

## 장약에 기반한 포병탄 EFD 산출 모형에 관한 연구

김현식 · 마정목<sup>†</sup>

### A Study on the Artillery shell's EFD based on Charge

Hyunsik Kim · Jungmok Ma<sup>†</sup>

#### ABSTRACT

Modeling and simulation(M&S) method are used to quantify the weapon effectiveness. The weapon effectiveness of artillery shells was also partially studied, but there was a lack of research on the effects of the choice of charge. Therefore, this paper presents an artillery shell's EFD(Expected Fractional Damage) calculation model based on the charge and identifies differences in the weapon effectiveness of 3D building targets according to the selection of the charge. First, the input data of the calculation model was collected and a required number of shoots was calculated to achieve the desired effects using the proposed model. Finally, a paired sample t-test was conducted to verify the proposed model.

**Key words** : Modeling & Simulation, Weapon effectiveness, EFD(Expected Fractional Damage), paired t-test

#### 요약

무기효과 산출을 위해 모델링 및 시뮬레이션 방법을 많이 사용하고 있다. 포병탄에 대한 무기효과 산출도 일부 진행되었으나, 장약의 선택에 따른 영향에 관한 연구는 부족하였다. 따라서 본 논문에서는 장약에 기반한 포병탄 EFD 산출모형을 제시하고, 장약의 선택에 따른 3차원 건물표적에 대한 무기효과와의 차이를 확인하고자 한다. 우선 산출모형의 입력데이터를 수집하고, 제시한 모형을 이용하여 요망효과 달성을 위한 발사탄수를 산출하였다. 마지막으로 제시된 모형의 검증에 대해 대응표본 t-검정을 실시하였다.

**주요어** : 무기효과, 모델링 및 시뮬레이션, 기대손실과괴확률(EFD), 대응표본 t-검정

## 1. 서론

우리 군은 지난 70여 년 간 무기체계 분야에 있어서 괄목할 만한 발전을 이루었다. 육군 무기체계를 기준으로 살펴보면 자주포, 미사일, 전차 등 현대전의 핵심 무기체계를 상당 부분 국산화 하였으며, 군사 원조를 받았던 과거에서 벗어나 이제는 무기체계를 해외에 수출하는 수준까지 도달하였다.

하지만 무기체계의 외형적인 성장에 비해, 무기체계가 전장에서 얼마만큼의 효과를 달성할 수 있을 지에 대

한 무기효과(Weapon Effectiveness) 산출은 자체적인 생산 능력을 갖추지 못했다. 이로 인해 우리군은 무기효과 산출의 상당부분을 미국의 JMEM(Joint Munitions Effectiveness Manual)에 의존하고 있다(Choi et al., 2015).

따라서 국내에서는 이에 대한 대안의 하나로 M&S(Modeling and Simulation : 모델링 및 시뮬레이션)를 활용한 무기효과 분석을 위해 노력을 하고 있다. 특히, M&S를 이용한 포병탄에 대한 무기효과 산출 연구는 다음과 같다.

Cho(2008)는 장갑차량을 공격하기 위한 지능형 포탄의 전시소요량 산출에 관한 연구를 하였다. 과도하게 소요량을 산출하는 위계임에 의한 상향식 소요산정 방법의 단점을 보완하기 위해 표적할당에 의한 하향식 방법을 제시하였다. 이에 대한 검증을 위해 선진국의 포병 장비 조달비용에서 탄약이 차지하는 비율과 적 장갑차량을 파

**Received:** 14 November 2018, **Revised:** 22 February 2019,  
**Accepted:** 28 February 2019

**† Corresponding Author:** Jungmok Ma

E-mail: jxm1023@gmail.com

Korea National Defense University, Nonsan, Korea

괴할 수 있는 모든 자산 중 포병의 역할 비중인 기대점유 비율을 기준으로, 위게임에 의한 상향식 소요산정 방법과 표적할당에 의한 하향식 방법을 비교하였다.

Kim(2015)은 FASCAM (Family of scatterable mines : 살포식 지뢰)을 이용한 적 장사정포에 대한 억제 효과를 분석하였다. 사표와 실사격 시험자료의 전달정확도를 이용하여 탄착점 생성을 시뮬레이션 하고, 탄착점의 분포를 활용하여 적 진지 영역에 대한 억제율을 계산하였다. 그리고 80%의 억제율을 달성하게 되면 적 장사정포가 정상적으로 활동할 수 없다고 보고, 이를 위한 발수를 제시하였다.

Park(2015)은 건물표적에 대한 간이 파괴효과분석 방법론인 SSPD(Single Sortie Probability of Damage : 단발명중파괴확률)와 EFD(Expected Fractional Damage : 기대손실파괴확률) 중 3차원 건물표적에 대한 산출방법으로 어느 방법이 더 적합한 지를 분석하였다. 이를 위해 탄착각과 건물 높이의 변화에 따른 두 방법론의 결과값을 비교하였으며, 최종적으로 EFD가 더 효과적이라는 것을 증명하였다.

기존 연구들은 주로 포병탄이 표적에 부딪혔을 때의 그 효과에만 집중하고, 포병탄이 표적까지 날아가는 과정에 대해서는 시뮬레이션 내에서 같은 조건으로 고정하거나 고려하지 않았다. 하지만 포신 내에서 포탄을 앞으로 밀어내는 역할을 하는 화약인 장약의 선택에 Fig. 1과 같이 같은 거리에 있는 표적에 대해서 사격하더라도 조건은 달라진다. 즉, 탄도곡선이 달라진다.

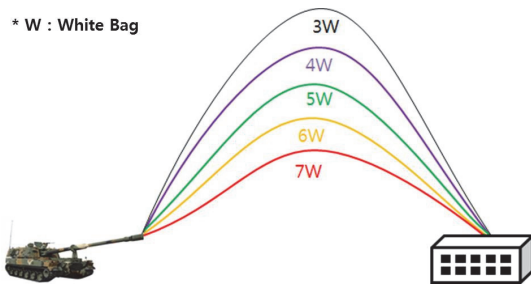


Fig. 1. Ballistic curve according to charges

탄도곡선의 차이로 인한 차이는 크게 두 가지이다. 첫 번째는 포탄이 표적에 부딪칠 때의 탄착각이 다르다. 이것과 관련하여 Park(2015)에서는 탄착각이 커질수록 건물표적의 파괴효과가 커짐을 확인하였다. 두 번째는 탄이 공중에서 비행하는 시간의 차이로 인해, 공중에서 바람 등에 의한 영향도 다르다.

