

A Study on the Effective Method to Producing Data for The ROKA Live Fire Training Range Safety

June-Sik Lee · Bong-Wan Choi · Hyun-Seung Oh[†]

Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University

한국군 실 사격 훈련간 효율적인 안전지대 데이터 구축 방안 연구

이준식 · 최봉완 · 오현승[†]

한남대학교 산업경영공학과

An effective method for produce munitions effectiveness data is to calculate weapon effectiveness indices in the US military's Joint Munitions Effectiveness Manuals (JMEM) and take advantage of the damage evaluation model (GFSM) and weapon Effectiveness Evaluation Model (Matrix Evaluator). However, a study about the Range Safety that can be applied in the live firing exercises is very insufficient in the case of ROK military. The Range Safety program is an element of the US Army Safety Program, and is the program responsible for developing policies and guidance to ensure the safe operation of live-fire ranges. The methodology of Weapon Danger Zone (WDZ) program is based on a combination of weapon modeling/simulation data and actual impact data. Also, each WDZ incorporates a probability distribution function which provides the information necessary to perform a quantitative risk assessment to evaluate the relative risk of an identified profile. A study of method to establish for K-Range Safety data is to develop manuals (pamphlet) will be a standard to ensure the effective and safe fire training at the ROK military education and training and environmental conditions. For example, WDZs are generated with the WDZ tool as part of the RMTK (Range Managers Tool Kit) package. The WDZ tool is a Geographic Information System-based application that is available to operational planners and range safety manager of Army and Marine Corps in both desktop and web-based versions. K-Range Safety Program based on US data is reflected in the Korean terrain by operating environments and training doctrine etc, and the range safety data are made. Thus, verification process on modified variables data is required. K-Range Safety rather than being produced by a single program, is an package safety activities and measures through weapon danger zone tool, SRP (The Sustainable Range Program), manuals, doctrine, terrain, climate, military defence M&S, weapon system development/operational test evaluation and analysis to continuously improving range safety zone. Distribution of this K-range safety pamphlet is available to Army users in electronic media only and is intended for the standing army and army reserve. Also publication and distribution to authorized users for marine corps commands are indicated in the table of allowances for publications.

Therefore, this study proposes an efficient K-Range Safety Manual producing to calculate the danger zones that can be applied to the ROK military's live fire training by introducing of US Army weapons danger zone program and Range Safety Manual

Keywords : JMEM, GFSM, Range Safety Program, WDZ, K-Range Safety

Received 3 April 2015; Finally Revised 25 August 2015;

Accepted 7 September 2015

[†] Corresponding Author : hsoh@hnu.kr

1. 서 론

국방 M&S¹⁾는 모델링(Modeling)과 시뮬레이션(Simulation)의 합성어로서 국방분야에서 수행되는 연습·훈련, 작전계획·전력분석, 획득, 합동·전투실험 등을 다양한 모의기법을 통해 과학적으로 지원하는 도구 및 수단의 총칭이다. ‘모델링(Modeling)’이란 군사작전, 전투장비 등의 복잡한 실제체계의 특징을 수학적·물리적·논리적 표현인 모델로 만들어 가는 과정이며, ‘시뮬레이션(Simulation)’은 모델을 활용하여 연속적인 시간의 흐름 속에서 복잡한 국방분야의 제반활동을 실제와 유사하게 모의하는 것으로서, 결과를 예측 및 평가하는데 활용한다. 국방 M&S 체계는 연습·훈련, 분석, 획득, 합동·전투실험 분야에서 활용되는 모델 및 체계 등의 응용체계와 제 분야의 운영 및 관리에 필요한 기반환경을 총칭하는 체계이다. 모델은 시뮬레이션 대상체계의 성질 또는 특성을 표현하는 방법에 따라 수학적모델,²⁾ 물리모델,³⁾ 과정모델 등으로 분류하고,⁴⁾ 시뮬레이션은 모의방식에 따라 실기동모의,⁵⁾ 가상모의체계,⁶⁾ 위게임체계⁷⁾로 분류할 수 있다. 국방 M&S는 작전형태별로는 합동, 지상, 해상, 공중 및 상륙작전으로 분류한다. 묘사수준에 따라서는 국가급 전쟁을 모의하는 전구급, 군단·사단급과 같은 대규모 부대를 모의하는 임무급, 연·대대 및 소부대급의 모의를 지원하는 교전급, 무기체계 플랫폼 및 구성요소를 모의하는 공학급 모델로 분류된다.⁸⁾ 또한 적용 분야별로는 연습·훈련, 분석, 획득, 합동·전투실험용으로 분류하고 있다[4, 5, 14].

국방 M&S는 전쟁수행능력 향상을 위한 교육훈련, 전력운용 및 작전계획 분석, 무기체계 획득 등에 있어서 다양한 적용사례를 통하여 이미 그 유용성이 입증되고 있다[9, 15].

