

시물레이션 기반 직사화기 무기체계의 살상확률 산정 방법에 관한 연구

최연호[†] · 이기택 · 변재정 · 장영천

A Study on Pk(Probability of Kill) Calculation Method of the Direct Fire Weapon System using Simulation

Yun Ho Choi[†] · Ki Teak Lee · Jai Jeong Pyun · Young Cheon Jang

ABSTRACT

Dispite the fact that our military has outwardly made notable accomplishments such as the development of weapon systems like tanks, self-propelled artillery, and missiles, there has been a lack of attention to producing weapon effectiveness data that suggests a standard as to what effects the developed weapons will demonstrate on the battlefield. For such reasons, most of the weapon effectiveness data utilizes JMEM data introduced by the United States and as for the rest of the data that cannot be acquired, respective branches create and utilize their own data through research. This research aims to develop a reliable methodology that can meet the requirements of the requesting branches in a short span of time and at a low cost by studying the existing weapon effectiveness data production methodologies such as that of JMEM. As a result I have developed a method that calculates the vulnerable area and the probability of kill of the weapon system that one wants to calculate by applying statistical technique and simulation technique based on weapon effectiveness data of similar weapon systems in JMEM and live test data.

Key words : Probability of Kill, Weapon Effectiveness, Joint Munitions Effectiveness Manual

요 약

우리 군이 그동안 전차, 자주포, 미사일 등 주요 무기체계를 개발하여 전력화 하면서 외형적으로 괄목할만한 성과를 이루어 왔음에도 불구하고, 개발된 무기가 실제 전장에서 어떤 효과를 발휘할 것인가에 대한 척도를 제시해 주는 무기효과자료를 산출하는 것에 대해서는 관심이 부족하였다. 이러한 이유로 아직까지 무기효과자료 산출을 위한 기반이 미흡하여, 무기효과자료는 대부분 미국으로부터 도입된 JMEM 자료를 활용하고 있고 미 확보된 자료에 대해서는 사용부서에서 각자 연구하여 데이터를 생산, 활용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존에 수행되어 온 무기효과 산출방법론을 연구하여 간편하면서도 적은 예산으로 신뢰성있는 무기효과자료를 산출할 수 있는 방법을 도출하는 데 중점을 두었다. 미국의 JMEM 방법론으로부터 식별한 절차 및 알고리즘을 활용하고, 현재 한국군이 보유하고 있는 유사 무기체계의 무기효과자료를 기초로 통계 및 시물레이션기법을 복합적으로 적용하여 직사화기 중 대표화기인 전차를 중심으로 살상확률(Pk)을 계산하는 방법론을 제시하였다.

주요어 : 살상확률, 무기효과, 합동탄약효과편람

1. 서론

우리 군은 작전 및 작전계획 분석, 무기체계효과 및 전

력소요 분석, 전시 자원소요분석 등 분석 분야뿐만 아니라, 연습 및 훈련 분야에도 광범위하게 M&S 모델을 활용하고 있다. 그런데 이러한 M&S 모델의 입력자료 중 가장 중요한 요소로 모델 운용결과의 신뢰성에 가장 큰 영향을 미치는 것이 바로 무기효과자료이다. 무기효과(Weapon Effectiveness)는 특정 무기가 특정 표적에 요망하는 기준 이상의 피해를 입힐 수 있는 능력 또는 가능성의 통계적 표현으로 직사화기의 경우 통상 살상확률

Received: 28 July 2017, **Revised:** 15 September 2017,
Accepted: 15 September 2017

† Corresponding Author: Yun-Ho Choi
E-mail: yhchoi628@naver.com
R.O.K Joint Chiefs of Staff, Seoul, Korea

(probability of kill)을 사용하고 있다.

그러나 우리 군이 그동안 무기체계를 개발하여 전력화 하면서 외형적으로는 괄목할 만한 성과를 이루어 왔음에도 불구하고, 무기효과자료를 산출하는 것에 대해서는 관심이 부족하였다.

이러한 이유로 무기효과자료는 대부분 미국으로부터 도입된 JMEM 자료를 활용하고 있고 미 확보된 자료에 대해서는 사용부서에서 각자 연구하여 데이터를 생산, 활용하고 있다. 따라서 동일한 M&S 모델을 활용하여 동일한 주제에 대해 분석을 하더라도 분석부서에 따라 상이한 결과가 도출되는 문제점이 있어 왔다. 또한 우리가 개발한 무기체계에 대해서는 우리 스스로 무기효과자료를 생산해야만 하기 때문에 이제 우리도 무기효과자료 생산 능력을 갖추어야 한다는 요구가 점점증하고 있다(DATQ, 2010).

