

地對地 曲射火器 效果度 데이터 生産 方案 研究

이형철¹, 홍윤기^{1*}
¹한성대학교 산업경영공학과

A Study on the Generation Method of Effectiveness Data for Surface to Surface Artillery System

Hyung-Chul Lee¹ and Yoon-Gee Hong^{1*}

¹Department of Industrial and Management Engineering, Hansung University

요약 본 연구의 목적은 무기체계 또는 탄약의 효과분석을 위한 데이터를 생산할 수 있는 방법을 제공하는데 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 전장환경하에서 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산방법론 연구를 통한 모형을 개발하였다. 이러한 목적을 위해서 피해면적과 기대피해율 계산을 위해 사용되어지는 수리적 방법을 분석하였고, 지대지 곡사화기의 효과도 데이터를 생산하기 위한 모형에 적용하였다. 제시된 모형의 타당성 검증을 위해서, 미 합동 탄약교범에 검증할 수 있는 기초자료를 수집하였고 그 기초자료를 개발된 모형에 적용하여 결과값 비교를 통한 검증을 하였다

Abstract the objective of this study is to provide the guide for producing data for effective analysis of weapons systems and munitions. Therefore, the prototype from the study of creating the effectiveness data of surface to surface Artillery system under different battle environments was developed in this paper. For this purpose, mathematical method which is in use of calculating Lethal Area and EFC(Expected Fractional Casualty) is analyzed and applied to the prototype for generating effectiveness data of surface to surface Artillery system. To validate the suggested prototype, we did the following actions: we select the source data corresponding to JM(Joint Munition Effectiveness Manuals) data and apply our prototype to the source data, and then match the results to check validity.

Key Words : Lethal Area and EFC(Expected Fractional Casualty), Effectiveness data, Effective analysis

1. 서론

미래 전장 환경의 불확실성과 국방예산의 한계를 효율적으로 극복하기 위한 최근 국방 업무분야(획득·분석·전투·기획)의 합리적 의사결정의 과학화, 체계화, 경제화 추진은 국방 M&S(Modeling and Simulation)에 대한 필요성을 지속적으로 증가시키고 있다. 이처럼 국방 M&S를 합리적 의사결정의 전략적 도구로 활용하기 위해서는 M&S 결과에 대한 신뢰성 및 일관성이 보장될 수 있는 기반체계(개념 모델, 아키텍처, 표준, 기초 자료 등) 및 프로세스

를 확립하는 것이 필수적이다. 특히, 한국군 무기체계 특성, 성능 및 탄약 효과도 자료에 대한 생산과 소비를 위한 기반 기술획득과 체계, 프로세스 구축은 국방 M&S를 위한 핵심 요소로써 이는 한국군이 주도적이며, 지속적으로 추진해야 하는 분야라고 생각된다[1-3].

미군측의 경우 2차 세계대전부터 시작하여 현재까지 지속적으로 자국 및 외국 무기체계의 취약성, 생존성 및 살상력에 대한 데이터 생산 역량을 확보하기 위하여 정책적, 기술적 노력을 기울이고 있다. 이와 같은 노력의 결과로 합동탄약효과교범(Joint Munition Effectiveness Ma

본 논문은 한성대학교 연구과제로 수행되었음.

*교신저자 : 홍윤기(yhong@hansung.ac.kr)

접수일 11년 05월 14일

수정일 (1차 11년 06월 21일, 2차 11년 06월 28일)

게재확정일 11년 07월 07일

nuals, JMEM)을 생산하였으며, 이를 국방 M&S분석도구에 활용하여 자국의 무기체계를 비롯한 전투원에게까지 미래전 환경에서 우수한 적응력, 생존력 및 타격력을 제공하고 있다. 이와 같은 한국군의 현실 상황에서 한국군이 독자적인 무기체계 효과도 데이터 생산에서 유통에 이르기까지 기술적 요소 및 방안을 수립하기 위해 국방분야에서는 ‘한국군 효과도 데이터 생산 방안 연구’ 항목으로 추진하고 있다. ‘한국군 효과도 데이터 생산 방안 연구’ 항목은 한국군 무기체계의 효과도 데이터 생산과 역량 획득 대안으로 환경적, 기술적 검증을 수행하여 신규 대안으로 제시하는 것으로 연구 추진 배경을 갖고 수행하고 있다. ‘한국군 효과도 데이터 생산 방안 연구’ 항목 중 본 논문에서는 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산 방안을 연구하면서 개발한 한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산모형을 제시하고자 한다.

이를 위해 본 연구의 구성은 제1장에서는 연구배경, 목적, 범위를 제시하고, 제2장에서는 미군의 합동탄약효과도분석(JMEM) 방법론 중 지대지 곡사화기 효과도 데이터 산출 방법 및 절차를 분석하였다. 제3장에서는 분석된 방법론을 통하여 한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산 모형의 프레임워크를 정의하고 미군의 피해평가 모델(GFSM :General Full Spray Model)을 참조하여 한국형 탄약피해평가 모형(K-GFSM)과 미군의 무기효과평가모델(Matrix Evaluator)을 참조하여 한국형 무기효과평가 모형으로(K-Matrix Evaluator) 구분하여 제시였다. 제 4장에서는 제시된 모형의 신뢰성 보장을 위해 타당성 검증을 하였고, 제 5장에서는 결론 및 기대효과를 제시하였다.

2. 미군의 지대지 곡사화기 효과도 생산 절차

위협 무기체계의 특성 및 표적의 취약성을 활용한 곡사화기의 효과도 생산 절차는 폭발 특성 및 파편 특성에 대한 HE(High Explosive)탄 특성 자료와 피해 메커니즘에 대한 표적취약성 데이터 및 환경 조건을 활용하여 피해 면적을 계산한다. 이 피해 면적에 기준오차(원하는 탄착지점을 정확하게 기준하지 못해 발생하는 오차), 탄도 오차(탄이 비행하는 동안 발생 가능한 오차), 일제사 정보 및 표적위치 오차(표적의 위치가 변경됨으로써 발생하는 오차) 등에 대한 평가 논리가 적용되어 기대피해율을 계산하게 된다. 피해 면적을 계산하는 분석 모델은 GFSM(General Full Spray Model)이 있고, 무기 효과 평가를 분석하는 모델은 SQ2(Superquikie 2), Artquik 및

Matrix Evaluator 등이 있다. 일반적인 지대지 곡사화기 HE탄 효과도 생산절차는 [그림 2]와 같다[4].