이러한 차이로 인해 표적의 파괴효과 또한 달라질 수 밖에 없음에도 불구하고, 실제 장비를 운용하는 야전에서는 표적에 대한 사격 계획 시 차폐물 및 재고수준 정도만을 고려한 장약의 선택이 이루어지고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 장약에 기반한 포병탄 EFD 산출 모형을 제시하고, 장약 선택에 따른 무기효과를 확인하고자 한다. 우선 미군에서 활용하고 있는 건물표적에 대한 피해평가 기준을 확인하고, 산출모형을 제시하였다. 이를 바탕으로 산출모형을 구성하기 위한 자료를 수집하였으며, 건물표적에 대해 아군의 공격으로 적에게 가하고자 하는 피해의 정도인 요망효과 달성을 위한 발사탄수를 산출하였다. 특히 제시된 장약 기반의 포병탄 EFD 산출모형의 검증을 위해 대응표본 t-검정을 실시하였다.

## 2. 표적 피해평가 기준 및 EFD 방법

### 2.1 건물표적 피해평가 기준

표적에 대한 피해평가가 중요한 이유는 작전을 실시하기 전에는 정확한 피해평가를 통해 아군 자산을 효율적으로 사용하는 최선의 계획을 세울 수 있으며, 작전 실시간에는 표적 피해평가를 기준으로 대상 표적에 대한 재타격 여부를 결정할 수 있기 때문이다.

미군 뿐만 아니라 우리 군에서는 각각의 표적에 대한 표적피해평가 기준을 정하여 운용 중에 있으며, 건물표적에 대해 미 육군에서는 Table 1과 같은 평가 기준을 정립하였다(US AMDRC, 1977).

Table 1. Target-damage criteria about building targets

	Defeat Criteria
Buildings	① Structural damage of a specified level(percent of roof or floor area) ② Damage to principal load-carrying members (trusses, beams, columns, load-bearing walls) requiring replacement or special support during repair ③ Fifty-percent structural damage implies that half of the total floor space has been rendered unusable.

첫 번째 기준은 지붕이나 바닥면적 대비 파괴비율로 정의하는 방법, 두 번째는 트러스, 빔, 칼럼, 로드베어링 벽 등 정비 및 보수에 시간이 과도하게 소요되는 구조물의 파괴로 인한 피해, 세 번째는 단순히 구조물 체적의 50%를 파괴할 확률을 기준으로 하는 것이다. 각각의 기

준에 따라 건물표적의 표적파괴효과를 계산하는 다양한 방법들이 연구가 진행되고 있다(Park, 2016).

본 연구에서 사용되는 EFD는 세 가지 기준 중 첫 번째 기준에 해당하는 연구결과로서, 건물의 구조특성이나 체적 등을 계산하는 방법이 아니라, 건물의 바닥면적 대비 얼마만큼을 파괴할 수 있을 지에 대한 확률을 계산하는 파괴효과분석 방법이다.

## 2.2 장약에 기반한 포병탄 EFD(Expected Fractional Damage) 모형 개요

EFD는 2012년에 Moris Driels에 의해 제시되었으며, EFD 이전에 사용되던 SSPD가 표적크기보다 작은 면적의 파괴효과를 갖는 탄두에 대해서는 적절한 결과값을 도출하지 못하는 단점을 보완하기 위해 제시되었다(Park et al., 2015).

EFD는 표적의 면적에 무기체계의 폭발범위가 얼마나 겹치는 지를 계산하여, 단일무기에 의한 지역표적에 대한 파괴확률을 구하는 방법이다. EFD의 결과값은 확률로 최소값과 최대값은 각각 '0'과 '1'이다. 예를 들어 EFD 계산 결과가 '0.3'이 나온다면, 이는 건물표적에 대한 파괴효과가 30%임을 의미한다.

Fig. 2는 장약에 기반한 포병탄 EFD 계산절차를 나타낸 것이다. 입력데이터로는 공산오차(Probable error), 탄착각(Angle of fall), 건물 크기, MAE(Mean Area of

Effect : 평균유효면적) 총 4가지가 필요하다. 이 중 공산오차와 탄착각은 포병탄 EFD 계산 시 장약에 의해 결정이 된다.

계산을 위한 절차는 정확도, 표적취약성, 효과범위, EFD 계산의 총 4단계로 나누어지며, 절차의 세부적인 설명은 다음 절에서 단계별로 하겠다.

### 2.2.1 정확도 계산

포병탄은 1문의 대포로 동일한 진지에서 같은 조건으로 사격을 하더라도 동일한 지점에 떨어지지 않고 분산되어 떨어지게 된다. 포탄을 조준한 지점과 포탄이 탄착한 지점 간의 거리를 확률변수로 X로 두면, 평균이 0이고, 분산이  $\sigma^2$ 인 표준정규분포(Z)로 묘사할 수 있다. 이때, 사거리(range) 방향과 편의(deflection) 방향은 서로 독립적인 사건이며, 확률밀도함수인 정확도 함수  $g(x)$ 는 Equation (1)과 같다.(Morris, 2012)

$$g(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right] \quad (1)$$

사거리 및 편의 방향에 대한  $\sigma$ 값( $\sigma_r, \sigma_d$ )은 REP(Range error probable : 사거리 공산오차)와 DEP(Deflection error probable : 편 의 공산오차)의 정의를 통해 산출할 수 있다.