특히, 미군은 2차 세계대전부터 시작하여 현재까지 지속적으로 자국 및 외국 무기체계의 취약성, 생존성 및 살상력에 대한 데이터 생산역량을 확보하기 위하여 정책적, 기술적 노력의 결과로 합동탄약효과교범(JMEM)⁹⁾을 생산하였으며 이를 국방 M&S 분석도구에 활용하여 자국의 무기체계를 비롯한 여러 환경에서 적용 가능한 다양하고 유용한 데이터를 제공하고 있다. 실 사격 안전지대 데이터 구축을 위한 모의전투, 전투실험, 무기효과지수 산출 등을 통하여 훈련으로 인해 야기되는 안전, 소음, 대민피해 및 환경영향 등을 최소화할 수 있어 훈련의 효율성과 경제성을 제고시키는데 군의 소요를 충족시켜 가고 있다[8, 9].

한국군의 경우 최근 강원도 OO산에서 155밀리 포병 탄약 사격 후 포탄 파편 조각 일부가 약 1.6km 떨어진 민간지역에서 발견되면서 논란이 되어 사격장이 폐쇄되는 사태가 발생하였다. 한국군에서는 155밀리 포병 고폭탄의 안전거리를 600m로 정하고 있으나¹⁰⁾, 이를 훨씬 넘어선 후방 1.6km 이상의 지점에 포탄의 파편이 떨어졌다는 것은 안전거리 기준에 심각한 문제가 있다는 것을 의미하는 것이다[17, 18, 19].

따라서 본 연구는 한국군 사격훈련 간 가장 광범위하면서 중요한 155밀리 곡사포탄과 전차탄의 안전지대에 대한 분석을 통하여 실 사격 훈련 간 적용해야 할 안전지대 데이터 구축방안을 모색하기 위하여 수행하였다.

2. 연구배경, 범위 및 수행방법

미국은 1963년 탄약효과합동기술협력단(JTCG/ME)¹¹⁾을 출범시켜 각종 무기체계에 대한 탄약효과도를 분석하여 합동탄약효과교범(JMEM)을 작성하였다.

한국군에서도 JMEM의 필요성이 제기되어 1963년 체결된 한·미 자료교환협정(DEA)¹²⁾에 근거하여 1979년에

1) M&S : Modeling and Simulation.

2) 수학적모델(Mathematical Model) : 모의 대상체계의 성질을 수학적 기호와 관계성을 표현하는 기호 모델(Symbolic Model)로서 절차와 수학 방정식 등을 포함.

3) 물리모델(Physical Model) : 모의 대상체계의 물리적 특성을 유사하게 모방하여 만든 모델.

4) 과정모델(Process Model) : 모의 대상체계에 의해 수행되는 행위의 과정을 모델화한 것으로 논리적 프로세스에 의해 표현된 동적인 관계성을 표현.

5) 실 기동 모의(Live Simulation) : 모의대상체계를 구성하는 인원과 장비 모두가 실제 운용되는 모의유형으로 사격훈련장, 과학화 훈련장 및 야외기동훈련 등이 있다.

6) 가상 모의체계(Virtual Simulation) : 모의대상체계를 구성하는 인원과 장비 중 인원은 실제 운용되고 장비는 가상으로 운용되는 모의유형으로 각종 시뮬레이터가 대표적인 사례에 해당된다.

7) 위 게임 체계(Constructive Simulation) : 모의대상체계의 구성하는 인원과 장비 모두를 가상 모의하는 유형으로 위게임 모델 등이 있음.

8) 전구급 모델은 합동/연합전력과 같은 대규모의 무기체계 집합체에 대한 합동전력평가, 합동작전분석, 대부대 훈련 등을 목적으로 하며 전쟁결과, 전력손실 등을 산출한다. 임무급 모델은 대대~사단급 수준의 다중 무기체계 전투전력의 부대구성분석, 소부대 훈련 등을 목적으로 사용된다. 교전급 모델은 단일/소수의 무기체계급의 전투체계 및 소부대를 대상으로 비용/성

능분석, 소부대 훈련 등의 용도로 사용되며 체계효과도, 명중 확률 등을 산출한다. 공학급모델은 단일무기체계의 체계 및 부체계 구성품 수준까지 모의하며 구성품의 공학적 설계, 전투장비의 사거리/관측거리 산출 등을 목적으로 한다.

9) JMEM : Joint Munition Effectiveness Manuals 합동탄약교범.

10) FM 32-8 『Artillery ammunition』, ROKA.HQ 2004. 6. 23.

11) JTCG/ME : Joint Technical Coordinating Group for Munitions Effectiveness.