[그림 1] 미 곡사화기 HE탄 효과도 생산 절차
[Fig. 1] The Generation Process of Effectiveness for US Artillery system - HE

3. 한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산모형

3.1 모형개발을 위한 생산 프레임워크 정의

한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산모형을 개발하기 위해서는 앞에서 살펴본 미군의 JMEM 생산절차를 분석하여 한국형 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산 프레임워크를 재정의 할 필요가 있다. 아래 그림은 한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산 프레임워크에 대한 내용이다.



[그림 2] 모형개발을 위한 생산 프레임워크
[Fig. 2] The Generation Framework for Development of Prototype

첫 번째 지대지 곡사화기에 대한 효과도 데이터 생산을 위한 분석 알고리즘 및 도구를 개발해야한다. 이를 위해서는 미 JMEM의 표적취약성 자료를 바탕으로 HE탄 피해계산을 위한 수학적 모형 정립을 하고 분석도구인 K-GFSM을 구현하여 미 JMEM 입, 출력자료와 비교 및 분석을 실시해야 한다. 또한 미군의 무기효과 평가를 위한 분석모형을 파악하여 무기효과 평가를 위한 조준오차, 표적위치오차, 탄도오차, 일제사 정보를 반영할 수 있는 수학적 모형 정립을 한다. 정립된 수학적 모형을 바탕으로 분석도구인 K-Matrix Evaluator을 구현하여 미 JMEM 입, 출력자료와 비교하여 타당성 검증을 실시해야 한다.

두 번째 이렇게 구현된 모형에 현황분석을 통해 얻어진 한국군 HE탄 특성자료와 미 JMEM의 표적 취약성 자료를 활용하여 분석도구인 K-GFSM 모형에 입력한다. 이렇게 하여 HE탄 피해계산의 결과 값인 무기피해 매트릭스를 생산한다. 이렇게 얻어진 무기피해 매트릭스는 무기효과평가 모형인 K-Matrix Evaluator의 입력 값이 되고, 여기에 조준오차 및 표적위치오차, 탄도오차, 일제사 정보가 반영된 K-Matrix Evaluator에 적용하면 출력 값인 기대피해율 값이 산출된다. 이렇게 산출된 기대피해율 값은 한국군 지대지 곡사화기 효과도 샘플 데이터라 할 수 있다.

세 번째 이렇게 산출된 샘플 데이터를 미 JMEM에 있는 유사한 무기체계의 탄약자료의 입, 출력 값과 비교 및 분석을 통해 한국군 지대지 곡사화기 효과도 샘플 데이터의 가용성을 판단하는 것이 한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산 프레임워크라 할 수 있다[5-7].

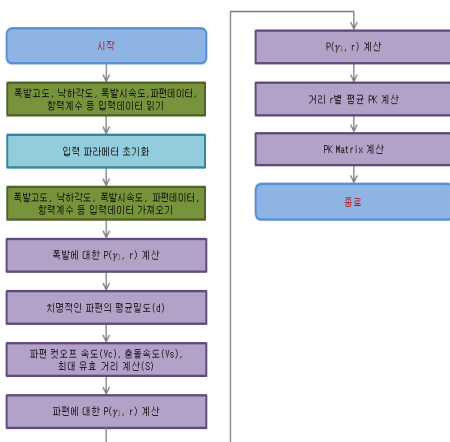
곡사화기 HE탄 피해평가를 하기 위해서는 계산에 필요한 수식에 대한 분석 및 재정의가 필요하다.

이를 위해 계산의 순서를 나타내는 순서도와 주요수식을 제시하고자 한다. 위 순서도는 실제 소프트웨어 구현 시 주요 계산순서이다. 먼저 앞에서 언급한 피해면적계산을 위한 요소 데이터인 초기 입력데이터 값을 읽어서 사용변수에 대해 초기화 한다. 다음은 입력한 데이터를 가져와서 거리 r 별 평균 PK(Probability of Kill : 살상 확률)값인 $\bar{P}(r)$ 을 계산하기 위해, 거리 r 에서 j 번째 동적 파편지대의 살상확률인 $P(\gamma_j, r)$ 값을 계산한다. $P(\gamma_j, r)$ 값을 계산하기 위해서는 지상거리에서 j -번째 파편지대의 파편에 대한 피해확률인 $P_F(\gamma_j, r)$ 과 지상거리에서 폭발에 대한 피해확률 $P_B(\gamma_j, r)$ 을 계산해야 한다. 여기서 $P_B(\gamma_j, r)$ 을 계산하기 위해서는 각 동적지대의 치명적인 파편의 밀도의 기댓값(d), 무게별 파편의 Cutoff 속도 V_C , 충돌속도 V_S , 파편의 무게 당 최대 효과 거리(S)의 계산이 필요하다. 이렇게 해서 계산된 $\bar{P}(r)$, $P(\gamma_j, r)$ 을 통해서 각각의 주어진 셀당 평균 피해율 \bar{P}_K 값을 구하면, 무기피해매트릭스(Weapon Damage Matrix)를 산출 할 수 있다. 다음은 제시한 순서도에 따라 무기피해매트릭스(Weapon Damage Matrix)를 계산하기 위한 수식에 대해 설명하고자 한다[8,9].

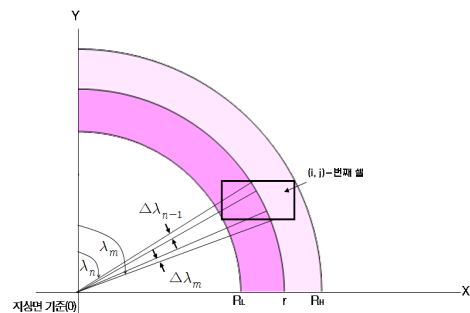
K-GFSM의 최종 출력 값인 무기피해매트릭스는 아래 [그림 4]에 나타난 방법을 이용하여 만든다.