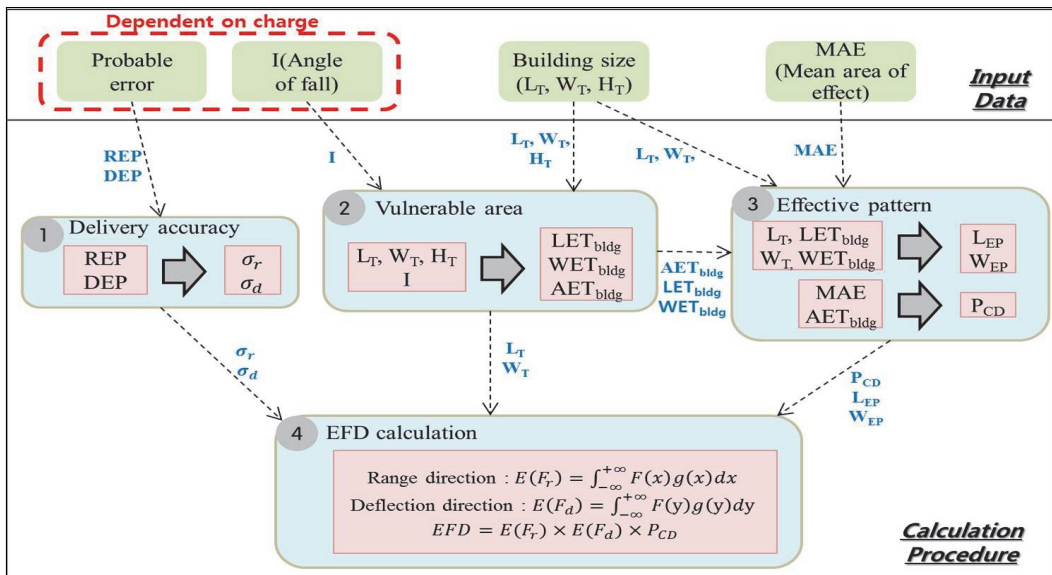


Fig. 2. Calculation procedure of EFD based on charge

공산오차는 탄착중심을 기준으로 50%의 탄이 떨어지는 지점까지의 거리를 말한다. 예를 들어 100발을 사격할 때, REP와 DEP가 10m와 5m라는 말은 사거리 방향의 ±10m 이내, 편의 방향의 ±5m 이내에 각각 확률적으로 50발의 포탄이 떨어진다는 의미이다.

따라서 REP와 DEP는 표적 중심으로부터 사거리 방향과 편 방향에서의 표준정규분포(Z)의 75% 되는 지점까지의 거리이며, Equations (2)와 (3)을 통해 계산할 수 있다.

$$REP = Z \times \sigma_r = 0.6745 \times \sigma_r, \quad \sigma_r = REP / 0.6745 \quad (2)$$

$$DEP = Z \times \sigma_d = 0.6745 \times \sigma_d, \quad \sigma_d = DEP / 0.6745 \quad (3)$$

장약의 선택에 따라 REP, DEP가 달라지므로,  $\sigma_r$ 과  $\sigma_d$ 의 값도 달라짐을 알 수 있다.

### 2.2.2 표적취약성 계산

3차원 건물에 대하여 표적취약성을 계산할 때에는 실제 건물표적 길이보다 큰 값을 적용해야 한다. 그 이유는 첫째, 유류고나 진동에 약한 건물 같은 경우에는 건물 특성으로 인해 포탄에 의해 직접 타격을 받지 않더라도 주변에서의 폭발 영향으로 인해 파괴효과가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 EFD에서는 이를 보정하기 위해서 EMD(Effective Miss Distance : 유효오차거리)를 적용하고 있다.

두 번째는 3차원 건물이 가지고 있는 높이로 인해, 포탄의 궤적 범위에 건물이 포함될 수 있기 때문이다. Fig. 3에서 보는 것과 같이 건물의 높이로 인해, 탄착각으로 투사되는 P까지 취약면적이 늘어나며, 이를 “그림자 (shadow)”라 한다.

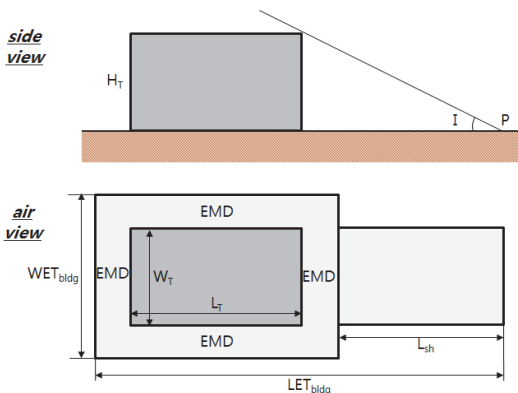


Fig. 3. Three-dimensional target with EMD (revised from Morris, 2012)

따라서 Fig. 3에서 건물표적의 취약면적은 기존 건물의 면적뿐만 아니라, EMD와 그림자 부분까지를 포함한 부분이 된다.

건물표적에 대한 전체 취약면적( $AET_{bldg}$ )을 계산하기 위해서는 건물의 취약면적 길이( $LET_{bldg}$ )를 우선 계산해야 한다. 그에 대한 계산 과정은 다음과 같다.

$$\frac{H_T}{\tan(I)} > EMD \text{ 일 때,}$$

$$L_{sh} = \frac{H_T}{\tan(I)} - EMD \quad (4)$$

$$LET_{bldg} = L_T + 2 \times EMD + L_{sh} \quad (5)$$

$$\frac{H_T}{\tan(I)} < EMD \text{ 일 때,}$$

$$L_{sh} = 0 \quad (6)$$

$$LET_{bldg} = L_T + 2 \times EMD \quad (7)$$

- $L_{sh}$  : 그림자 길이
- $I$  : 탄착각
- $L_T / H_T$  : 건물 길이 / 높이
- $EMD$  : 유효오차거리
- $LET_{bldg}$  : 건물의 취약면적 길이

이 때, 장약의 선택에 따라 탄착각(I)이 달라지므로, 장약의 선택이 건물의 취약면적 길이( $LET_{bldg}$ )를 계산하는데 영향을 미친다.

건물의 취약면적 길이( $LET_{bldg}$ )를 이용하여 건물의 전체 취약면적( $AET_{bldg}$ )과 건물의 취약면적 폭( $WET_{bldg}$ )은 Equations (8)과 (9)를 통해 계산할 수 있다(Morris, 2012).

$$AET_{bldg} = [L_T + 2EMD][W_T + 2EMD] + L_{sh} W_T \quad (8)$$

$$WET_{bldg} = \frac{AET_{bldg}}{LET_{bldg}} \quad (9)$$

### 2.2.3 효과범위(Effective pattern) 계산

EFD의 개요에서 언급하였듯이, EFD는 표적의 면적에 무기체계의 폭발범위가 얼마나 겹치는 지를 계산한다. 그런데 이러한 무기체계의 폭발범위가 표적의 취약면적

보다 작다면, Fig. 4와 같이 폭발범위를 표적의 면적만큼 늘려야만 표적의 면적과 폭발범위를 겹칠 수 있다. 이 때 늘려주는 폭발범위를 효과범위(Effective pattern)라 한다.