ADD, KIDA 등 연구기관을 중심으로 미국의 JMEM 방법론과 유사한 무기효과자료 생산능력을 갖추기 위해 노력하고 있지만, 이러한 능력을 갖추기까지는 아직도 많은 기간과 비용이 소요될 것으로 보인다. 또한 이러한 능력이 확보되더라도 무기효과자료를 생산하는데 많은 기간과 비용이 소요되므로 사용부서의 요구를 적시에 지원하는 것은 제한될 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 기존의 방법론 중 미국의 JMEM 방법론과 JMEM 방법론의 적용이 제한될 때 활용하는 미국 및 한국의 보정방법론(Surrogation Method)에 대하여 연구한 후, 무기효과 산출을 위한 데이터 확보 및 적용 가능성 등 무기효과자료 생산과 관련된 한국의 여건을 고려하여 간편하게 적용할 수 있는 방법론을 개발하였다.

본 연구는 미국의 JMEM 방법론으로부터 식별한 절차 및 알고리즘을 활용하고, 현재 한국군이 보유하고 있는 유사 무기체계의 무기효과자료를 기초로 통계 및 시뮬레이션기법을 복합적으로 적용하여 직사화기 중 대표화기인 전차를 중심으로 살상확률(Pk)을 계산하는 방법론을 제시하였다. 먼저 JMEM 방법론에서 살상확률(Pk) 계산 시 가장 많은 비용과 시간이 소요되는 취약면적(Av)은 기존의 JMEM 방법론의 절차와 알고리즘을 활용하되, 유사 무기체계의 무기효과자료를 기초로 통계적 기법을 통해 산출하는 방법을 제시하였다. 그리고 명중확률(P_H)은 사격 시험 평가자료를 기초로 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용하여 산출하는 방법론을 제시하였다. 또한 연구 방법론에 따라 살상확률(Pk)을 계산한 후 계산 결과를 JMEM에 있는 실제 데이터와 대응표본 t-검정방법으로

검증하여 유의함을 확인하였다.

2. 관련 연구

2.1 JMEM 생산 방법

JMEM(합동탄약효과편람)은 무기체계의 실사격 시험결과와 탄약효과 관련 시뮬레이션 결과를 종합하여 생산된다. 만약 실사격 시험결과와 시뮬레이션 결과가 상이할 경우 전문 분석관들에 의한 데이터 비교분석 및 판단을 통하여 데이터 값을 최종 확정한다. JMEM 시뮬레이션 생산절차는 Fig. 1과 같다(KIDA, 2015).

1단계는 표적정보를 수집하고 생산하는 단계이다. 2단계는 표적형상 모델을 개발하는 단계이다. 표적형상 제작 도구인 BRL-CAD 등을 이용하여 외관형상 뿐만 아니라 각 내부 부품형상까지 측정하여 표적형상 모델을 개발한다. 3단계는 표적의 취약성을 해석하는 단계로 표적 취약성 분석모델들을 활용하여 방위각별 표적의 취약성 정도를 판단하고 계산한다. 4단계는 효과지수 및 살상면적 산출을 계산하며, 5단계는 살상확률을 최종적으로 계산한다.

이러한 JMEM 생산절차는 데이터 신뢰성이 높다는 장점이 있지만 데이터 산정 소요시간이 과다하고, 특히 생산체계 구축에 고비용이 발생하는 단점을 가지고 있다.



Fig. 1. Concept of JMEM Production(Moon et al., 2015)

2.2 데이터 보정 방법

2.2.1 미국 AMSAA의 보정 방법

이 방법은 시간과 예산이 제한되고 생산체계가 미구축된 미래 무기체계 등을 분석해야 될 경우 미군에서 활용하는 방법이다. 미 AMSAA의 Surrogation 방법은 Table. 1에서 보듯이 크게 4단계(세부 10단계)로 이루어져 있다 (Joshua, 2015).

Table 1. Main Steps of Surrogation

| 1단계 | 2단계 | 3단계 | 4단계 |
|-----|----------|---------|-----|
| 준비 | 그룹화 및 비교 | 유사표적 결정 | 검토 |

1단계는 준비단계로 분석대상 표적과 기준이 되는 표적들에 대한 특성자료를 수집하고 단위들을 표준화한다. 2단계는 그룹화 및 비교하는 단계로 각 표적에 대한 특성값들을 그룹화하여 일치여부를 비교한다. 3단계는 유사표적 결정단계로 분석대상 표적과 가장 유사한 기준 표적을 결정한다. 4단계는 검토단계로 무기체계 및 탄약 효과 분석관련 전문가로 구성된 전문가 그룹(SWG : Surrogation Working Group)에 의해서 결정된 자료를 검토하고 최종 승인여부를 판단한다.

Surrogation 방법은 저비용으로 비교적 짧은 기간 내에 사용 가능한 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있지만 데이터 신뢰성이 JMEM 생산방법 보다 현저히 떨어지며, 무기체계 특성분류와 가중치 부여 / 최종 승인 등을 위해서 수십년의 경험을 보유한 무기체계 전문가 그룹이 필요하다라는 단점을 가지고 있다.