3.2 피해평가 모형(K-GFSM) 개발

3.2.1 HE탄 피해면적 계산을 위한 수리적 모형



[그림3] 피해면적 계산을 위한 순서도
[Fig. 3] The flow chart for calculating Lethal Area



[그림 4] 무기 피해 매트릭스 셀의 정의
[Fig. 4] The definition of PK-Matrix Cell

주어진 셀(i, j)의 평균 피해율(\bar{P}_K)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

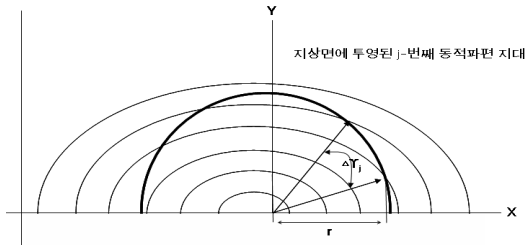
$$\bar{P}_K = \frac{\int_{R_L}^{R_H} \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} P(\lambda, r) r d\lambda dr}{\int_{R_L}^{R_H} \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} r d\lambda dr}$$

다음은 무기피해매트릭스의 셀 당 평균피해율 $\overline{P_K}$ 값을 구하기 위해 필요한 수식에 대해 설명하고자 한다.

거리 r 별 평균 피해 확률 ($\overline{P}(r)$)이 필요하며 다음과 같이 계산한다.

$$\overline{P}(r) = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} P(\gamma_j, r) d\gamma \approx \frac{1}{180} \sum_{j=n}^m P(\gamma_j, r) \Delta\gamma_j$$

위의 식에서 $P(\gamma_j, r)$ 는 거리 r 에서 j 번째 동적 파편 지대의 살상 확률이고, $\Delta\gamma_j$ 는 각도의 증분 ($\gamma_j - \gamma_{j+1}$)으로 그림 5처럼 주어진다.



[그림 5] 지상 면에 투영된 파편 지대
[Fig. 5] The Fragment-Zone projected onto Surface

$\overline{P}(r)$ 을 계산하기 위해서는 거리 r 에서 j 번째 동적 파편 지대의 살상 확률인 $P(\gamma_j, r)$ 값을 계산해야 한다.

$P(\gamma_j, r)$ 는 폭발효과와 파편효과에 대해 다음과 같이 계산된다.

$$P(\gamma_j, r) = 1 - [1 - P_B(\gamma_j, r)] [1 - P_F(\gamma_j, r)]$$

$P_F(\gamma_j, r)$ = 지상거리에서 j -번째 파편지대의 파편에 대한 피해확률

$P_B(\gamma_j, r)$ = 지상거리에서 폭발에 대한 피해확률 (각도에 무관)

$P_B(r)$ 의 그래프는 그림 6와 같다. 결국 $P_B(r)$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$P_B(r) = 1.0, \quad SR \leq RB1$$

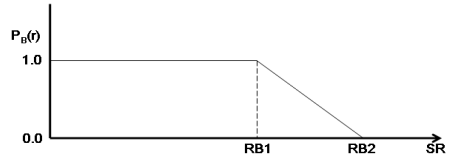
$$P_B(r) = 1.0 - \frac{(SR - RB1)}{(RB1 - RB2)}, \quad RB1 < SR < RB2$$

$$P_B(r) = 0, \quad SR \geq RB2$$

SR (Slant Range)=폭발 지점과 표적 간의 직선거리

$RB1$ = 폭발에 의한 피해율(P_K)이 1인 거리(반경)

$RB2$ = 폭발에 의한 피해율(P_K)이 0인 거리(반경)



[그림 6] 폭발 효과
[Fig. 6] The Explosion Effect

파편에 의한 피해 확률 $P_F(\gamma_j, r)$ 는 다음과 같이 주어지며 인원에 대한 피해확률은 $P_F(\gamma_j, r) = 1 - e^{-D(\gamma_j, r)}$ 이다. 여기서 $D(\gamma_j, r)$ 은 치명적인 파편의 평균 밀도(D)와 j -번째 동적지대의 거리 r 에 있는 인원의 노출 면적(S)의 곱이다. 따라서 $D(\gamma_j, r)$ 값을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$D(\gamma_j, r) = DS \quad \text{이며} \quad P_F(\gamma_j, r) = 1 - e^{-DS} \quad \text{이다.}$$

결국 $P_F(\gamma_j, r)$ 의 계산을 위하여 치명적인 파편의 밀도와 노출면적이 산출되어야 하고 이 계산을 위해서는 무게 당 파편의 컷오프속도, 최대효과거리, 파편의 충돌속도, 표적의 노출면적 등이 필요하다.

3.2.2 K-GFSM 모형의 입력력 항목

K-GFSM의 입력 항목은 살상면적 계산을 위한 다양한 자료를 입력받게 된다. 그 항목은 자세 및 탄의 파편 특성부터 살상정의, 그리고 기타 여러 입력 자료가 있다. K-GFSM의 출력 항목은 계산된 살상면적 값과 인원에 대한 살상 면적의 PK 매트릭스가 출력된다[10].

[표 1] K-GFSM 입력력 항목

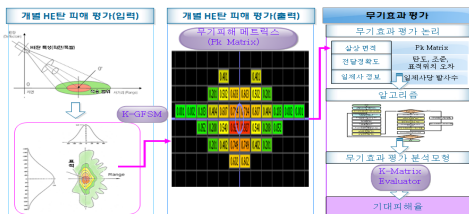
[Table 1] The I/O Content for K-GFSM

번호	항목	옵션	입력	출력
1	자세	참호속, 옆드린, 서있는 병사	○	
2	폭발 높이	값 입력	○	
3	낙하 각도	값 입력	○	
4	폭발 시 속도	값 입력	○	
5	중량보정계수	값 입력	○	
6	CUTOFF 속도	내부정의 선택	○	
7	CUTOFF 중량	값 입력	○	
8	파편 데이터	파일 입력	○	
9	저항계수	파일 입력	○	
10	살상정의	사용자 입력, 내부정의 선택	○	
11	PK 매트릭스	편향, 거리	○	
12	폭발	RB1, RB2	○	
13	환경	열대림, 온대림 등	○	
14	살상 면적	값 출력		○
15	PK 매트릭스	값 출력		○

