한 패턴의 크기는 다음과 같이 구해진다.

$$Lap = Ldp + K \cdot REPP \quad (10)$$

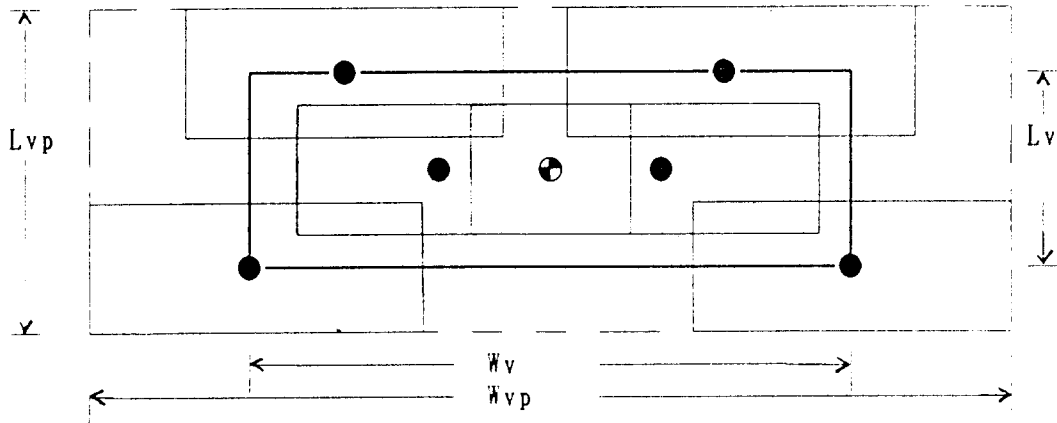
$$Wap = Wdp + K \cdot DEPP \quad (11)$$

$$Aap = Lap \cdot Wap \quad (12)$$

여기서 Lap : 단일 탄에 의한 (수정된) 패턴의 길이
 Wap : 단일 탄에 의한 (수정된) 패턴의 너비
 Aap : 단일 탄에 의한 (수정된) 패턴의 넓이
 K : 수정계수(Adjusted Factor)
 REPP : 사거리 방향의 정밀오차
 DEPP : 편의 방향의 정밀오차 이다.

4.3. 일제사격에 의한 패턴의 크기 결정

일제사격(Volley)에 의한 수정된 패턴의 길이와 너비를 구하는 과정은 먼저 일제사격에 의한 패턴의 길이 Lv와 너비 Wv를 구한후 <그림 1>과 같이 단일 탄의 수정된 패턴넓이를 고려한 패턴의 길이, 너비를 구한다.



<그림 1> 일제사격에 의한 수정된 패턴의 길이와 너비

일제사격에 의한 수정된 패턴의 길이 L_{vp} 와 너비 W_{vp} , 면적 A_{ap} 는 다음과 같다.

$$L_{vp} = L_{ap} + L_v \quad \text{----- (13)}$$

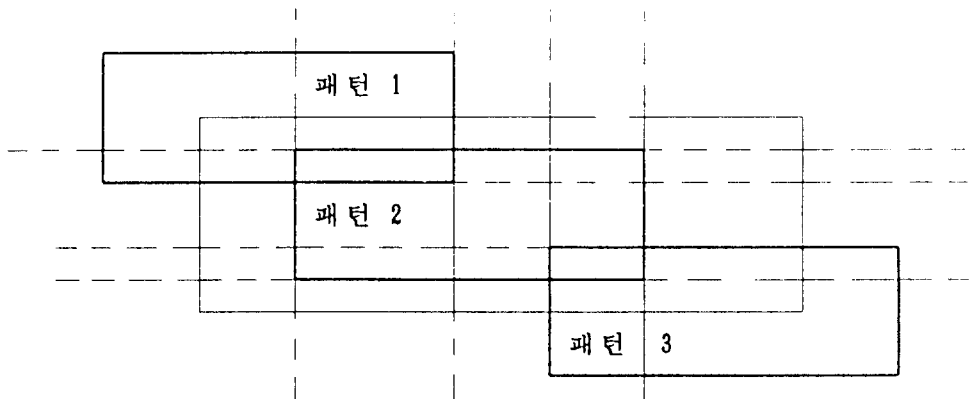
$$W_{vp} = W_{ap} + W_v \quad \text{----- (14)}$$

$$A_{vp} = L_{vp} \cdot W_{vp} \quad \text{----- (15)}$$

5. 피해확률 계산

n 번의 일제사격에 의한 표적의 피해확률 계산은 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 계산되며 그 절차는 다음과 같다.

- 1) n 번의 일제사격시 탄착점 좌표를 난수(Random Number)를 생성하여 계산한다.
- 2) 탄착점 좌표에 의한 패턴을 형성하여 표적과 패턴이 중첩된 피해 면적을 계산한다.