2.2.2 KIDA의 하이브리드 보정방법

한국 KIDA의 하이브리드 방법은 미군의 Surrogation 방법론에 CAA의 WEI(Weapon Effectiveness Index : 무기효과지수) 개념을 추가하여 유사 무기체계의 취약성 면적을 그대로 적용하는 것이 아니라 취약성 면적에 대한 가중치를 차등하게 부여하여 최종 살상률을 계산하는 방법이다. Fig. 2에서 보듯이 AMSAA의 Surrogation 방법을 이용하여 기준표적을 선정한 후 표적의 특성값들을 비교한다. 비교된 표적의 특성들에 CAA WEI 개념을 적용하여 취약성 형태별로 영향을 주는 특성들을 식별하고 가중치를 부여한다. 가중치 부여 후에 살상형태별 취약성 승수를 계산하고 기준표적의 취약성 면적에 곱하여 최종 살상확률 값을 산정한다(Moon et al., 2012).

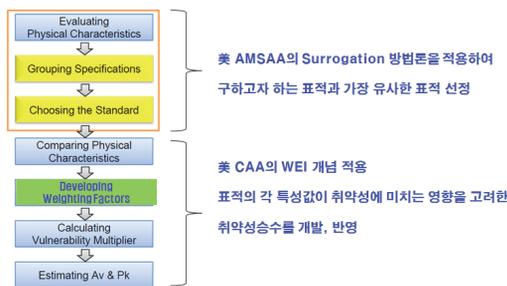


Fig. 2. Concept of JMEM Production(Moon et al. 2012)

하이브리드 방법은 미 보정방법론 보다 세밀한 분석을 통하여 데이터의 신뢰성을 향상시킬 수 있다는 장점은 있으나 보다 전문적인 SWG가 없다면 구현하기가 어려운 단점을 가지고 있다.

3. 직사화기 살상확률 산정 방법

3.1 개요

직사화기 살상확률 산정방법은 JMEM 생산체계가 구축되지 않은 상태에서 기존의 보정방법론 보다 데이터 신뢰성이 향상된 방법을 개발하고 실제 사용가능한 데이터를 생산하기 위해서 시작되었다. 이 방법이 Fig. 3에서 보듯이 기존 JMEM 데이터에 활용할 수 있는 살상확률 (M60전차가 적 T-62전차에 사격한 결과) 및 탄 직경별 취약면적 데이터, 국방과학연구소의 실사격 전차 탄약 분산도 실험데이터를 기초로 통계적 기법 및 탄약효과 산정관련 수식 그리고 몬테카를로 시물레이션 등을 활용한 보정방법으로 총 5단계로 구성되어 있다.

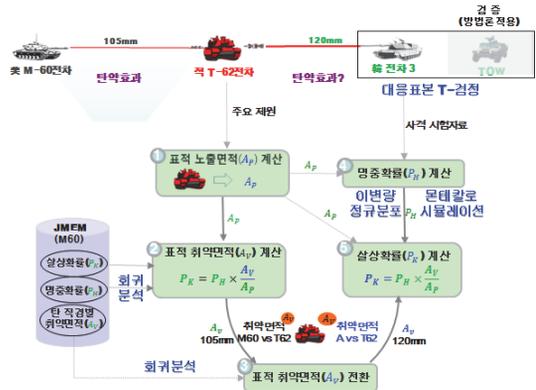


Fig. 3. Concept of estimation method for probability of kill based on simulation

3.2 단계별 세부 방법

3.2.1 대상표적의 노출면적(A_{FT}) 계산(1단계)

대상표적의 노출면적 계산은 먼저 Jane's 연감의 도면 및 주요제원을 획득하여 활용한다. Jane's 연감에서 획득된 정면과 측면의 도면을 포토샵의 픽셀 계산법을 이용하여 Fig. 4와 같이 노출면적을 산정한다(Faulkner, 2015). 정면과 측면의 노출면적을 산정한 후 정면과 측면의 투사면적을 이용하여 도면 획득이 제한되는 기타 방위각 (30°, 60°, 120°, 150° 등)들의 노출면적을 계산한다. 투

사면적을 이용한 노출면적 산정 공식은 다음과 같다.

$$0 < i < 90\text{일 때} \quad (1)$$

$$A_{P_{ti}} = A_{P_{0^\circ}} \times \cos(i) + A_{P_{90^\circ}} \times \cos(90^\circ - i)$$

$$90 < i < 180\text{일 때} \quad (2)$$

$$A_{P_{ti}} = A_{P_{0^\circ}} \times \cos(180^\circ - i) + A_{P_{90^\circ}} \times \cos(i - 90^\circ)$$

$A_{P_{ti}}$: 방위각(i)에서 대상표적(t)의 노출면적

$A_{P_{0^\circ}}$: 정면(0°)에서 대상표적(t)의 노출면적

$A_{P_{90^\circ}}$: 측면(90°)에서 대상표적(t)의 노출면적



Fig. 4. Calculation of Exposure Area

3.2.2 기준 무기체계 기준 취약면적($A_{V_{stki j}}$) 계산(2단계)

3.2.2.1 운동에너지탄일 경우(AP탄)(Morris, 2013)