3.3 무기효과평가모형(K- Matrix Evaluator) 개발

3.3.1 한국군 지대지 곡사화기 무기효과평가 방법

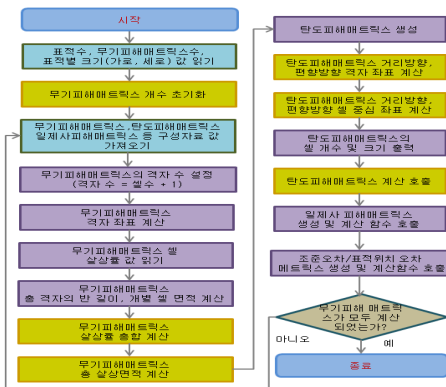
K-GFSM에 개별 HE탄의 피해평가를 위한 요소를 입력하면, 아래 그림 7에서 보는바와 같이 K-GFSM의 출력 값인 개별 HE탄의 무기피해 매트릭스가 생성된다. 무기효과 평가를 위해서는 개별 HE탄의 무기피해 매트릭스에 탄도, 조준, 표적위치 오차 및 일제사 효과를 반영하는 알고리즘이 포함되도록 무기효과평가 분석모형(K-Matrix Evaluator)을 개발한다. 이렇게 개발된 K-Matrix Evaluator에 입력 값인 무기피해 매트릭스, 탄도오차, 조준오차, 표적위치오차, 일제사 정보를 입력하면 출력 값인 기대피해율을 산출할 수 있다. 즉 K-Matrix Evaluator의 무기효과평가 모형의 최종 산출물은 기대피해율이라 할 수 있다.



[그림 7] 무기효과평가 방법
[Fig. 7] The Method for Evaluating Weapon Effectiveness

3.3.2 무기효과평가를 위한 수리적 모형

한국군 지대지 무기효과 평가(K-Matrix Evaluator) 모형의 알고리즘을 순서도를 통해서 살펴보고, 알고리즘의 주요 요소인 무기피해 매트릭스, 탄도오차, 조준오차, 표적위치오차, 일제사 정보를 어떻게 반영하는지 알아보기로 한다.



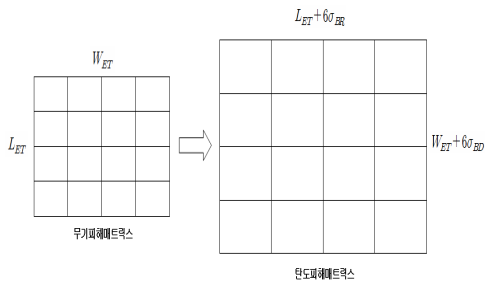
[그림 8] K-Matrix Evaluator 알고리즘 순서도
[Fig. 8] The flow chartC for K-Matrix Evaluator Algorithm

위 순서도는 K-Matrix Evaluator의 소프트웨어 계산 순서의 알고리즘이다. 제일 먼저 K-GFSM에서 생성된 무기피해매트릭스의 데이터를 읽어올 수도 있고 새로 생성할 수도 있다. 이렇게 생성된 무기피해매트릭스를 통해서 탄도오차를 반영하는 탄도피해매트릭스를 생성 및 계산하게 된다. 탄도피해매트릭스 계산을 위해서는, 첫 번째 무기피해매트릭스의 격자 수, 격자 좌표를 계산하고 개별 셀 당 살상률 값 및 면적을 계산하고, 무기피해매트릭스 총 살상률 총합과 총 살상면적을 계산해야 한다. 두 번째 입력한 탄도오차를 반영한 탄도피해매트릭스를 생성하고, 탄도피해매트릭스의 거리방향, 편향방향 셀 중심 및 격자좌표를 계산하면 탄도피해매트릭스의 셀 개수 및 크기가 출력 된다. 세 번째 탄도피해매트릭스 계산함수를 호출하면 이렇게 계산된 탄도피해매트릭스 셀에 겹치는 개별 무기피해매트릭스 셀을 이용하여 탄도피해매트릭스 개별 셀의 피해수준을 계산한다. 이렇게 생성된 탄도피해매트릭스에 동일한 방법으로 일제사피해매트릭스 생성 및 계산을 하고 조준 및 표적위치 오차를 반영하는 매트릭스를 생성 및 계산을 하면 원하는 기대피해율 값을 구할 수 있다. 끝으로 여러개의 무기피해매트릭스에 대하여 한꺼번에 계산을 할 수 있도록 하여 상호 비교 및 분석할 수 있도록 구현하였다. 즉 한 개의 무기피해매트릭스 계산 후에 다음 무기피해매트릭스를 계산하게 되면 처음으로 돌아가서 다시 계산 하고 그렇지 않을 경우는 종료하게 된다. 다음은 탄도피해매트릭스, 일제사피해매트릭스, 조준오차 및 표적위치오차를 반영하는 매트릭스 생성 및 계산을 위한 방법이다[8,9].

- 탄도피해매트릭스 생성 및 계산

매트릭스평가 프로그램에서 탄도오차는 무기피해매트릭스를 활용하여 고려된다. 즉, 무기피해매트릭스에 탄도오차를 반영하여 탄도피해매트릭스를 생성한다. 탄도피해매트릭스의 셀의 수는 무기피해매트릭스의 셀의 수와 같으며, 개별 셀의 크기는 탄도오차가 반영된 만큼 커진 반면, 개별 셀의 피해수준(PK)은 상대적으로 작아지게 된다. 사거리방향 탄도오차와 편향방향 탄도오차는 서로 독립이며, 이항정규분포를 따른다고 가정하고, 앞서 살펴본 수학적 이론을 적용하여 탄도피해매트릭스를 생성하게 된다.

첫 번째, 무기피해매트릭스 전체의 크기를 확대하여, 탄도피해매트릭스 격자를 생성한다.