‘재래식 무기체계 효과방법론 및 입력자료 교환’을 위한 자료교환 협정 부록 1238(DEA-A-79-1238)을 체결하고 한국군이 보유하고 있는 무기체계에 대한 일부 JMEM 자료를 책자형태로 제공하였으나 최신 개발자료의 해외유출은 엄격히 통제하고 제한된 자료만을 제공하고 있다.

이로 인해 무기체계를 신규개발하기 위해 각종 시뮬레이션과 분석모델 사용이 급증하고 있는 한국군으로서 신뢰성 있는 분석자료가 필요하게 되었고 특히, 한국적인 작전환경에 부합하는 기초자료를 독자적으로 개발할 수 있는 기술확보가 절실히 요구되고 있다.

따라서 한반도 작전환경에서 적용 가능한 한국형 사격훈련 안전지대 데이터 구축을 통하여 교육훈련 및 실사격 훈련에 필요한 안전기준을 설정하기 위해서는 한국군이 기존 사용 중인 무기와 탄약을 중심으로 한국형 안전지대 데이터 구축이 필수적이다. 이는 이미 확보하여 운용하고 있는 JMEM 자료를 중심으로 피해평가 및 무기효과평가모델 등을 검토함과 동시에 국내에서 정착단계에 있는 ‘탄약 및 폭발물 안전 기준’¹³⁾ 국내에서 추진한 각종 무기체계 운용시험평가 자료 및 사고분석 자료 등을 기반으로 사격훈련 안전지대에 대한 데이터 구축 방안을 제시하고자 한다[21].

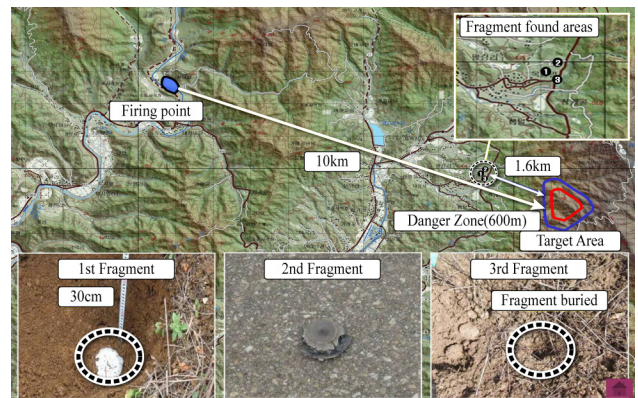
특히, 한국과 미국을 비롯한 나토권 국가들은 탄약의 호환 사용이 가능한 표준화된 무기체계를 사용하기 위한 국제적인 노력을 지속하고 있으며, 한국과 미국은 1974년 이래 SALS-K¹⁴⁾ 협정을 통해 탄약의 공동사용과 단일화 및 표준화를 추진해왔고 최근에는 일부 대구경 탄약의 호환성을 확보하기 위한 상호 운용 적합성 평가¹⁵⁾를 성공적으로 완수한 바 있으며 한·미간 합동탄약효과교범, 탄약 및 폭발물 안전기준의 도입과 교류 협력을 통해 성공적인 한국형 모델을 개발하고 정착시켜왔다. 호환성 탄약은 기본적으로 유사하거나 동일한 성능과 무기효과지수를 갖는다. 기초적이고 기본적인 탄약효과 성능과 무기효과지수는 한국적 전술 교리와 지형, 무기 및 탄약 특성을 보정하여 사격 안전지대 프로그램과 무기위험지대 도구에 적용할 경우 한국군 교리와 한국지형에 적용할 수 있는 신뢰성 있는 데이터 구축을 통해 한국형 안전지대 매뉴얼(K-Range Safety Manual) 또는 교범을 발간함으로써 한국군 사격 안전기준을 정립하고 사격훈련의 안전성을 극대화 시킬 수 있을 것이다[22, 23].

12) DEA : Data Exchange Agreement.
 13) DA PAM 385-64 Ammunition and Explosive Safety Standards.
 14) Single Ammunition Logistics Support-Korea 한·미 단일탄약보급제도.
 15) 한·미 155mm 포병탄약 운용 적합성 평가, 2014. 12, 육군 탄약지원사령부/국방과학연구소.

3. 155mm 포병탄 안전지대 분석

3.1 OO산 포병사격 피탄 사례

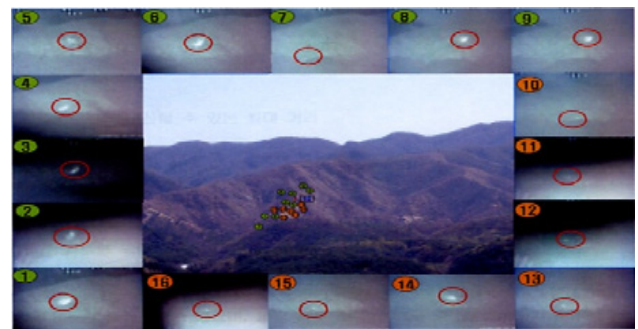
강원도 OO산 지역에서 2012년 4월 실시한 155밀리 포탄 사격훈련 간 발생한 파편이 민가지역에 비산되는 사건이 발생하였다. 이 날 사격한 포탄 84발 중 <Figure 1>의 하단과 같은 파편조각의 일부가 탄착지점의 후방, 즉, 아군 방향 쪽의 민가지역에서 발견되었다.