JMEM의 살상확률/명중확률(P_k, P_h)과 노출면적(A_p)을 이용하여 취약면적(A_v)을 도출한다. 1단계에서 계산된 표적의 노출면적($A_{P_{ti}}$)와 JMEM자료에서 기준 무기체계 M60전차의 명중확률($P_{H_{stij}}$)과 살상확률($P_{K_{stki j}}$)을 다음의 수식에 대입하여 취약면적($A_{V_{stki j}}$)을 산출한다. 운동에너지탄은 사거리별로 표적에 대한 관통력이 감소가 되어서 사거리별 취약면적이 변화하는 특성을 가지고 있다 (ROKMA, 2003).

$$P_{K_{stki j}} = P_{H_{stij}} \times P_{K/H_{stki j}} = P_{H_{stij}} \times \frac{A_{V_{stki j}}}{A_{P_{ti}}} \quad (3)$$

$$A_{V_{stki j}} = P_{K_{stki j}} \times \frac{A_{P_{ti}}}{P_{H_{stij}}} \quad (4)$$

s : M60 전차(기준 사격무기)

t : T-62전차(대상표적)

k : F -kill, K -kill, M -kill, MF -kill(살상형태)

i : $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ (방위각)

j : 200, 500, ..., 2500, 3000m(사거리)

3.2.2.2 화학에너지탄일 경우(HEAT탄)

화학에너지탄은 사거리에 무관하게 관통력이 일정한

특성을 갖고 있으며 사거리별 취약면적이 동일한 특성이 있으므로 다음의 회귀분석을 이용하여 수식을 계산한다.

$$\frac{\text{취약면적}(A_{V_{stki j}})}{\text{노출면적}(A_{P_{ti}})} = \beta_1(\text{상수}) \quad (5)$$

$$\beta_1 = \frac{P_{K_{stki j}}}{P_{H_{stij}}} = \frac{A_{V_{stki j}}}{A_{P_{ti}}} \quad (6)$$

JMEM의 살상확률과 명중확률을 이용하여 β_1 값을 계산 후 취약면적을 계산한다. 이때 적 T-62전차의 피해형태별 방위각별 사거리별 $P_{H_{stij}}$ 와 $P_{K_{stki j}}$ 를 이용하여 회귀모형을 추정한다. 식 (7)과 (8)에서 추정하는 살상확률과 취약면적이 동일한 상수 값을 가진다는 것을 알 수 있으며, $\beta_0 = 0$ 인 회귀모형임을 알 수 있다. Table. 2는 방위각별 추정된 회귀모형이며 1단계에서 계산된 노출면적을 대입하여 취약면적을 계산한다.

$$\hat{P}_{K_{stki j}} = \beta_1 \times P_{H_{stij}} (\beta_0 = 0) \quad (7)$$

$$\hat{A}_{V_{stki j}} = \beta_1 \times A_{P_{ti}} (\beta_0 = 0) \quad (8)$$

Table 2. Regression models by angles (example, s : M60, t : NK T-62, k : K-kill)

| 방위각 | R^2 | p-값 | 회귀모형 |
|------------------|---------|----------|---|
| 0° (정면) | 0.99536 | 1.26E-10 | $A_{V_{s60t0^\circ}} = 0.21497 \times A_{P_{t0^\circ}}$ |
| 30° | 0.98991 | 2.84E-09 | $A_{V_{s60t30^\circ}} = 0.19681 \times A_{P_{t30^\circ}}$ |
| 60° | 0.98853 | 4.76E-09 | $A_{V_{s60t60^\circ}} = 0.29443 \times A_{P_{t60^\circ}}$ |
| 90° (측면) | 0.98851 | 4.8E-09 | $A_{V_{s60t90^\circ}} = 0.36157 \times A_{P_{t90^\circ}}$ |
| 120° | 0.97477 | 1.12E-09 | $A_{V_{s60t120^\circ}} = 0.35411 \times A_{P_{t120^\circ}}$ |
| 150° | 0.95904 | 7.83E-07 | $A_{V_{s60t150^\circ}} = 0.13907 \times A_{P_{t150^\circ}}$ |
| 180° (후면) | 0.92182 | 1.06E-05 | $A_{V_{s60t180^\circ}} = 0.11192 \times A_{P_{t180^\circ}}$ |

3.2.3 산출대상 무기체계 기준 취약면적($A_{V_{ftki j}}$)으로 전환(3단계)

2단계에서 구한 취약면적은 기준 무기(M60전차)에서 105mm탄으로 적 T-62전차를 사격했을 때 대상표적의 취약면적($A_{V_{stki j}}$)이다. 따라서 3단계는 산출대상 무기체계 즉 전차3으로 적 T-62전차를 공격시의 취약면적으로 전환하는 단계이다. Fig. 5는 탄 직경(AD)별 취약면적의 그래프이며, Table. 3은 탄 직경별 취약면적을 회귀분석한 결과이다.