[그림 9] 탄도피해매트릭스 격자 생성
[Fig. 9] The generation of Ballistic Damage Matrix Grid

- $L_B = L_{BT} + 6\sigma_{BR}$, $W_B = W_{BT} + 6\sigma_{BD}$
- L_B : 탄도피해매트릭스의 사거리방향 총길이
- W_B : 탄도피해매트릭스의 편향방향 총길이
- L_{BT} : 무기피해매트릭스의 사거리방향 총길이
- W_{BT} : 무기피해매트릭스의 편향방향 총길이
- σ_{BR} : 사거리방향 탄도오차
- σ_{BD} : 편향방향 탄도오차

두 번째, 탄도피해매트릭스 셀에 겹치는 개별 무기피해매트릭스 셀을 이용하여 탄도피해매트릭스 개별 셀의 피해수준을 계산한다.

$$B_{xy} = \sum_{i=J_{\min,i}}^{J_{\max,i}} \sum_{j=J_{\min,j}}^{J_{\max,j}} \frac{D_{ij}A_{ij}(x,y)}{A_{xy}}$$

A_{xy} = 탄도피해매트릭스 셀의 면적
 B_{xy} = 탄도피해매트릭스 xy 셀의 피해수준
 D_{ij} = 무기피해매트릭스 ij 셀의 평균 피해수준
 $A_{ij}(x,y)$ = 무기피해매트릭스 ij 셀에 대한 탄도피해매트릭스 xy 셀의 기대겹침 면적
 $\sum_{i=J_{\min,i}}^{J_{\max,i}} \sum_{j=J_{\min,j}}^{J_{\max,j}} =$ 탄도피해매트릭스 xy 셀과 중복되는 무기피해매트릭스 셀의 합

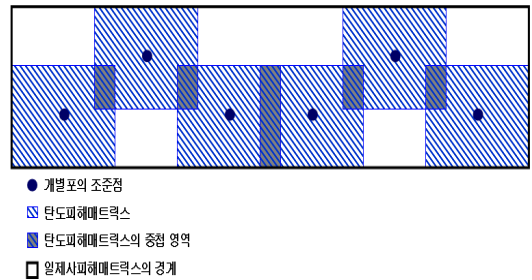
무기피해매트릭스의 총 피해수준과 탄도피해매트릭스의 총 피해수준은 같다.

$$A_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{ij}A_{ij} = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m B_{xy}A_{xy}$$

n = 사거리방향 셀 수, m = 편향방향 셀 수

- 일제사피해매트릭스 생성 및 계산
 여러 문의 포를 동시에 발사함으로써 얻어지는 일제사(Volley)에 의한 피해수준을 평가하기 위해서 매트릭스형

가 프로그램은 탄도피해매트릭스로부터 일제사피해매트릭스를 생성한다. 일제사피해매트릭스는 개별포의 조준점에 탄도피해매트릭스의 중심을 위치 시킴으로서 생성된 피해매트릭스이다. 일제사피해매트릭스의 둘레는 개별포의 조준점에 위치한 탄도피해매트릭스에 의해 결정된다.



[그림 10] 일제사피해매트릭스 계산 방법
[Fig. 10] The calculation methods of Volley Damage Matrix

일제사피해매트릭스 생성원리는 다음과 같다.

첫 번째, 탄도피해매트릭스의 중심을 개별포의 조준점에 위치시킨다.

두 번째, 탄도피해매트릭스의 중첩효과를 고려하여 일제사피해매트릭스 개별 셀의 피해수준을 계산한다. 일제사피해매트릭스의 개별셀의 피해수준은 탄도피해매트릭스 셀과의 중첩여부에 따라 탄도피해매트릭스와 중첩되지 않는 셀(피해수준은 0이다), 하나의 탄도피해매트릭스 셀과 중첩되는 셀, 둘 이상의 탄도피해매트릭스 셀과 중첩되는 셀로 세 가지 경우가 존재한다.

일제사피해매트릭스 셀의 피해수준을 계산하는 방법은 다음과 같다.

개별 포에 의한 평균피해수준을 계산한다. 즉, 일제사피해매트릭스 셀과 중첩되는 각각의 탄도피해매트릭스 셀에 대하여 계산한다.

$$P_z(a,b) = \sum_{i=J_{\min,i}}^{J_{\max,i}} \sum_{j=J_{\min,j}}^{J_{\max,j}} C_{ij}B_{ij}$$

$P_z(a,b)$ = 탄도피해매트릭스 격자 $z(z$ 를 구성하는 셀)와의 면적겹침에 대한 일제사피해매트릭스 셀 ab 의 평균 피해수준

B_{ij} = 탄도피해매트릭스 ij 셀의 기대피해수준

C_{ij} = 탄도피해매트릭스 ij 셀과 중복되는 일제사피해매트릭스 ab 셀의 비율

$$\sum_{i=J_{\min}}^{J_{\max}} \sum_{j=J_{\min}}^{J_{\max}} = \text{일제사피해매트릭스 ab 셀과 중첩되는 도피해매트릭스 셀의 합}$$

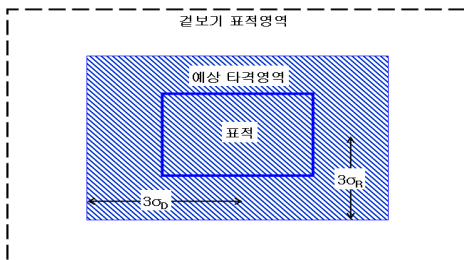
다음은 개별포의 중첩 효과를 반영한다.

$$S_{ij} = 1 - \prod_{Z=1}^N (1 - R \times P_Z(ij))$$

S_{ij} = 일제사피해매트릭스 셀 ij의 기대피해수준
 Π = 1에서 N까지 곱, R = 탄의 폭발에 대한 신뢰도
 $P_Z(ij)$ = 탄도피해매트릭스 격자 z(z를 구성하는 셀)와의 면적 겹침에 대한 일제사피해매트릭스 셀 ij의 겹침 피해수준