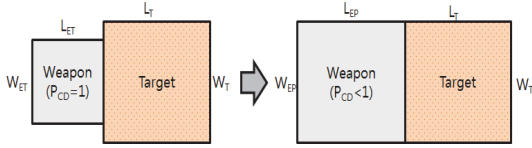


Fig. 4. Expansion of effective pattern (revised from Morris, 2012)

이 때 표적의 길이와 폭만큼 늘려준 효과범위 길이 ( $L_{EP}$ )와 효과범위 폭 ( $W_{EP}$ )은 Equations (10)과 (11)에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} &LET_{bldg} > L_T \text{ 이면, } L_{EP} = LET_{bldg} \\ &\text{else } L_{EP} = L_T \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &WET_{bldg} > W_T \text{ 이면, } W_{EP} = WET_{bldg} \\ &\text{else } W_{EP} = W_T \end{aligned} \quad (11)$$

하지만 파괴효과 길이( $L_{EP}$ )와 폭 ( $W_{EP}$ )을 늘려주더라도, 무기 자체의 폭발력이 달라지는 것은 아니므로, 이에 대한 보정이 필요하다. 이것이 바로  $P_{CD}$ (Conditional probability of Damage : 조건부 파괴확률)이며, 늘어난 효과범위 면적 비율만큼 폭발에 의한 효과를 줄여주는 보상값이다.

이를 식으로 나타내 보면 Equation (12)와 같다.

$$P_{CD} = \frac{\text{Lethal Area}}{\text{Target Vulnerability}} = \frac{MAE}{AET_{bldg}} \quad (12)$$

예를 들어  $40m \times 40m$ 의 면적을 가진 건물표적에 대해  $20m \times 20m$ 의 유효면적(MAE)을 가진 탄을 투하한다고 가정해 보자. 유효면적을 건물의 면적만큼 확장하기 위해서는 4배만큼 확장을 해야 하므로,  $P_{CD}$ 는 0.25가 된다.

### 2.2.4 EFD의 계산

앞의 3단계를 통해 산출된 값들을 이용하여 EFD를 산출할 수 있다.

사거리 방향에 대하여 표적이 무기의 효과범위에 덮여 질 확률( $E(F_r)$ )을 수식으로 표현하면 Equation (13)과

같다.

$$\begin{aligned} E(F_r) &= \int_{-\infty}^{+\infty} F(x)g(x)dx \quad (13) \\ &= \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} F(x) \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right] dx \end{aligned}$$

$F(x)$  : coverage 함수  
 $g(x)$  : 정확도 함수

$E(F_r)$ 은 표적 면적과 무기효과 면적이 겹치는 정도에 대한 함수인  $F(x)$ 와 2.2.1절에서 언급한 정확도 함수  $g(x)$ 의 곱을 적분한 형태이다. 이는 표적이 고정된 상태에서 효과면적의 중심이 특정 위치에 있을 확률  $g(x)$ 에 그 위치에서의 표적 면적과 효과범위에 겹치는 정도  $F(x)$ 의 곱을 모든 범위에서 합한 결과를 의미한다.

이 때, 효과범위가 표적을 완전히 덮는 경우  $F(x)$  값은 1이고, 겹치지 않는다면  $F(x)$  값은 0이다. 그리고 일부분만 겹친다면, 그에 따른  $F(x)$ 를 별도로 구해야 한다. 따라서 특정 지점에서의 정확한 Coverage 함수  $F(x)$ 를 구하기 위해서는 어느 시점부터 겹치지 않고, 겹치는 지를 확인해야 한다. 이에 대한 경우의 수는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7과 같다.

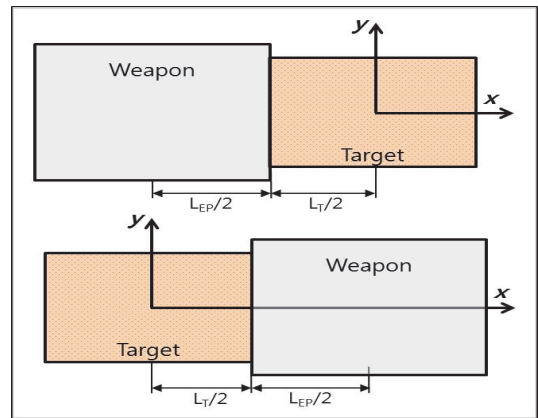


Fig. 5. The weapon area is next to the target area. (revised from Morris, 2012)

Fig. 5는 무기효과 면적과 표적 면적이 중복되는 시점을 의미한다. 이 때, 중복이 시작되는  $s$ 는 좌측 구간이  $-s = -\frac{L_{EP} + L_A}{2}$ , 우측 구간지점이  $s = \frac{L_{EP} + L_A}{2}$ 이다. 즉,  $-s$  이전 구간과  $s$  이후 구간에서  $F(x) = 0$ 이다.



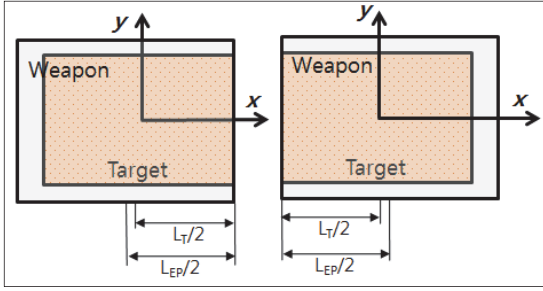


Fig. 6. The weapon area fully covered the target area. (revised from Morris, 2012)

Fig. 6은 두 면적이 완전히 겹치는 경우를 나타낸 것이다.

이 때의 지점  $t$ 는 좌측 구간지점이  $-t = -\frac{L_{EP}-L_A}{2}$ , 우측 구간지점이  $t = \frac{L_{EP}-L_A}{2}$ 이다. 따라서,  $-t$ 에서  $t$ 까지  $F(x) = 1$ 이다.