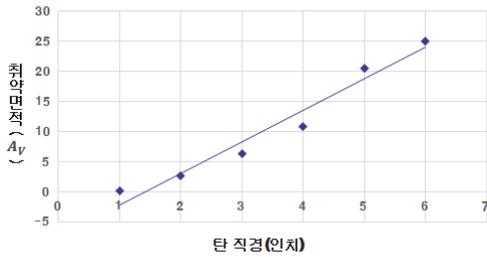


Fig. 5. Estimate graph of Av by Ammunition Diameter(Notional Data)

Table 3. Regression models of Av by Ammunition Diameterz(AD) and Kill type

| 살상유형 | β_1 값 | p-값 | R^2 | 회귀식 |
|----------|-------------|----------|----------|-------------------|
| F-kill | 3.52198 | 0.000446 | 0.93030 | $Y = 3.52198 * X$ |
| K-kill | 8.94505 | 0.000124 | 0.95801 | $Y = 8.94505 * X$ |
| M-kill | 6.06593 | 0.000029 | 0.97620 | $Y = 6.06593 * X$ |
| M/F-kill | 9.20182 | 0.001018 | 0.948361 | $Y = 9.20182 * X$ |

Table. 3에서 구해진 살상유형별 회귀식을 이용하여 기준무기와 분석대상 사격무기의 대상표적에 대한 취약면적 값을 계산한다. 이 값을 식(7)에 입력하여 대상표적의 취약면적 전환비율 $R_{A_{V_{fik}}}$ 를 구한다. 최종적으로 식(10)을 이용하여 분석대상 무기의 표적에 대한 취약면적을 계산한다.

$$R_{A_{V_{fik}}} = \frac{S_{A_{V_{fik}}}}{S_{A_{V_{stk}}}} \quad (9)$$

$$A_{V_{fikij}} = A_{V_{stkij}} \times R_{A_{V_{fik}}} \quad (10)$$

f : K전차3(분석대상 사격무기)

$R_{A_{V_{fik}}}$: 산출대상 무기 취약면적으로 전환비율

$S_{A_{V_{stk}}}$: 기준무기의 탄두직경에 따른 대상표적에 대한 취약면적

$S_{A_{V_{fik}}}$: 분석대상 사격무기의 탄두직경에 따른 대상 표적에 대한 취약면적

$A_{V_{stkij}}$: 기준무기의 대상표적에 대한 취약면적

$A_{V_{fikij}}$: 산출대상 무기의 표적에 대한 취약면적

3.2.4 산출대상 사격무기의 대상표적에 대한 명중 확률 ($P_{H_{fikj}}$) 계산(4단계)

국과연의 탄약 분산도 시험평가자료 및 이변량 정규분포를 활용하여 명중확률을 계산하며 절차는 다음과 같다.

첫째, fig. 6에서 대상표적의 노출면적을 직사각형으로 전환하여 너비(a), 높이(b) 값을 구한다.

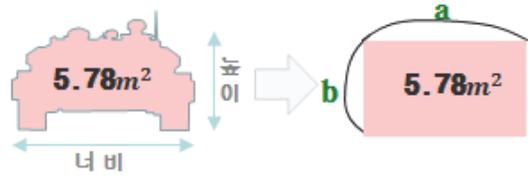


Fig. 6. Conversion from target appearance area to rectangle

둘째, 국방과학연구소 사격시험평가자료의 탄착점 분포를 이용하여 사격 오차값(σ_x, σ_y)을 계산한다. 사격오차 개념은 Fig. 7과 같으며 오차는 식(11)과 (12)로 나타낼 수 있다(ADD, 2007).

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{MPI}^2 + \sigma_{PRE}^2} \quad (11)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{MPI}^2 + \sigma_{PRE}^2} \quad (12)$$

σ_{MPI} : 평균탄착점 오차(Mean Point of Impact error)

σ_{PRE} : 정밀도 오차(Precision error)

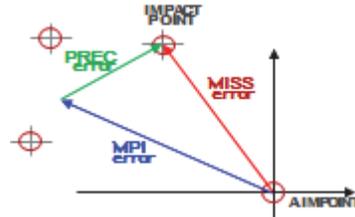


Fig. 7. Total error(Morris, 2013)

셋째, 이변량 정규분포를 활용하여 명중확률을 계산한다. 앞에서 계산된 표적의 너비(a), 높이(b), 그리고 오차값(σ_{total})을 식(13)에 대입하여 분석대상 사격무기의 대상표적에 대한 명중확률을 계산한다.

$$PH_{ft} = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \int_{-a/2}^{a/2} \exp\left(-\frac{(x-u_x)^2}{2\sigma_x^2}\right) dx \right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \int_{-b/2}^{b/2} \exp\left(-\frac{(y-u_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) dy \right) \quad (13)$$

(Kim et al., 2010)

또한 본 연구에서는 위의 수식을 이용한 계산과는 별

도로, 사격 시험평가자료를 기초로 몬테칼로 시뮬레이션 (Monte Carlo simulation)을 활용하여 명중확률($P_{H_{f_{tkij}}}$)을 계산하는 방법을 제시하였다. 몬테칼로 시뮬레이션은 난수를 반복적으로 생성하고 반복수행을 통해 구하고자 하는 결과 즉, 예측치의 값을 확률적으로 계산하는 방법으로 모의 횟수를 반복해 갈수록 추정값은 실제에 가까운 값을 얻을 수 있다. 사격 시험평가 결과 수평오차(σ_x)와 수직오차(σ_y)를 구할 수 있으며, 각 탄착점이 정규분포를 따른다고 하면 몬테칼로 시뮬레이션으로 명중확률($P_{H_{f_{tkij}}}$)을 계산할 수 있다(Cheon et al., 2016).