<Figure 1> Fragments Found in OO Mountain

문제는 피탄지점이 교범상의 위험지역인 600m를 훨씬 넘어선 1,600m 이상 이었다는 점에 있었다. 이후 여러 기관에 의한 파편 분석결과 해당부대의 사격 간 파편으로 분석되었으며, 검증 사격간에도 동일하게 민가에 파편이 비산되는 현상이 반복되었다.

피탄된 파편은 직경 11cm, 두께 3cm 정도의 원형 파편으로 탄저부 파편으로 확인되었으며 155밀리 고폭탄 설계상 탄저부에서 발생하는 정상적인 파편으로 탄저관이 분리된 현상은 아니었으며, 탄두의 공중폭발 가능성과 탄착지 정상폭발 여부를 확인하기 위하여 OO사단에서 사격 당일 촬영된 영상 관독 결과 <Figure 2>와 같이 16발 전량 탄착지에서 폭발되었음을 확인 할 수 있었다[16].



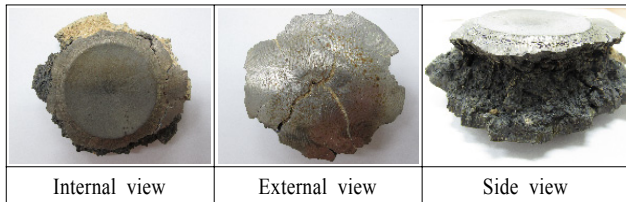
<Figure 2> Explosion Shot Landed Images

3.2 155밀리 포병탄약의 구조

현재 우리나라에서 생산되는 고폍탄의 경우에는 미군이 생산하는 고폍탄과 동일한 형태를 가지고 만들어지고 있다. 탄저부의 두께가 차이가 있다고 하지만 그 차이도 거의 미미하게 0.1mm 정도이다. 이에 따라 거의 동일한 부분이라고 생각할 수 있다. 미군탄약과 한국군 탄약은 구조적인 모습이나 형상 및 재질이 동일하다고 볼 수 있다.

3.3 비산 파편 분석

당시 민가에 떨어진 파편의 형상은 <Figure 3>과 같으며 발견된 파편은 직경 11cm, 두께 3cm 정도의 탄저부 위 파편으로 확인되었다.



<Figure 3> Fragments Shape

포병탄의 파편크기에 대한 기준은 국방규격에 따로 지정한 바 없다.



<Figure 4> Sample of Fragments Shape

그러나, 155밀리 고폍탄 개발시 파편형상 확인을 위하여 파편시험을 실시하였는데, 시험결과 탄저부는 <Figure 4>의 적색 표시부와 같이 크기가 가장 큰 원형파편으로 분리되는 것을 알 수 있다.

3.4 안전지대 선정 기준

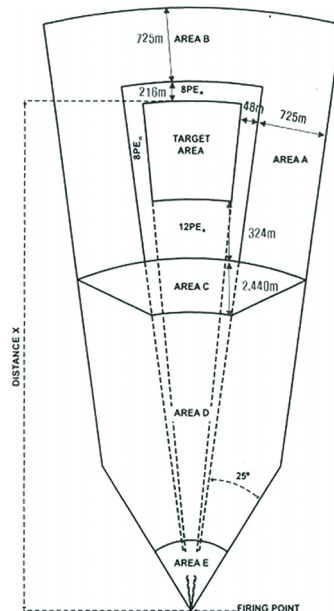
3.4.1 한국군의 안전지대

한국군의 안전지대에 대한 내용은 군에서 활용하고

있는 교범에 나타나 있다. 교범에는 “포병탄의 지면 탄착여부를 관측하고 수정임무를 실시하는 관측자가 우군의 안전거리를 고려시 우선적으로 600m를 기준으로 실시한다.16)”라고 명시되어 있다.

3.4.2 미군의 안전지대

미군의 기술자료를 토대로 TNT가 충전된 155밀리 KM 107 탄약에 대한 공산오차를 적용하여 계산한 결과, 10km 사격시 탄착지점 후방으로 안전지대는 2,764m를 적용하고 있다. 미군의 안전지대(Range Safety)¹⁷⁾는 <Figure 5>와 같이 안전구역, 준 위험 구역(폭파된 파편이 낙하될 위험이 있는 지역), 위험구역(사격간 초과압, 후폭풍, 파편 등의 위험이 있는 지역)으로 구분되며 안전거리를 특징짓는 주요인자는 파편거리(FD : Fragment Distance)이다.