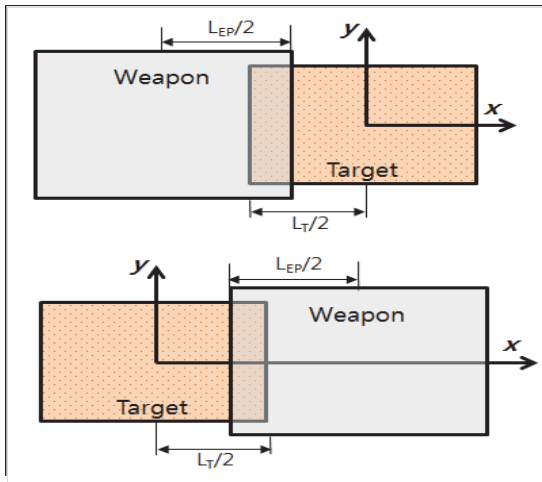


Fig. 7. The Weapon area partially covered the target area. (revised from Morris, 2012)

Fig. 7은 부분적으로 겹치는 경우를 나타내었으며, 좌측 구간지점은  $-s$ 에서부터  $-t$ 까지이고, 이 때의  $F(x)$  값은  $\frac{L_{EP}+L_T}{2L_T} + \frac{x}{L_T}$ 이다. 우측 구간지점은  $t$ 로부터  $s$ 까지이고,  $F(x) = \frac{L_{EP}+L_T}{2L_T} - \frac{x}{L_T}$ 이다.

이를 정리하면 Fig. 8과 같다.

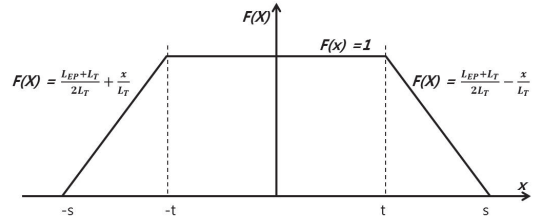


Fig. 8. Fractional coverage function in the range direction (revised from Morris, 2012)

구간별로 coverage 함수  $F(x)$ 의 값을  $E(F_r)$ 에 적용하면 Equation (14)와 같은 결과가 나온다.

$$E(F_r) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x)g(x)dx = \left\{ \begin{aligned} &\int_{-t}^t \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma_x^2}\right)dx \\ &+ \int_{-s}^{-t} \left[ \frac{L_{EP}+L_T}{2L_T} + \frac{x}{L_T} \right] \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma_x^2}\right)dx \\ &+ \int_t^s \left[ \frac{L_{EP}+L_T}{2L_T} - \frac{x}{L_T} \right] \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma_x^2}\right)dx \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

편의방향에 대한 표적이 무기의 폭발범위에 덮어질 확률  $E(F_d)$ 도  $E(F_r)$ 과 동일한 과정을 통해 계산하면 되고, 최종적으로 EFD는 Equation (15)와 같다.

$$EFD = E(F_r) \times E(F_d) \times P_{CD} \quad (15)$$

Equation (15)에서 EFD는 단발에 의해 달성할 수 있는 파괴효과이기 때문에, 요망효과( $EFD_R$ )를 달성하기 위한 발사탄수( $n$ )는 Equations (16)과 (17)을 통해 계산할 수 있다.

$$EFD_R = 1 - (1 - EFD)^n \quad (16)$$

$$n = \frac{\ln(1 - EFD)}{\ln(EFD_R)} \quad (17)$$

### 3. 장약 기반의 포병탄 EFD 산출을 위한 자료 수집

본 장에서는 2장에서 제시한 장약 기반의 포병탄 EFD 산출을 위한 입력 데이터 수집 과정을 명시하였다.

### 3.1 공산오차 및 탄착각

2장에서 언급하였듯이 포병탄에 의한 EFD 산출 시, 공산오차와 탄착각은 장약에 의해 결정된다. 그리고 같은 장약이더라도, 표적까지 사거리별로 공산오차와 탄착각은 차이가 있다. Fig. 9(Department of the Army, 1970)에서 보는 바와 같이, 장약별 chapter의 G표에서 사거리별로 공산오차(사거리 공산오차, 편의 공산오차)와 탄착각을 확인할 수 있다.

현재 한국군에서 사용하고 있는 155밀리 곡사포 기본 사표에서 장약별로 공산오차와 탄착각을 수집하였다. 이때 대표는 한국군의 주력 자주포인 K-9으로 선정하였다.

CHARGE 4G		TABLE G SUPPLEMENTARY DATA											FT 155-AM-2 PROJ. HE, M167 FUZE, PD, M577	
RANGE	ELEV	PROBABLE ERRORS						ANGLE OF FALL		T.M.VEL	MO	COMP SITE FOR ANGLE OF SITE		
		FUZE M564						MIL	M/S			M	MIL	MIL
		R	D	HB	TB	RB	M							
0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	316	0	0.000	0.000	
500	25.4	4	0					26	39.4	308	0	0.001	0.000	
1000	51.7	5	1	1	0.06	18	53	19.1	301	13	0.002	-0.002		
1500	78.9	7	1	2	0.07	19	83	12.3	296	30	0.005	-0.005		
2000	107.0	8	1	2	0.07	21	113	9.0	290	54	0.010	-0.010		
2500	136.2	9	2	3	0.08	22	146	6.9	285	87	0.017	-0.018		
3000	166.6	11	2	4	0.08	23	180	5.6	280	129	0.026	-0.024		
3500	198.4	12	2	5	0.09	25	217	4.6	276	181	0.038	-0.035		
4000	231.7	14	3	7	0.09	26	256	3.9	272	244	0.054	-0.049		
4500	267.0	16	3	8	0.10	27	297	3.3	268	319	0.075	-0.068		
5000	304.5	18	4	10	0.11	29	341	2.9	265	410	0.103	-0.093		
5500	344.9	20	4	12	0.11	30	389	2.5	262	517	0.142	-0.125		
6000	389.0	23	5	14	0.12	32	441	2.2	259	647	0.199	-0.171		
6500	438.3	25	5	17	0.13	33	500	1.9	257	804	0.287	-0.239		
7000	495.5	28	6	20	0.14	35	566	1.6	255	1002	0.445	-0.347		
7500	568.7	31	7	24	0.15	37	647	1.4	254	1269	0.831	-0.653		
8000	677.4	34	8	32	0.17	39	768	1.1	255	1714	1.791	-1.191		
8500	806.8	37	9	46	0.19	38	977	0.7	260	2597	3.216	-2.216		
9000	966.2	35	10	53	0.21	35	1078	0.6	263	3042	-1.849	1.576		
9500	1066.3	32	10	57	0.21	32	1142	0.5	265	3309	-1.461	1.367		
10000	1122.1	30	9	60	0.22	30	1193	0.4	267	3508	-1.301	1.255		
10500	1169.8	27	9	63	0.22	27	1238	0.3	268	3665	-1.208	1.183		
11000	1211.9	24	9	65	0.22	24	1279	0.3	269	3793	-1.146	1.131		
11500	1248.5	21	8	67	0.23	21	1317	0.3	269	3897	-1.101	1.092		
12000	1280.7	18	8	69	0.23	18	1355	0.2	269	3980	-1.066	1.061		