<그림 2> 표적의 분할

- 3) 일제사격에 의한 피해면적이 형성되면 중첩(Overlap) 횟수를 결정하기 위하여 <그림 2>와 같이 표적을 분할한다. MOSSE에서는 패턴의 사거리 및 편향의 방향 좌표를 크기에 따라 순차적으로 분류하여(Sorting) 표적을 분할하며 분할된 소형표적을 구역(Block)이라 한다.
- 4) 분할된 각 구역(Block)마다의 피해확률을 계산하기 위하여 사거리, 편향의 방향의 피해범위(Expected Fractional Coverage) 및 살상확률을 구한다.

n 번의 일제사격에 의한 표적의 피해확률 FD는

$$\begin{aligned}
 FD = & ECR_{11} \cdot ECD_{11} \cdot PK_{11} + ECR_{12} \cdot ECD_{12} \cdot PK_{12} \\
 & + ECR_{13} \cdot ECD_{13} \cdot PK_{13} + \dots \\
 & + ECR_{23} \cdot ECD_{23} \cdot PK_{23} + \dots \\
 & + ECR_{ij} \cdot ECD_{ij} \cdot PK_{ij} + \dots \\
 & + ECR_{pq} \cdot ECD_{pq} \cdot PK_{pq}
 \end{aligned} \tag{16}$$

여기서 ECR_{ij} ($i = 1, 2, 3 \dots p, j = 1, 2, 3 \dots q$) : 사거리방향으로 i 번째 편향방향으로 j 번째 구역의 사거리방향 피해범위
 ECD_{ij} ($i = 1, 2, 3 \dots p, j = 1, 2, 3 \dots q$) : 사거리방향으로 i 번째 편향방향으로 j 번째 구역의 편향방향 피해범위
 PK_{ij} ($i = 1, 2, 3 \dots p, j = 1, 2, 3 \dots q$) : 사거리방향으로 i 번째 편향방향으로 j 번째 구역의 살상확률 이다.

윗식의 계산시 MOSSE에서는 먼저 n 번의 일제사격시 사거리방향으로 i 번째 편향방향으로 j 번째 구역(이후 (i, j) 번째 구역이라함.)에 각 패턴이 피해를 주는 지 여부를 판별하여 중첩횟수를 구한다.

만일 (i, j) 번째 구역에 n_i 개의 패턴이 피해를 준다면 중첩횟수는 n_i 가 되며 (i, j) 번째 구역의 길이가 사거리방향으로 a_1 에서 a_2 까지이며 편향방향으로 b_1 에서 b_2 까지라면 사거리방향의 피해범위 ECR_{ij} 는 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned}
 ECR_{ij} = & \frac{(a_2 - a_1)}{L_t} \frac{1}{n_i} \left\{ \int_{R_a} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} \exp\left[-\frac{(x - \mu_a)^2}{2\sigma_x^2}\right] dx \right. \\
 & + \int_{R_b} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} \exp\left[-\frac{(x - \mu_b)^2}{2\sigma_x^2}\right] dx \\
 & + \int_{R_c} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} \exp\left[-\frac{(x - \mu_c)^2}{2\sigma_x^2}\right] dx \\
 & + \dots \dots \dots \left. \right\} \tag{17}
 \end{aligned}$$

여기서 μ_t ($t = a, b, c, \dots$) : n 번의 일제사격시 (i, j) 번째 구역에 피해를 준 패턴의 사거리방향 조준점
 R_t ($t = a, b, c, \dots$) : n 번의 일제사격시 (i, j) 번째 구역에 피해를 준 패턴의 사거리방향 패턴범위 이다.

또한 편의방향의 피해범위 ECD_{ij} 는 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned}
 ECD_{ij} = & \frac{(b_2 - b_1)}{W_t} \frac{1}{n_i} \left\{ \int_{D_d} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{(y - \mu_d)^2}{2\sigma_y^2}\right] dy \right. \\
 & + \int_{D_e} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{(y - \mu_e)^2}{2\sigma_y^2}\right] dy \\
 & + \int_{D_f} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{(y - \mu_f)^2}{2\sigma_y^2}\right] dy \\
 & + \dots \dots \dots \left. \right\} \dots \dots \dots (18)
 \end{aligned}$$

여기서 μ_s ($s = d, e, f, \dots$) : n 번의 일제사격시 (i, j) 번째 구역에 피해를 준 패턴의 편의 방향 조준점
 D_s ($s = d, e, f, \dots$) : n 번의 일제사격시 (i, j) 번째 구역에 피해를 준 패턴의 편의 방향 패턴범위 이다.