- 조준오차 및 표적위치 오차 반영 매트릭스 생성 및 계산

조준오차 또한 탄도오차처럼 이항정규분포를 따른다고 가정한다. 접근방식으로 목표조준점에 대해 표적중심을 배치시키는 방식을 생각해 볼 수 있다. 이 방식은 탄은 목표조준점에 대하여 정확한 탄도를 따라 이동하고 표적이 3σ 만큼 움직이는 것으로 본다(실제 탄의 수는 일제사를 구성하는 포의 문수지만 일제사를 하나의 탄으로 생각하면 이해하기 쉽다). 즉, 일제사피해매트릭스는 그대로 두고 표적을 조준오차에 대하여 확장시킨다. 그림 11은 조준 오차를 고려하기 위해 표적 중심을 사거리방향 및 편향방향으로 3σ 내에 위치하도록 하는 방식을 보여준다. 표적의 중심은 빗금친 부분 내에 존재하는 것으로 생각한다. 변경된 표적둘레는 겹보기표적영역(AT A-Apparent Target Area)의 크기로 정의된다. 겹침율은 겹보기표적영역과 중복되는 셀에 대해서 수행된다. 즉, 실제표적둘레의 3σ 이내의 셀에 대해서만 계산한다.



[그림 11] 겉보기 표적 영역
 [Fig. 11] The Apparent Target Area

겉보기 표적영역의 중심은 차감거리(offset distance)를 반영하여 일제사에 의한 피해효과를 계산한다. 차감거리는 탄의 실제타격점(지상면을 기준으로 표현한 탄의 폭

발지점)과 무기피해매트릭스 격자의 중심과의 거리차이다. 일제사피해매트릭스 셀과 겹보기표적영역에 대한 겹침을 계산식은 다음과 같다.

$$F = \sum_{i=J_{\min}}^{J_{\max}} \sum_{j=J_{\min}}^{J_{\max}} S_{ij} C_{ij} / A_t$$

A_t = 표적면적

C_{ij} = 일제사피해매트릭스 셀 ij와 겹보기표적과의 기대면적겹침

S_{ij} = 일제사피해매트릭스 셀 ij의 평균피해수준

$$\sum_{i=J_{\min}}^{J_{\max}} \sum_{j=J_{\min}}^{J_{\max}} = \text{겉보기표적영역과 중복되는 일제사피해매트릭스 셀의 합}$$

표적과 일제사피해매트릭스 셀의 기대면적겹침(C_{ij})은 탄도피해매트릭스 계산과 동일한 방식으로 계산된다.

표적의 위치오차(σ_{TL})가 고려 될 때는 조준오차(σ_{AIM})와의 제곱평균 값으로 하여 앞의 조준오차 고려방식과 같은 방식으로 반영된다.

조준오차와 표적위치 오차의 제곱평균 :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{AIM}^2 + \sigma_{TL}^2}$$

3.3.3 K-Matrix Evaluator 모형의 입출력 항목

한국군 지대지 곡사화기 무기효과 평가(K-Matrix Evaluator) 모형의 입력은 기대피해율 계산을 위한 다양한 자료의 항목들이 있다. 그 항목으로는 위협 무기 정보, 표적 정보, 일제사 정보, 전달 정확도 및 살상 면적의 PK 매트릭스가 있다. 매트릭스는 앞에서 제시한 한국군 지대지 피해평가 모형(K-GFSM)에서 출력된 매트릭스 값을 입력으로 한다. 한국군 지대지 무기효과 평가(K-Matrix Evaluator) 모형의 출력은 일제사별로 기대피해율이 출력된다[11].

[표 2] K- Matrix Evaluator 입출력 항목

[Table 2] The I/O Content for K-Matrix Evaluator

번호	항 목	세부 항목	입력	출력
1	위협무기 정보	화기 명칭	○	
2		탄약 명칭	○	
3		탄 신뢰도	○	
4	표적 정보	표적 명칭	○	
5		표적 수	○	
6		표적 치수	○	
7	일제사 정보	포의 문수	○	
8		포별 조준점 좌표	○	
9		연속사격 셋 수	○	
10		셋 당 연속발사 수	○	

11		조준점 오차	○	
12	전달정확도 정보	탄도 오차	○	
13		표적위치 오차	○	
14	무기피해 매트릭스	살상 면적의 피해 매트릭스	○	
15	기대 피해율	피해율 값 출력		○

4. 모형의 타당성 검증

4.1 타당성 검증 방법 및 조건

검증방법으로는 무기체계의 실기동실험을 통한 직접 실험에 의한 방법이 있고, 기존 JMEM 자료와 비교 및 무기체계 시험평가/전투실험 등을 통해 축적된 자료와의 비교를 통한 방법, 시뮬레이션 모델의 운용을 통한 자료의 신뢰성을 검증하는 방법으로 크게 3가지로 분류하고 있다[12-14].

본 연구에서는 미군이 수십년간 연구 및 전쟁을 통해 검증된 기존 JMEM 자료와 비교를 통해 검증하였다. 기존 JMEM 자료에는 탄종별 입력 값과 출력 값인 기대피해율 값을 제공하고 있다. 따라서 제시된 모형을 통해 계산된 산출 결과와 JMEM 자료와 비교를 통한 검증을 위해서는 먼저 동일 탄종(M-000고폭탄)에 대한 JMEM에 나와있는 데이터를 입력 값으로 사용하여 본 연구에서 구현된 K-GFSM과 K-Matrix Evaluator모형에 적용하여 최종 출력 값인 기대피해율 값을 산출해야한다. 다음은 구현된 모형에 적용하여 최종 산출된 기대피해율 값과 JMEM에서 제공하는 기대피해율 값의 차이를 비교하고, 두 개의 기대피해율 값의 차이에 대한 통계적인 가설검정을 통해서 타당성 검증을 한다.

산출 결과와 합동탄약효과과범 결과에 대한 비교 분석을 위한 검증 조건으로 155m 고폭탄을 대상으로 개활지 환경, TNT 폭약, 충격신관, 공격-5분 살상 정의에 따른 인원 표적, W 형태 포대형, 평지 환경, 표적 반경, 사거리, 낙하 각도, 폭발 고도 등의 조건을 설정하였다. 이에 대한 데이터에 대한 비교 분석을 수행하였고, 연구목적상 데이터는 가공된 샘플데이터를 활용하였다.