Figure 7-16. Table G.

Fig. 9. Firing table

### 3.2 MAE(건물표적 평균유효면적)

미 JMEM에는 건물표적을 유형별로 나누고, 다시 각각의 건물에 대하여 탄종별 사격 시 그 효과에 대하여 MAE로 제시하고 있다. 우리 군이 가지고 있는 탄에 대한 MAE를 산출해야 하나 이는 현실적으로 어렵다.

따라서 일부 공개된 자료를 이용하여 포병 고평탄의 MAE를 추측해야 하는데, 미 포병탄 자료인 JMEM S/S(Surface to Surface)은 보안상의 이유로 확보가 제한되었다. 따라서 유일하게 공개된 자료인 JMEM A/S(Air to Surface)를 활용하였다.

Table 2는 JMEM A/S 상에 나와 있는 MAE를 나타낸다. 수치 자체는 보안상의 이유로 변환하였다. 건물 유

Table 2. MAEs for structural damage to buildings (notional data)

Building type	Cartridge (weight)					
	Mk 81 (250lb)	Mk 82 (500lb)	M117 (750lb)	Mk83 (1000lb)	Mk84 (2000lb)	M118 (3000lb)
type1	280	460	775	865	1,720	3,340
type2	595	1,000	1,900	2,170	4,420	8,650
type3	2,080	4,060	8,200	9,100	18,100	31,600
...	...	...	...	...	...	...
type16	2,620	4,690	8,470	10,000	19,000	37,000
type17	2,350	4,330	7,300	8,290	19,000	36,100

형은 건물의 재질, 내부 프레임의 종류에 따라 총 17개 유형으로 나뉘며, 건물 유형별 항공탄 6종의 MAE 값을 확인할 수 있다. 예를 들어 type 1의 건물 표적에 대해 Mk81 사격 시에는 280m<sup>2</sup> 정도의 면적에 대하여 파괴효과가 있음을 의미한다.

포병 고평탄과 항공탄이 공통적으로 건물표적에 대해서 폭발효과로 피해를 준다는 점과 동일한 작동원리라는 측면에서 같은 범주로 가정하였다. 탄의 무게를 입력값(X), 표적 유형별 MAE를 출력값(Y)으로 선형 회귀분석을 한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Regression models of MAEs by cartridge's weights

Building type	$\beta_1$	p-value	R <sup>2</sup>	Regression	Artillery HE MAE(m <sup>2</sup> )
type1	0.097	1.75E-05	0.981	Y=0.097*X	8.970
type2	0.257	1.5E-05	0.982	Y=0.257*X	23.755
type3	0.995	9.58E-07	0.994	Y=0.995*X	91.866
type4	1.119	1.03E-06	0.994	Y=1.119*X	103.244
type5	0.558	6.3E-05	0.968	Y=0.558*X	51.482
type6	1.006	3.21E-06	0.990	Y=1.006*X	92.829
type7	0.559	2.81E-06	0.991	Y=0.559*X	51.587
type8	1.626	6.29E-06	0.987	Y=1.626*X	150.112
type9	0.559	2.81E-06	0.991	Y=0.059*X	51.587
type10	0.789	2.89E-07	0.996	Y=0.799*X	72.864
type11	1.006	3.21E-06	0.990	Y=1.006*X	92.829
type12	0.618	1.92E-06	0.992	Y=0.618*X	57.018
type13	0.573	3.29E-09	0.999	Y=0.573*X	52.886
type14	0.888	2.57E-05	0.978	Y=0.888*X	81.925
type15	3.205	8.37E-06	0.986	Y=3.205*X	295.799
type16	1.109	4.47E-06	0.989	Y=1.109*X	102.323
type17	1.090	1.16E-05	0.984	Y=1.090*X	100.564

건물 유형별 회귀식 모두 p-value가 모두 유의함을 확인할 수 있었다. 이에 산출된 회귀식에 고폭탄의 무게 92.3lb (41.86kg)를 대입하여, 포병 고폭탄의 MAE 값을 추측할 수 있었다.

건물의 유형별로 그 값이 차이가 많이 있지만, 우리 군이 보유한 포병 고폭탄이 대략 50m<sup>2</sup>에서 150m<sup>2</sup> 정도의 MAE 값을 가진다는 것을 확인하였다.

#### 4. 장약 기반의 포병탄 EFD 산출 시뮬레이션 구현

##### 4.1 시뮬레이션 조건 및 결과

건물 표적에 대하여 요망효과는 건물 표적 피해평가 기준에 따라 50%로 가정하고, 장약 선택 시 요망효과를 달성하기 위한 발사탄수를 상황별로 계산하였다.

시뮬레이션을 통해 장약의 선택에 따른 무기효과 차이를 확인하기 위해 두 가지 표본 집단을 비교하였다. 첫 번째 집단은 본 논문이 제시하는 장약을 고려한 지원 결심 모형으로서 최선의 장약 선택으로 인한 발사탄수를 적용하였다. 두 번째 집단은 장약을 미 고려한 경우로서, 무작위로 장약을 선정한다고 가정을 하였다. 무작위 선택 시 그 횟수를 무한히 반복하면, 요망효과 달성을 위한 평균 발사탄수는 장약별 발사탄수의 평균이 된다. 따라서 두 번째 집단은 선택 가능한 장약들의 평균 발사탄수를 적용하였다. 시뮬레이션을 위한 조건은 Table 4와 같다.