3.2.5 사격무기의 대상표적에 대한 살상확률($P_{K_{f_{tkij}}}$) 계산 (5단계)

최종적으로 살상확률을 구하기 위해서 1단계의 표적의 노출면적(A_{P_t}), 3단계의 분석대상 무기의 표적에 대한 취약면적($A_{V_{f_{tkij}}}$), 4단계의 분석대상 무기의 표적에 대한 명중확률($P_{H_{f_{tkij}}}$)을 식(14)에 대입하여 최종 살상확률을 계산한다.

$$P_{K_{f_{tkij}}} = P_{H_{f_{tkij}}} \times \frac{A_{V_{f_{tkij}}}}{A_{P_t}} \quad (14)$$

4. 산정결과 및 검증

4.1 개요

본 연구에서 제시한 시뮬레이션 기반 직사화기 무기효과(살상확률) 산출 방법론에 의해 산출한 결과에 대하여 기존의 JMEM 자료와 비교를 통해 검증을 실시하였다. 이를 위해 먼저 검증 대상을 선정하고, 검증 대상 무기체계 및 표적에 대하여 연구 방법론을 적용하여 살상확률($P_{K_{f_{tkij}}}$)을 산출한 뒤, 산출 결과를 JMEM에 제시된 자료와 비교하여 검증하되, 검증 방법은 대응표본 t-검정방법을 사용하였다.

검증 대상 선정은 연구 방법론을 적용하여 살상확률($P_{K_{f_{tkij}}}$)을 산정한 뒤 결과값의 신뢰성에 대하여 비교할

수 있는 자료가 있어야 하기 때문에, 한국군이 보유한 JMEM 자료에 살상확률이 제시되어 있는 무기체계와 표적으로 Table. 4과 같이 선정하였다.

4.2 산정결과 검증

연구 방법론을 적용하여 표적별로 산출된 살상유형별·방위각별 살상확률($P_{K_{f_{tkij}}}$)을 실제 JMEM에 수록되어 있는 TOW의 살상확률($P_{K_{f_{tkij}}}$)과 비교를 통해 검증하였으며 t-검정을 위한 가설 설정은 다음과 같다.

$$\text{귀무가설}(H_0) : \mu_{TOW} - \mu_{152mm} \geq 0.1$$

$$\text{대립가설}(H_1) : \mu_{TOW} - \mu_{152mm} < 0.1$$

이때 μ_{TOW} 는 JMEM에 수록되어 있는 TOW의 살상확률 데이터의 평균이며, μ_{152mm} 는 연구 방법론을 적용하여 산정한 살상확률 데이터의 평균이다. 따라서 TOW에 대한 무기효과자료를 연구방법론을 적용하여 산정한 후, 이 값이 실제 JMEM에 있는 데이터와 10%의 오차범위 안에 들어 가는 지를 검증해 보는 것이다.

오차 허용범위를 10%로 선정한 이유는 산출된 데이터가 주로 시뮬레이션 모델의 기초 입력자료로 운용되는 점을 고려하여 현재 시뮬레이션 모델의 데이터 사용 실태를 분석해 보고 시뮬레이션을 활용하는 분석전문가들의 의견을 종합해 볼 때, 90% 정도의 정확도를 보장할 수 있다고 한다면 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성도 보장 가능하리라고 판단하였다. 또한 살상확률 데이터 한 개를 생산하는 데 JMEM 방법론의 경우 약 2~3년간 수십억 원의 비용이 소요되는 것에 비해 단기간에 적은 비용으로 산출이 가능한 점을 고려해 볼 때, 이 정도의 정확도를 보장한다면 충분히 경제성이 있고 실제 적용이 가능하리라 판단하였다.

검증을 위해 3장에서 제시한 방법으로 산출한 살상확률 산출결과를 Table. 5와 같고 유의수준(α)은 0.05이며 단측검정을 실시하였고, 이렇게 설정한 가설에 대하여 엑셀을 이용하여 대응표본 t-검정을 실시한 결과는 Table. 6과 같다.

t-검정 결과 적 전차1, 적 장갑차1, 적 장갑차2에 대한 P_{value} 는 각각 4.344E-16, 1.732E-18, 1.996E-07로 유의수준(α , 0.05)보다 모두 작으므로 귀무가설(H_0)을 기각하고 대립가설(H_1)을 채택하게 된다. 즉 대립가설(H_1)을 채택하게 됨에 따라 두 표본의 평균의 차이가 10% 범위 이내에 있다고 볼 수 있다.