4.2 검증 결과

[표 3]은 표적자세별 일제사수에 따른 JMEM의 기대피해율 값과 개발한 모형에 적용된 기대피해율 값의 결과 비교표이다.

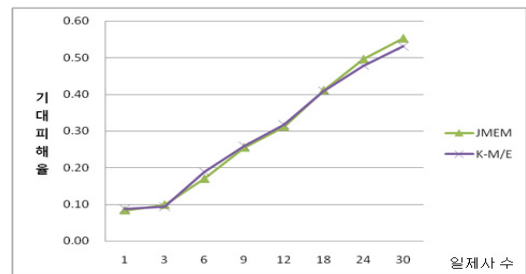
[그림 12] [그림 13] [그림 14]에서 보듯이 표적자세별 서있는 병사, 엎드린 병사, 참호속 병사 순으로 기대피해

율이 높게 나타났다. 표적자세별 서있는 병사, 엎드린 병사 조건에서 K-Matrix Evaluator와 JMEM의 기대피해율 값이 유사한 것으로 나타났다. 참호속 병사는 일제사수에 따른 기대피해율 값의 변동이 거의 없었으며 기대피해율 값도 거의 0에 가까웠다.

[표 3] 기대피해율결과비교

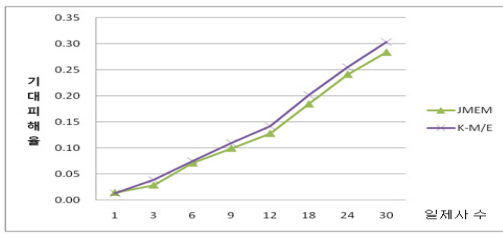
[Table 3] The Comparison on Expected Fractional Damage result

표적 자세	일제사 수	JMEM 기대피해율	K-Matrix 기대피해율
서있는 병사	1	0.083800	0.086894
	3	0.099330	0.093587
	6	0.170280	0.188301
	9	0.255420	0.258542
	12	0.312180	0.317430
	18	0.411510	0.409807
	24	0.496650	0.479054
	30	0.553410	0.532125
엎드린 병사	1	0.014190	0.013055
	3	0.028380	0.038597
	6	0.070950	0.075065
	9	0.099330	0.109405
	12	0.127710	0.141900
	18	0.184470	0.201640
	24	0.241230	0.255136
	30	0.283800	0.303240
참호속 병사	1	0.000000	0.000000
	3	0.000000	0.000000
	6	0.000000	0.000000
	9	0.013590	0.014190
	12	0.014190	0.014290
	18	0.019190	0.018190
	24	0.027380	0.025380
	30	0.029380	0.028380

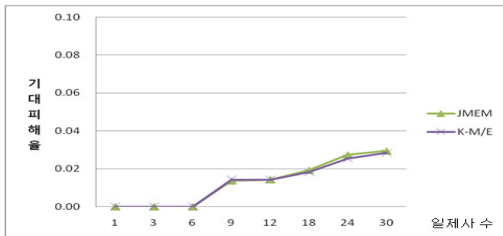


[그림 12] 기대피해율 값 비교(서있는 병사)

[Fig. 12] The Comparison on Expected Fractional Damage Value(Standing Personnel)



[그림 13] 기대피해율 값 비교(엎드린 병사)
 [Fig. 13] The Comparison on Expected Fractional Damage Value(Prone Personnel)



[그림 14] 기대피해율 값 비교(참호속 병사)
 [Fig. 14] The Comparison on Expected Fractional Damage Value(Personnel Crouching In Foxholes)

타당성 검증을 위해서는 K-Matrix Evaluator와 JMEM의 기대피해율 값이 통계적으로 차이가 없다는 것을 증명해야 한다. 이러한 것을 증명하기 위해서 통계학에서 사용하고 있는 가설검정을 활용하고자 한다.

첫 번째 집단에서 모아진 자료 값과(JMEM의 기대피해율 값) 두 번째 집단에서 모아진 자료 값(K-Matrix Evaluator의 기대피해율 값)이 서로 대응되는 경우 대응 (paired, matched)표본이라 한다. 한 쌍으로 관측된 표본의 차이를 이용하여 검정하는 방법을 쌍대 t 검정 (matched pairs t-test)이라 한다[15]. 쌍대 t 검정을 하기 위해서는 모수적 검정이므로, 두 그룹의 샘플을 뺀 값이 정규분포를 만족한다는 것이 전제되어야 한다. 일반적인 가정에 의하면 거리 및 편향방향에서 탄착점의 분포는 정규분포 이다[16].

따라서 본 연구에서는 두 기대피해율의 값의 차이 또한 정규분포라는 가정하에 가설 검정을 하였다. 두 개의 기대피해율 값이 차이가 없다는 것을 규명하기 위해 다음과 같이 귀무가설을 설정하였다.

귀무가설을 “두 개의 기대피해율 값의 차이(D)의 모평균이 0이다” 라고 정의하면, 두 개의 기대피해율 값의 차이가 없다는 것을 증명 할 수 있다.

[표 4]에서 보는바와 같이 $P(T \leq t) = 0.198057294 > 0.05$ 이고, 즉 양측검정에서 관측 값이 귀무가설을 기각하지

못하는 영역에 있으므로 귀무가설을 기각하지 못한다. 즉 유의수준(α) 0.05에서 uD가 0이라는 것을 기각할 수 없다. 따라서 JMEM과 K-Matrix-Evaluator의 기대피해율의 값의 차이의 모평균이 0이라는 것을 기각할 수 없으며, JMEM과 K-Matrix-Evaluator의 기대피해율의 값의 차이가 있다할 수 없다.