<Figure 5> Danger Zone of 155mm Ammunition Head

4. 전차탄 안전지대 분석

4.1 한국군 전차 사격훈련 실태

우리 군의 전차포 사격훈련장은 총 13개소로 군단별로 1~2개소를 운영하고 있다.

전차탄은 직사탄약으로 표적을 직접 조준하여 사격하므로 표적 후방에 탄착이 되도록 사격장이 일정 기준에

16) FM 32-4 『Observation』, ROKA. HQ, 2010. 1. 1.

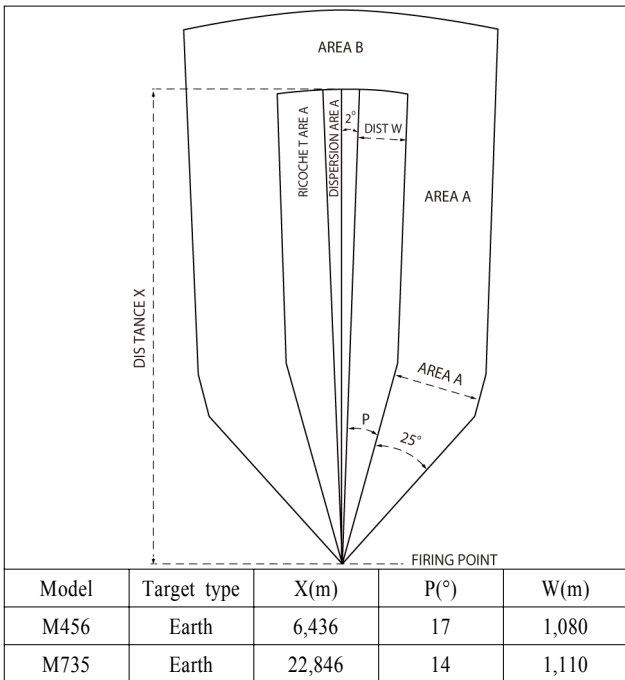
17) Department of the Army Pamphlet 385-63(United States Government, US Army, April 2014.

따라 표준화되어 있다. 그러나 사격 간 발생하는 도비탄이 문제가 되어 일부 사격장에서는 전차탄 사격을 제한하거나 도비발생 가능성이 높은 연습예광탄이나 날개안정철갑탄(18)을 대체하여 도비나 파편비산이 적은 대전차고폭탄(19)으로 사격하는 등 실질적인 교육훈련을 실시하는데 제한을 받고 있다.

4.2 전차탄 안전지대

한국군은 105mm 전차탄(날개안정철갑 예광탄, 연습예광탄 등)의 도비관련 안전기준에 대하여 명시한 규정, 교범 없이 주의사항만을 명시하고 있다. 그러나 미군의 전차 사격훈련과 관련한 도비탄 안전기준은 보다 상세히 기술되어 있다. 안전기준 적용을 위해 선정한 미군 탄종은 2종으로 105mm M456 HEAT-T(20)와 M735 APFSDS-T(21)이며 한·미간 호환성 있는 탄종이다[20].

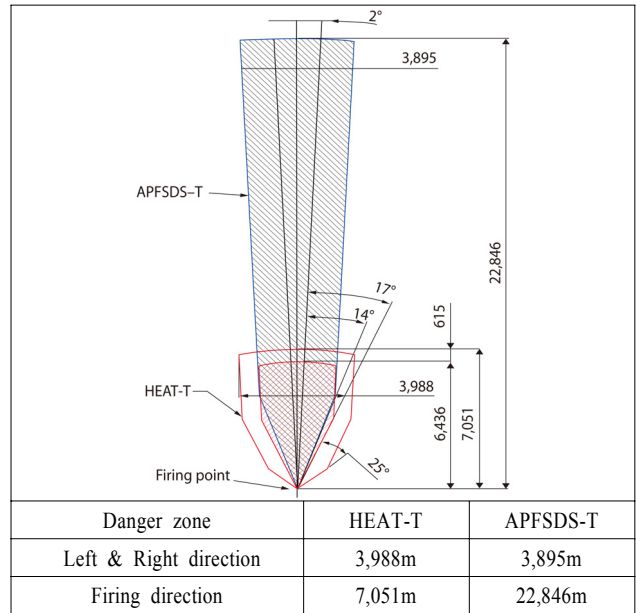
미 육군에서 발간한 DA PAM 385-63에 명시된 위험지역을 근거로 유사탄종의 비산 및 도비발생가능성을 확인한 결과는 <Figure 6>과 같다.