Table 4. Weapons for verification

Cartridge		HE(High Explosive)
Range(m)		5,000~15,000(m)
Building Target	Length(m)	50 / 75 / 100
	Width(m)	40 / 60 / 80 / 100
	Height(m)	10 / 20 / 30
Charges		3W, 4W, 5W, 6W, 7W, 8, 2U, 3U, 4U * W : white charge / U : unit charge
MAE(m <sup>2</sup> )		100

시뮬레이션을 위해 탄종은 고폭탄(HE)으로 선정하였다. 고폭탄의 사거리는 0m~18,000m이지만 5,000m 이하의 사거리는 포병보다는 박격포와 같이 사거리가 상대적으로 짧은 화기로 사격을 하기 때문에 시뮬레이션에서 제외를 하였고, 15,000m 이상의 경우에는 선택할 수 있는 장약의 수가 2가지 밖에 없어 제외하였다.

표적의 크기는 총 36가지 경우에 대하여 설정 하였다.

건물의 높이는 1층의 높이를 5m 정도라 보고 6층 정도의 높이를 최대치로 설정하여 실험을 설계하였다.

장약은 고폭탄 사격 시 선택할 수 있는 장약 9종(백색 장약 5종, 8호 장약, 단위 장약 3종)을 선택하였으며, MAE는 3.2장에서 산출한 type 17의 결과값인 100m<sup>2</sup>으로 하였다.

일정한 크기를 가진 표적에 대해 사거리를 5,000m에서 15,000m까지 조정하며, 장약별로 요망효과 50%를 달성할 수 있는 발사탄수를 계산한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5에서는 평균 발사탄수(장약 미고려 시)와 최소 발사탄수(장약 고려 시)를 사거리별로 확인할 수 있다. 예를 들어, 사거리 13,000m의 경우 선택할 수 있는 장약은 총 4종(7W, 8, 3U, 4U)이었으며, 평균 발사탄수는 106발이고, 최선의 장약인 7W 선택 시에는 96발만 사격하면 요망효과를 달성할 수 있다.

Table 5. Number of shoots calculation result (building size : 75m×80m×30m)

Charge Range(m)	Number of shoots									average	min
	3W	4W	5W	6W	7W	8	2U	3U	4U		
5,000	109	103	111	127	162	222	118	166	246	152	103
6,000	118	94	99	108	128	173	103	132	191	127	94
7,000	125	93	93	98	110	142	94	112	157	114	93
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13,000	.	.	.	.	96	115	.	97	116	106	96
14,000	.	.	.	.	100	119	.	100	120	110	100
15,000	.	.	.	.	.	124	.	105	127	119	105

36개의 크기가 다른 건물표적에 대해 반복적으로 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Results of simulations

Building Cases Range(m)	Number of shoots							
	Case 1		Case 2		...	Case 36		
	average	best	average	best		average	best	
5,000	38	31	54	39	...	206	145	
6,000	37	31	48	38	...	175	134	
7,000	38	32	45	37	...	157	131	
8,000	40	33	45	36	...	147	127	
9,000	40	35	44	38	...	139	125	
10,000	42	37	45	40	...	136	124	
11,000	43	38	45	40	...	135	126	
12,000	48	41	49	43	...	139	128	
13,000	52	46	53	47	...	143	132	
14,000	56	50	58	51	...	147	135	
15,000	64	56	65	56	...	156	141	



### 4.2 산정결과 검증

최종적으로 장약의 선택에 따라 건물표적 파괴에 관한 효과가 차이가 날 수 있음을 확인하기 위하여 대응표본 t-검정을 실시하였으며, 이를 위한 가설 설정은 다음과 같다.

$$\text{귀무가설}(H_0) : \mu_{\text{random}} - \mu_{\text{best}} \leq 6$$

$$\text{대립가설}(H_1) : \mu_{\text{random}} - \mu_{\text{best}} > 6$$

이때  $\mu_{\text{best}}$ 는 장약 고려 시 요망효과를 달성하기 위한 발사탄수이고,  $\mu_{\text{random}}$ 은 장약 미 고려 시 발사탄수를 의미한다. 장약 미 고려 시에는 장약을 무작위로 선정하는데, 그 횟수를 무한히 반복하면  $\mu_{\text{random}}$ 은 장약별 발사탄수의 평균이 된다.

$\mu_{\text{random}}$ 과  $\mu_{\text{best}}$ 의 발사탄수의 차이가 6발 이상의 차이가 난다면 최선의 장약을 선택하는 것이 효과가 있음을 확인 할 수 있다고 판단하였다. 6발을 기준으로 정한 이유는 1개의 포대는 통상 6개의 대포로 구성되어 있으므로, 6발 이상 차이가 난다는 것은 포대 전체가 1번의 사격을 하지 않아도 됨을 의미하기 때문이다.

하지만 발사탄수의 차이를 6발로 정했을 뿐, 포대가 동시에 표적을 사격함으로써 발생할 수 있는 간섭효과에 대해서는 본 연구에서 고려되지 않았다.

SPSS 프로그램을 이용하여 검증을 실시하였으며, 유의수준은 5%로 설정하였다.

우선  $\mu_{\text{random}}$ 과  $\mu_{\text{best}}$ 의 통계량은 Table 7과 같다. 추가적인 분석을 위해 최악의 장약만을 선택하는 경우(worst)도 확인하였다. 그 결과 평균 발수에서  $\mu_{\text{random}}$ 과는 20발,  $\mu_{\text{best}}$ 와는 32발 정도의 큰 차이가 났다.

Table 7. Paired samples statistics

	Mean (number of shoots)	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
random	90.49	396	30.16	1.51
best	78.39	396	25.69	1.29
worst	110.81	396	42.23	2.12

$\mu_{\text{random}}$ 에 평균 6을 빼 값과  $\mu_{\text{best}}$ 간 대응표본 t-검정 결과는 Table 8과 같다.