Table 4. Weapons for Verification

| | | |
|------------|---------|---------------------|
| 무기체계(1종) | | 152mm TOW(대전차 유도무기) |
| 표적 (3종) | 전 차(1종) | 적 전차1 |
| | 장갑차(2종) | 적 장갑차1, 적 장갑차2 |
| 탄 약(1종) | | HEAT탄(성형작약탄) |

Table 5. Comparison of production data and JMEM data at TOW weapon system(Notional data)

| 구분 | 각도 | 적장갑차1 | | 적장갑차2 | | 적전차1 | |
|------------------------------|------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | | JMEM 데이터 | 산출 데이터 | JMEM 데이터 | 산출 데이터 | JMEM 데이터 | 산출 데이터 |
| F - Kill (화력 살상) | 0° | 0.1 | 0.14 | 0.2 | 0.21 | 0.22 | 0.21 |
| | 30° | 0.11 | 0.17 | 0.22 | 0.23 | 0.28 | 0.36 |
| | 60° | 0.09 | 0.14 | 0.22 | 0.23 | 0.27 | 0.36 |
| | 90° | 0.11 | 0.16 | 0.21 | 0.23 | 0.27 | 0.34 |
| | 120° | 0.11 | 0.16 | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.13 |
| | 150° | 0.11 | 0.15 | 0.19 | 0.21 | 0.24 | 0.12 |
| K - Kill (완전 살상) | 180° | 0.15 | 0.16 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| | 0° | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| | 30° | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.19 |
| | 60° | 0.18 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.23 |
| | 90° | 0.18 | 0.17 | 0.13 | 0.12 | 0.16 | 0.24 |
| | 120° | 0.18 | 0.17 | 0.14 | 0.14 | 0.17 | 0.07 |
| M - Kill (기동 살상) | 150° | 0.15 | 0.16 | 0.1 | 0.12 | 0.14 | 0.05 |
| | 180° | 0.26 | 0.26 | 0.2 | 0.21 | 0.2 | 0.21 |
| | 0° | 0.29 | 0.29 | 0.22 | 0.23 | 0.23 | 0.26 |
| | 30° | 0.28 | 0.29 | 0.22 | 0.23 | 0.26 | 0.35 |
| | 60° | 0.27 | 0.28 | 0.22 | 0.23 | 0.26 | 0.36 |
| | 90° | 0.28 | 0.29 | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.36 |
| 120° | 0.29 | 0.29 | 0.22 | 0.23 | 0.26 | 0.29 | |
| 150° | 0.26 | 0.26 | 0.2 | 0.21 | 0.26 | 0.36 | |
| 180° | 0.17 | 0.19 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | |

Table 6. Verification statistics

| 구분 | 적장갑차1 | | 적장갑차2 | | 적전차1 | |
|--------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | JMEM 데이터 | 산출 데이터 | JMEM 데이터 | 산출 데이터 | JMEM 데이터 | 산출 데이터 |
| 평균(μ) | 0.187 | 0.202 | 0.186 | 0.191 | 0.212 | 0.234 |
| 자유도 | 20 | | 20 | | 20 | |
| t 통계량 | -22.8058 | | -30.2946 | | -7.3759 | |
| P(T<t) | 4.344E-16 | | 1.732E-18 | | 1.996E-07 | |
| 단측 검정 [유의확률] | 4.344E-16 | | 1.732E-18 | | 1.996E-07 | |
| t 기각치 | 1.725 | | 1.725 | | 1.725 | |
| 단측 검정 | 1.725 | | 1.725 | | 1.725 | |

따라서 연구방법론에 의한 무기효과 산정결과는 실제 JMEM에 있는 무기효과자료와 비교할 때 10%의 오차 범위내에 있다고 할 수 있으며, 본 연구방법론은 통계적으로 유의한 것으로 판명되었다.

4. 결론

지금까지 무기효과자료는 대부분 미국으로부터 일부 확보한 JMEM자료를 그대로 활용하고 있다. 그러나 우

리가 개발한 무기에 대한 무기효과자료는 우리 스스로 산출해야 하기 때문에 우리 스스로 무기효과자료 생산을 위한 능력을 갖추어야만 한다.

우리 군 및 연구기관에서도 무기효과자료 생산을 위한 기반과 능력 확보를 위해 노력하고 있다. 그러나 ADD 등 연구기관에서는 주로 미국의 JMEM방법론과 유사한 무기효과자료 생산능력을 갖추는 데 노력을 집중하고 있어서 이러한 능력을 갖추기까지 많은 기간과 비용이 소요되고, 능력이 갖추어져도 데이터 생산에 많은 시간과 비용이 들기 때문에 무기효과자료를 사용하는 분석부서나 야전부대의 요구를 적시적으로 지원하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 기존의 방법론을 연구 분석해 보고 우리 군의 여건을 고려하여 적은 예산으로 짧은 기간에 어느 정도 신뢰성을 보장할 수 있는 무기효과자료를 생산할 수 있는 방법론을 개발하기 위한 것이다.

먼저 미국의 JMEM 방법론은 산출 결과에 대한 신뢰성은 가장 높으나 이러한 산출 능력을 갖추는 데 너무 많은 비용과 기간이 소요되고 능력이 갖추어지더라도 데이터를 생산하는 데 많은 비용과 기간이 소요되기 때문에 당분간 적용이 어렵다. 다만 ADD 등 연구기관에서 이러한 능력을 갖추기 위해 노력하고 있는 만큼 연구기관 위주로 이러한 능력을 갖출 수 있도록 군에서 지원하는 한편 그 이전에 군에서 활용할 수 있는 방법론을 개발하여 적용하는 것이 타당할 것으로 판단하였다.