<Figure 6> Danger Zone of Anti Tank Ammunition Head

- 18) 포탄 초구속도가 1,508m/sec로 빠르고 탄체가 절개되지 않아 도비 가능성이 증대된다.
- 19) 포탄 초구속도가 1,137m/sec로 느리고 탄두 작약의 폭발로 탄체가 잘게 절개되면서 원거리 비산위험이 적은 성형 작약탄.
- 20) HEAT-T(대전차고폭 예광탄) High Explosive Anti Tank-Tracer.
- 21) APFSDS-T(날개안정철갑 예광탄) Armor Piercing, Fin-Stabilized Discarding Sabot-Tracer.

여기서, X는 최대 사거리로 안정화 되지 않은 무장을 고려하여 10° 고각 기준, P는 비산(도비)각도(Ricochet Angle). W는 최대 비산(도비)지역(Ricochet Area)이다.



<Figure 7> Comparison of Danger Zone

105mm 날개안정 철갑예광탄은 사거리 방향으로는 최대 22,846m, 편의방향으로는 최대 1,110m로 이는 사격에러 및 비산(도비) 등을 모두 고려한 결과이다. <Figure 7>의 자료를 근거로 105mm 대전차고폭탄과 105mm 날개안정 철갑 예광탄의 사격위험지역을 CAD를 이용하여 도해한 결과 사격지점에서 좌·우측 방향은 대전차고폭탄 (3,988m)과 날개안정철갑 예광탄(3,895m)이 유사하나, 사거리방향으로는 날개안정철갑 예광탄(22,846m)이 대전차 고폭 예광탄(7,051m)보다 약 3배 이상의 넓은 위험지역이 설정되고 있음을 알 수 있다.

5. 국·내외 JMEM 및 국방 M&S 활용

5.1 국외 활용 분야

미국 및 해외 각국에서는 전투요원, 국방부, 합참, 각 군 기획담당자, 군 획득업무 담당자들이 주로 활용하고 있다. 안전지대 데이터 구축을 위해서는 무기특성, 파편 특성 자료와 피해(살상)면적자료를 기반으로 한 여러 분석도구(WDZ²²) Program)의 적용이 필요하다.

22) WDZ(Weapon Danger Zone) 무기위험지역.

5.2 안전지대 개요

안전지대 데이터는 무기위험지역 프로그램 방법론의 무기 모델링/시뮬레이션 데이터와 실제 충격 데이터를 조합하여 생성한다. 각 무기위험지역은 식별된 프로파일의 상대적 위험을 평가하기 위해 정량적 위험평가를 수행하는 데 필요한 정보를 제공하는 확률분포함수를 통합한다. 즉, 안전지대 데이터는 위험지역에 대한 데이터를 산출하여 정리한 자료이다. 이는 지대지, 공대지, 공대공 등 전 무기체계를 포함하며 지형적 요소뿐만 아니라, 훈령, 교리, 규칙 등을 망라하여 안전에 관한 통합교범의 역할을 하고 있다.

6. 안전지대에 대한 공학적 접근

6.1 안전지대 개념 및 구성

합동탄약효과교범과 피해평가 및 무기효과평가모델은 탄착점에서 발생하는 폭발 및 파편효과와 그로 인해 인원, 장비, 시설 및 기타 특정 표적에 대한 살상 및 피해효과를 중심으로 분석이 이루어진다. 그러나 사격훈련 시 위험지역은 내부, 외부, 최종탄도의 전 과정에 분포되어 있으며 탄도곡선(사표)과 탄착지점의 폭발 및 파편효과에 의한 위험, 각종 오차에 의한 위험, 탄의 도비 및 파편 비산, 운용자 실수 등 광범위한 요소를 포함하는 불확실한 위험을 예측하고 대비하는 일련의 활동이다.

미군의 Range Safety 프로그램의 안전율(신뢰도)은 1/1,000,000이다.

6.2 투하정밀도

투하정밀도는 무기체계가 대상표적을 명중시킬 수 있는 능력을 정량적으로 측정하는 것으로 정의된다. 전투원이나 장비가 원하는 탄착지점을 정확하게 조준하지 못해 발생하는 오차를 조준오차라 한다.

사거리 공산오차(REP)²³⁾는 요망 탄착중심(DMPI)²⁴⁾으로부터 거리에 수직인 하나의 선까지의 거리이다.

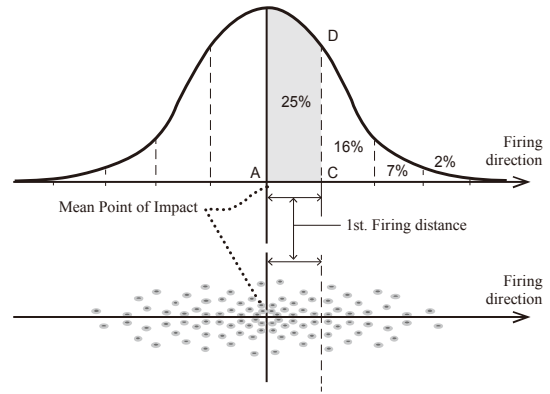
또한 편의공산오차(DEP)는 요망 탄착중심(DMPI)으로부터 거리방향에 평행인 하나의 선까지의 거리이다. REP와 DEP가 각각 거리와 편방향에서의 분산이라고 해도 일반적으로 사용되는 척도는 원형공산오차(CEP)²⁵⁾이다.