(i, j) 번째 구역이 n 번의 일제사격시 n_i 개의 패턴에 의해 피해를 입었다면 (i, j) 번째 구역의 살상확률 PK_{ij} 는 다음과 같이 구한다.

$$PK_{ij} = 1 - \left(1 - \frac{A_l * n_r * R_r}{A_{vp} * OF} \right)^{n_i * OF} \dots \dots \dots (19)$$

여기서 n_i : n 번의 일제사격시 (i, j) 번째 구역의 중첩횟수
 n_r : 일제사격시 발사탄수
 R_r : 탄의 신뢰도
 OF : 중첩인수 이다.

III. 결과 비교

MOSSE에서도 SQ2에서도 같이 일제사격에 의한 패턴중심이 표적중심을 조준하는 경우의 계산을 수행할 수 있다. 일제사격에 의한 패턴의 크기가 표적의 크기보다 클 경우 운반정확도를 고려치 않는다면 표적중심을 조준하여 사격하여도 충분히 표적의 전면적을 제압할 수 있으므로 표적중심을 조준하여 사격하게 될 것이다.

<표 1>은 일제사격횟수를 변화시키면서 패턴중심이 표적중심을 조준하는 경우의 피해확률을 계산한 것이다. 표적중심을 조준하여 일제사격하는 경우의 피해확률 계산결과 SQ2와 MOSSE의 계산값의 큰차이는 없으며 이는 해석적인 방법(SQ2)과 시뮬레이션방법(MOSSE)의 적용이 모두 가능할 경우 계산상의 차이가 없음을 보여주는 것이다.

<표 1> SQ2와 MOSSE의 계산결과 비교

보기 : SQ2 / MOSSE

일제사격횟수 표적의 크기 (탄의 종류)	1	3	6	9	18
250 x 250 (고폭탄)	0.06 / 0.05	0.16 / 0.16	0.29 / 0.29	0.39 / 0.39	0.58 / 0.62
100 x 100 (고폭탄)	0.15 / 0.15	0.36 / 0.38	0.57 / 0.59	0.69 / 0.72	0.81 / 0.84
250 x 250 (개량고폭탄)	0.06 / 0.06	0.17 / 0.17	0.31 / 0.31	0.43 / 0.43	0.67 / 0.67
100 x 100 (개량고폭탄)	0.09 / 0.09	0.24 / 0.24	0.43 / 0.43	0.57 / 0.57	0.81 / 0.81
250 x 250 (다연장:MLRS)	0.04 / 0.04	0.13 / 0.13	0.24 / 0.24	0.33 / 0.33	0.55 / 0.55
100 x 100 (다연장:MLRS)	0.05 / 0.05	0.13 / 0.13	0.24 / 0.24	0.34 / 0.34	0.56 / 0.56

(단위 : m)

* 결과비교를 위하여 사용된 입력자료는 가상의 자료임.

IV. 결 론

본 연구에서는 무기체계 패턴중심이 표적의 중심점이 아닌 다른 지점을 조준사격하는 경우에도 살상면적을 이용하여 패턴의 중첩효과를 고려한 표적의 피해확률을 계산할 수 있는 무기체계 효과분석 방법론 MOSSE를 소개하였다.

무기체계 효과분석 방법론 MOSSE의 개발에 의하여 제압대상 표적의 크기가 무기체계 패턴의 크기보다 큰 대형표적에 대하여 표적을 몇개의 소형표적으로 분할하여 사격하는 경우에도 살상면적을 이용하여 표적의 피해확률을 계산할 수 있게 되었다.

향후 연구방향으로는 지역표적내의 표적구성요소가 균일하게 분포하지 않는 경우, 즉 표적내의 몇몇 지점에만 핵심시설이나 지휘부등이 설치되어 있는 표적등에 대한 피해확률의 계산과 일제사격이 계속됨에 따라 적표적의 지상노출자세가 변하고 살상면적이 변할 경우에도 표적의 피해확률을 계산할 수 있는 방법론을 정립하는 것이다.

참 고 문 헌

1. AMSAA/JTCG, "JMEM Basic Effectiveness Manual ", 1976.
2. AMSAA/JTCG, "Derivation of JMEM/AS Open End Method ", 1980.
3. KIDA, "ROK-US Defense Analysis Seminar : Vol III", 1983.
4. KIDA, "Weaponering Methodology : Vol I", 1986.
5. KIDA, "Weaponering Methodology : Vol I", 1988.
6. 진 수명외, "유도무기체계 효과분석연구(명중/살상확률중심으로)", 국방과학연구소, 1990.
7. 오 경조, "적의 공중공격에 의한 피해율 산정", 국방과 기술, pp. 5-10, 1982. 7.
8. 한 홍섭, "무기의 효과도분석에 관한 고찰", 국방과 기술, pp. 30-39, 1980. 12.