검증 결과 p-value는 유의 수준(0.05)보다 작으므로, 귀무가설( $H_0$ )을 기각하고 대립가설( $H_1$ )을 채택한다. 즉 두 표본의 평균의 차이가 6발 이상 발생함을 확인할 수 있었다.

Table 8. Results of paired samples t-test

	Paired Differences			t	df	p-value
	Mean (number of shoots)	Std. Deviation	Std. Error means			
random-best	6.101	8.559	0.430	14.185	395	.000

위의 결과는 건물의 크기와 사거리가 모두 다른 경우의 검증결과였다. 특정 사거리의 결과값이 가설 검증에 유리하게 작용했을 수도 있기 때문에, 사거리별로 동일한 가설을 설정하고 가설 검정을 실시해 보았다.

Table 9. Results of paired samples test according to range

Results Range(m)	Paired Differences			t	df	p-value
	Mean (number of shoots)	Std. Deviation	Std. Error means			
5,000	21.16	16.04	2.67	7.916	35	.000
6,000	12.55	10.46	1.74	7.199	35	.000
7,000	7.80	5.61	0.93	8.340	35	.000
8,000	6.89	4.02	0.67	10.287	35	.000
9,000	2.97	2.77	0.46	6.419	35	.000
10,000	1.31	2.33	0.39	3.398	35	.002
11,000	0.80	1.46	0.24	3.302	35	.002
12,000	2.68	2.00	0.33	8.030	35	.000
13,000	2.48	2.03	0.34	7.340	35	.000
14,000	2.81	2.00	0.33	8.423	35	.000
15,000	5.66	2.47	0.41	13.736	35	.000

Table 9에서 보는 바와 같이 모든 사 거리에 대해 p-value가 유의수준(0.05)보다 작으므로, 귀무가설( $H_0$ )을 기각하고 대립가설( $H_1$ )을 채택하는 결과가 나왔다. 따라서 건물표적에 대한 사격 시 장약의 무기효과를 통계적으로 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 건물표적에 대한 피해평가기준을 확인하고, 장약에 기반한 포병탄 EFD 산출모형을 제시하였다. 또한 EFD 산출을 위한 입력 데이터를 수집하여 장약 선택에 따른 건물표적에 대한 포병 고평탄의 무기효과를 산출하였으며, 장약을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 요망 효과를 달성하기 위한 발사탄수를 비교하고 이

를 대응표본 t-검정을 통하여 검증함으로써 장약 선택에 따른 무기효과 차이를 확인하였다.

본 연구는 장약을 고려할 때와 고려하지 않을 때의 무기효과의 차이 유무를 검증한 것이기 때문에, 계산된 수치 자체는 검증되지 않았다. 따라서 본 연구의 방법론을 통해 실제 작전계획에 적용할 수 있는 발사탄수를 산출하기 위해서는 표적 건물에 대한 유형분석 및 포병탄의 MAE 값 산출이 필요하다.

또한 EFD 자체가 건물 자체의 구조 및 특성을 고려하기보다는 빠른 시간 내에 파괴효과를 산출하는 방법이기 때문에 다른 표적 피해평가 기준으로 발전된 방법들과의 결과값 비교를 통해 EFD 자체에 대한 지속적인 확인 및 검증이 필요하다.

References

Cho, H.Y. and Chung, B.H. (2008) "Study of estimation model for wartime stockpile requirement of intelligent ammunition against enemy armored vehicles", *Journal of Military Operations Research Society of Korea*, 34(2), 143-162.  
 (조홍용, 정병희(2008) "장갑차량 공격용 지능형 포탄의 전시 소요량 산정 모형에 관한 연구", 한국국방경영분석학회지, 34(2), 143-162)  
 Choi, Y.H., Lee, K.T., Pyun, J.J., and Jang, Y.C., (2017) "A study on PK(Probability of Kill) calculation method of the direct fire weapon system using simulation", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 26(3), 115-123.  
 (최연호, 이기택, 변재정, 장영천(2017) "시물레이션 기반 직사화기 무기체계의 살상확률 산정 방법에 관한 연구", 한국시물레이션학회지, 26(3), 115-123)

Department of the Army (1970) "QSTAG 224 Manual Fire Direction Equipment and Methods of Engagement for Post", Available at <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/6-40/Ch7.htm> (Accessed November 1. 2018).  
 Kim, T.G.,(2013), "Analysis procedure for fire power suppression on enemy artillery base using FASCAM", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 18(6), 743-754.  
 (김택구, 서성철, 정경원(2015) "FASCAM을 이용한 적 진지 지역 화력 억제 분석 절차 연구", 한국군사과학기술학회지, 18(6), 743-754)  
 Park, J.H., (2016) "A comparative analysis of damage estimation methodologies on building targets", *Ajou University*, 12-14.  
 (박진호(2016) "건물표적의 피해평가 방법에 대한 비교분석", 아주대학교, 12-14)  
 Park, J.H., Choi, S.Y. and Kim, Y.H., (2015) "A study on simple methodology of distruction effects analysis 3 dimensional building target's by weapon systems", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 24(3), 89-96.  
 (박진호, 최상영, 김영호(2015) "무기체계 3차원 건물표적에 대한 간이 파괴효과분석 방법론 연구", 한국시물레이션학회 논문지, 24(3), 89-96)  
 Moris Driels (2012) "Weaponering conventional weapon effectiveness second edition", AIAA. Pres, Virginia. USA.  
 US AMDRC (1977) "Engineering design handbook : Army weapon systems analysis, part one", 15-7~15-8.



**김 현 식** (gustlrdl3000@naver.com)

2011 육군사관학교 토목공학 학사  
2019 국방대학교 국방과학학과 석사  
2019~ 현재 육군사관학교 생도대 3중대 훈육장교

관심분야 : 국방 시뮬레이션, 무기체계 효과평가



**마 정 목** (jxm1023@gmail.com)

2002 육군사관학교 운영분석 학사  
2008 미국 펜실베이니아주립대(PSU) 산업공학 석사  
2015 미국 일리노이대(UIUC) 산업공학 박사  
2015~ 현재 국방대학교 국방과학학과 부교수  
관심분야 : 국방 모델링 및 데이터 분석학, 무기체계 획득관리