23) REP(range error probable) 또는 PER(probable error in range).

24) DMPI(Desired Mean Point of Impact) 요망하는 평균 탄착점, 요망 탄착 중심.

25) CEP : Circular Error Probable.

CEP는 DMPI의 중심인 원의 반경이고 <Figure 8>과 같이 충격점의 50%는 1사거리 내부에 위치하고 4사거리 공산오차 내에 실질적으로 모든 포탄(99.3%)이 파열되는 분포를 갖는다.



<Figure 8> Circular Error Probable

6.3 기타 오류 및 행동 에러

6.3.1 내부 탄도 요소

내부탄도에서 사격에 영향을 미치는 요소는 장약, 포신, 포구초속 등이 있으며 비정상적인 포구초속을 유발하는 요소로 속도경향,²⁶⁾ 포탄 제작번호 LOT, 포신의 허용오차, 포신마모, 포강침식(마손,²⁷⁾ 삭마²⁸⁾ 부적절한 장전, 회전탄대 오염 및 마모, 포탄 및 장약온도, 장약의 수분함유, 약실 내 장약의 비정상적인 장전, 포탄 무게의 차이, 동화작용,²⁹⁾ 장약의 잔재, 포신의 온도상태 그리고 내부탄도의 부가적인 영향으로 포신의 추상(Tube Memory)³⁰⁾과 포신의 도약(Tube Jump),³¹⁾ 공기역학적 도약,³²⁾ 수직도약 등이 있다.

26) 동일 화포, 동일 로트 탄약을 사격해도 동일한 포구 초속이 나타나지 않는 현상.

27) Scoring : 탄자의 회전탄대와 포강 내 벽사이로 빠져나가는 추진가스의 분출로 인하여 생기는 침식.

28) Abrasion : 탄두와 포신과의 접촉에 의하여 완만히 발생하는 포 강벽의 침식.

29) 포신 내에서 포구속도가 클때 포강에 맞물려 있는 회전 탄대가 강선과 마찰을 일으키면서 포강 내에 미세한 구리 조각을 남기는 현상.

30) 포신의 추상(기억)이란 장약의 호수가 바뀌더라도 동일한 방법으로 사격강도에 반응하려는 경향을 나타내는 물리적 현상.

31) 포탄이 포구를 떠날 때 직선을 유지하려는 현상.

32) Aerodynamic ajump : 강선과 탄두의 회전대가 전진폐쇄기능을 완전하게 할 수 없으면 어느 한 부분으로 고압의 추진가스가 먼저 새어나가 탄두가 포구를 빠져나가는 순간 균일하지 못한 힘을 받게 되어 탄두의 축이 고각선과 작은 각을 이루면서 이동하는 현상.

6.3.2 외부 탄도 요소

외부탄도에서는 천이탄도학³³⁾ 표준대기 조건하에서의 표준탄도, 항력, 양력, 모멘트, 끌림효과³⁴⁾ 바람의 영향(사거리풍, 측풍, 사풍, 수직풍 풍향각), 탄두 형태(단면적, 직경, 형태, 무게), 음속을 초과하는 탄두속도 등에 영향을 받는다. 외부탄도의 오차를 유발하는 원인으로는 고정편차(시차, 편류), 가변편차, 무작위 오차, 광학기재 굴절에 의한 오차 등이 있다.

6.4 M&S 분석모델 활용

6.4.1 미군 분석 모델

미군이 사용하는 지대지 곡사화기 분석도구는 크게 두 가지로 분류할 수 있는데 하나는 HE탄 피해계산 도구이며 또 하나는 무기효과평가 도구이다. HE탄 피해계산에는 GFSM³⁵⁾모델이 유일한 모델로 식별되었으며 Matrix Evaluator 모델이 GFSM 모델과 연계하여 사용할 수 있다는 측면에서 한국군은 기술적 협력을 통해 이 모델을 참조하여 한국형 피해계산모델인 K-GFSM³⁶⁾과 한국형 무기효과평가모델인 K-Matrix Evaluator³⁷⁾를 개발하여 운용하고 있다[12].