미국 AMSAA의 보정방법론과 KIDA의 보정방법론은 유사표적의 제원을 활용하여 비교적 짧은 기간에 적은 예산으로 산출이 가능하다는 장점은 있으나 이 방법을 적용하기 위해서는 무기체계 및 무기효과분석 분야의 많은 전문가 그룹이 필요하고 산출결과에 대한 신뢰성 평가가 제한된다는 단점이 있다.

본 연구방법론은 JMEM에 있는 유사표적 자료를 활용하는 점에서는 같은 보정방법론이나 JMEM 방법론에서 활용하는 검증된 수식과 통계적 기법, 시뮬레이션 기법을 복합적으로 적용하여 짧은 기간에 적은 비용으로 무기효과 산출이 가능하도록 개발하였다. 신뢰성 면에서는 미국의 JMEM 방법론에 비하여 떨어지겠지만 통계적 검증을 통해 통계적으로 유의함을 증명하였다.

향후 국내 개발 무기체계 등 무기효과자료를 미확보하고 있는 무기체계에 대하여 본 연구방법론을 활용하여 데이터를 생산하고 이를 적용한다면 군의 전력증강에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

특히 무기효과자료가 시뮬레이션 모델의 가장 기초적

인 자료임에도 불구하고 데이터가 미확보된 무기체계에 대한 자료는 분석가들이 각자 연구하여 데이터를 생산해서 적용해 왔으나, 이제 신뢰성이 확보된 데이터로 대체할 수 있을 것이다.

시뮬레이션 모델이 각종 연습 및 훈련, 작전 및 작계 분석, 무기체계효과 및 전력소요 분석 등 군에서 광범위하게 활용되고 있는 만큼 파급효과 또한 클 것으로 판단되며, 시뮬레이션 모델의 활용 결과에 대한 신뢰성이 크게 증대될 것이다. 결과적으로 군이 보다 합리적으로 의사결정을 할 수 있도록 함으로써 군의 전력증강 및 경제적 군 운영에 크게 기여할 것으로 기대된다.

References

1. Agency for Defense Development, "The results of technical firing test for the next generation tank ammunition, HEAT-MP, Dajeon Korea, pp. 78~83, 2007.
2. Chun Youn-Hwan et al. (2016) *Defense Modeling and Simulation*
3. Defense Agency for Technology and Quality, "A Study on the Data Collection and Development Methodology of Korea Munitions Effectiveness", Jinju Korea, p. 49, 2010.
4. Faulkner, "Adobe Photoshop Cc Classroom in a Book", Prentice Hall, New Jersey U.S., 2015.
5. Joshua kim(2015) "JMEM Content Alteration Tool (JCAT) Overview", CAA, The 15th ROK-US Munitions Effectiveness Seminar
6. Kim Chung-Young, Kang Seong-Jin, Choi Seok-Chul and Choi Sang-Young, *Military Operations Research Theory and Applications*, Dunam, Seoul Korea, pp. 493~498. 2010.
7. Korea Institute for Defense Analyses, "A Study on the Constructive Direction of ROK-JWS", Seoul Korea, pp. 13~17, 2015.
8. Moon Hyung-Kon, Suh Young-Bo, (2012) "Hybrid Method for Ground Weapon Systems Vulnerability Estimation(HYVEN), The 12nd ROK-US Munitions Effectiveness Seminar
9. Moon Sei-Hoon, Chong Jin-woong, (2015) "Target Geometric Model & Vulnerability Data Development", ADD
10. Morris R. Driels, *Weaponing: Conventional Weapon System Effectiveness*, AIAA education series, Virginia U.S., p. 298, 387, 2013.
11. ROK Military Academi, *Weapons System Engineering*, Bookshill, Seoul Korea, P. 140, 2003.



최연호 (yhchoi628@naver.com)

1989 미국 네브라스카 주립대 산업공학 석사
2013 공주대 산업공학 박사 수료
2015~ 현재 합동참모본부 분석실험실 모델개발관리TF장

관심분야 : 무기효과, 모델링/시뮬레이션



이기택 (lktkt0@hanmail.net)

1996 육군사관학교 수학과 학사
2001 국방대학교 운영분석학과 석사
2011 충남대학교 경영학과 박사
2016~ 현재 합동참모본부 분석실험실 M&S계획장교

관심분야 : 국방 모델링&시뮬레이션, 군사 OR 응용, 경영과학 및 응용통계



변재정 (deepkeeper@add.re.kr)

1996 미국 일리노이대 컴퓨터공학 박사
~ 현재 ADD 연구원

관심분야 : 모델링/시뮬레이션, 무기효과, 리얼타임 시스템



장영천 (Cham357@naver.com)

1995 한국해양대학교 해상수송학과 학사
2005 국방대학교 운영분석학과 석사
2016 아주대학교 NCW공학과 박사

관심분야 : 무기체계효과분석, M&S, 전투실험, NCW