[표 4] 가설검정 결과
 [Table 4] The result of the testing of hypotheses

구 분	내 용
귀무가설	$H_0 : u_D = 0$: 서로 대응되는 자료 값의 차이(D)의 모평균(u_D)이 0이다
대립가설	$H_a : u_D \neq 0$: 서로 대응되는 자료 값의 차이(D)의 모평균(u_D)이 0이 아니다
X1,X2	JMEM 기대피해율의 표본 값, K-Matrix-Evaluator 기대피해율의 표본값
u_1, u_2	JMEM 기대피해율의 모평균 값, K-Matrix-Evaluator 기대피해율의 모 평균 값
D	$X1-X2 =$ 표본의 차이 값
유의수준(α) = 0.05, 표본의 개수(n) = 24, $t_c = t_{\alpha/2, n-1}$ $= t_{0.025, 23} = 2.073873058, P(T \leq t) = 0.198057294$	
$D = -0.002827, S_D = 0.009949, S_D = 0.002031 \Rightarrow$ 관측 값 $t_0 = -1.327185331$	

이러한 결과는 미 JMEM의 효과도 데이터 생산 방법을 정확하게 분석하여 한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산모형을 개발하였기 때문이며, 신뢰성이 있는 모형이라 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 미 JMEM의 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산절차를 분석하여 한국군의 지대지 곡사화기 효과도 데이터를 생산할 수 있는 프레임워크를 정의하였고, 고폭탄 피해 계산 및 무기 효과 평가 알고리즘 분석을 통해서 피해면적 및 기대피해율을 산정할 수 있는 수리적 모형 및 알고리즘을 제시 하였으며 한국군 지대지 곡사화기 효과도 생산 모형을(K-GFSM, K-Matrix Evaluator)구현하였다. 타당성 검증을 위해서 미 JMEM 자료에서 검증 가능한 데이터의 현황분석을 하여, M-000 고폭탄을 적용하였다. 이러한 데이터를 기반으로 입력부터 출력까지 대응되는 자료를 식별하여 식별된 자료를 구현된 모형에 JMEM과 동일한 입력데이터를 적용하여 동일한 출력 값(기대피해율 값)이 나오는지 비교를 통해

타당성을 검증하였다.

미 JMEM의 경우 실험 조건 및 방법의 차이에 따라 발행 연도별로 결과 데이터의 차이가 존재하나 효과도 생산 절차 및 프레임워크는 거의 동일하게 적용되고 있었다. 한국군의 개발 및 운용시험평가 자료에서 무기 효과도 생산을 위한 가용 자료는 매우 제한적인 상황임을 파악하였다.

미 JMEM 자료는 미군 무기체계의 특성이 반영된 입력 자료에 의한 출력 값이다. 본 연구에서는 한국군 무기체계의 특성이 반영된 입력 자료에 의한 출력 값으로 기존의 미 JMEM 데이터 보다는 한국군 무기체계의 특성이 반영되어 신뢰성이 보장되는 데이터라 할 수 있다. 개발된 한국군 지대지 곡사화기 효과도 데이터 생산 모형을 통해 생산된 효과도 데이터는 향후 곡사화기 분야 M&S 운용 모델에 적용되어 이전보다 신뢰성 있는 기초 자료로 활용이 가능하다. 또한 지대지 곡사화기 효과도 데이터를 생산할 수 있는 기반체계를 구축하였다 할 수 있다.

향후 새로운 무기체계에 적용 시에도 모형의 확장 또는 참조 모형으로 재사용함으로써 시간 및 예산의 절약도 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] Sang-Yong Jang, "War Game & Simulation", Information Science, Vol 8. Seoul, 1990.
- [2] Sang-Chul Jang, "The Method for M&S development of ROK Army", The Research of National Defence Policy, Seoul : KIDA, 2001.
- [3] Hyun-Yook Jung, "The Method for Defence M&S development ", The Research of Policy, 2002.
- [4] Hyung-Gon Moon, "The Development Method of ROK-JMEM USING US-JMEM", Seoul : KIDA, 2004.
- [5] DMSO, M&S Data Engineering Technical Framework, 1997
- [6] Sang-Mok Lee, "The Utilization of M&S when testing for Weapon reliability", Defence Quality & Management, Vol 12, 2009.
- [7] Sang-Young Choi, "The Theory & Reality of Defence M&S", Seoul : National Defense University, 2006.
- [8] Colin Michael Anderson, Generalized Weapon Effectiveness Modeling, Monterey : N.P.S., 2004.
- [9] Gil, Amparo; Segura, Javier; Temme, Nico M, Numerical Methods for Special Functions, SIAM, ISBN 978-0-898716-34-4, 2007
- [10] JTCG/ME, Computer Program for General Full

Spray Personnel MAE Computation : Users Manual, 2008.

- [11] JTCG/ME, Matrix Evaluator Computer Program -User and Analyst Manual, 2005.
- [12] Kyo-Sup Kim, "The VV&A Framework of Defence Conceptual M&S", "The Conference of Industrial Engineers", Vol 2010,
- [13] Min-Sook Kim, "The Study on Application Method of VV&A for K-War Resources Calculation Method", The Conference of Korea Defence Management & Analysis, Vol 35. 2009
- [14] DMSO, VV&A Recommended Practice Guide, 2006.
- [15] Tae-Sung Choi, The Application Statistics for Decision Making, Seoul : Dasan Publisher, 2003
- [16] Heeng- Joo Lee, The Theory of Gun & Trajectory, Seoul : Chung Mun Kak Publisher, 1994.

이 형 철(Hyung-Chul Lee)

[정회원]



- 2001년 2월 : 고려대학교 산업시스템공학과(산업시스템공학 석사)
- 2011년 2월 : 한성대학교 산업시스템공학과(산업시스템공학 박사)
- 2009년 1월 ~ 2011년 1월 : 국방기술품질원 국방기술기획 담당

<관심분야>

Combat Simulation, 정보통신, 모델링 & 시뮬레이션

홍 윤 기(Yoon-Gee Hong)

[정회원]



- 1980년 2월 : 고려대학교 산업공학과(산업공학 학사)
- 1985년 2월 : USC OR 석사
- 1989년 2월 : USC 산업시스템공학 박사
- 1989년 2월 : USC 산업시스템공학 박사
- 1991년 ~ 현재 : 한성대학교 산업경영공학과 교수

<관심분야>

모델링&시뮬레이션, Combat Simulation&Experimentation