6.4.2 분석모델 주요 내용

GFSM은 폭발고도, 낙하각도, 파편무게/속도에 따른 개별 고폭탄(HE)의 피해를 계산한다. SQ2³⁸⁾는 개별 HE탄에 의한 피해면적을 사각형 피해함수(Rectangle damage function)를 적용하여 평가하는 분석모델이며, Artquik은 개별 HE탄에 의한 피해면적은 칼톤 피해 함수(Carleton damage function)를 적용하고 ICM탄에 의한 피해면적은 칼톤 피해 함수를 사용하지 않고 쿠키-커터(Cookie-Cutter)방식의 사각형 피해 함수(Rectangle damage function)를 적용하는 분석모델이다. Matrix Evaluator는 GFSM(General Full Spray Model)으로부터 계산된 피해면적으로부터 파생된 무기피해매트릭스(Weapon Damage Matrix, Pk Matrix)를 사용하는 분석도구

33) Transition ballistics : 포탄이 포구를 떠난 후 수 밀리초(ms) 동안 포구근방에서는 여러 가지 복잡한 현상이 일어나는데 이러한 현상과 그 효과에 대하여 연구하는 탄도학의 한 분야로 아직 명확하게 규명되지 않은 문제가 많다.
 34) 고속으로 비행하는 포탄의 탄저부분에 생기는 진공현상으로 인해 비행간 진행방향과는 반대로 끌리는 저항이 발생하는 현상(탄미 진공 항력).
 35) GFSM(General Full Spray Model) 피해 평가 모형.
 36) K-GFSM(K-General Full Spray Model)미군의 피해 평가모델을(GFSM)을 참조하여 한국군 지대지 곡사화기 피해평가를 위해 한국형으로 개발한 모형.
 37) 미군의 무기효과평가모델(Matrix Evaluator)을 참조하여 한국군 지대지 곡사화기 무기효과평가를 위하여 한국형으로 개발한 모형.
 38) SQ2 : Super quikie 2.

로 한국군이 사용하는 모델이다[6, 7, 15].

6.4.3 곡사화기 HE탄 피해 계산 요소

곡사화기 HE탄의 피해면적을 계산하기 위한 요소로는 폭약의 종류 및 무게 등에 의존하는 폭발특성(탄약의 폭발효과로 표적에 피해를 입히는 방식)과 파편의 재질, 모양, 범위, 무게, 개수, 속도, 형태 등에 의존하는 파편특성(탄약의 폭발시 비산되는 파편으로 표적에 피해를 입히는 방식)으로 구분된다. 안전지대(Range Safety) 데이터 산출을 위해서는 파편특성에 관한 이해가 필요하다.

6.5 수리적 방법론

6.5.1 안전지대 데이터 계산

무기효과평가는 살상력에 기준을 두고 수행된다. 그러나 안전지대 데이터는 유사한 방식을 사용하지만 살상력이 최소화되거나 0이 되는 최소조건이 필요하다.

이러한 수리적 방법은 실제 분석모델의 소프트웨어로 구현되어 있다[2, 13].

다음은 본문에 사용된 상수와 변수에 대한 설명이다.

- $\bar{P}(r)$: 거리 r 별 평균 PK(Probability of Kill : 살상확률)값
- $P(\gamma_j, r)$: 거리 r 에서 j 번째 동적 파편지대의 살상확률
- $PF(\gamma, r)$: 지상거리에서 j -번째 파편지대의 파편에 대한 피해확률
- $PB(\gamma_j, r)$: 지상거리에서폭발에 대한 피해확률
- P_K : 각각의 주어진 셀 당 평균 피해율
- d : 각 동적지대의 치명적인 파편의 밀도의 기댓값
- V_C : 무게별 파편의 Cutoff 속도
- V_S : 파편의 충돌속도
- S : 파편의 무게 당 최대 효과 거리
- $\Delta\gamma_j$: 각도의 증분($\gamma_j - \gamma_{j+1}$)
- SR (Slant Range) : 폭발지점과 표적 간의 직선거리
- $RB1$: 폭발에 의한 피해율(P_K)이 1인 거리(반경)
- $RB2$: 폭발에 의한 피해율(P_K)이 0인 거리(반경)
- $D(\gamma_j, r)$: 파편의 평균 밀도(D)와 인원의 노출면적(S)의 곱
- D : 치명적인 파편의 평균 밀도
- S : j 번째 동적지대의 거리에 있는 인원의 노출면적
- k : 파편모양과 관련된 인자 값(gr/in^3)
- K : 파편모양과 관련된 인자 값($ft^2 gr^{1/3} lb$)
- $C_{i,j}$: i -번째 매질층에서의 j -번째 저항계수
- V_j : 저항계수 표에서의 j -번째 속도
- m : 파편의 무게(grains)
- A : 평균 노출 면적(cm^2)
- W : $(1.463 - 0.16663 \log 10m) \times 107$ (겨울군복)
- α, β : 저항 값(저항곡선에서 선형보간법을 이용하여 산출)

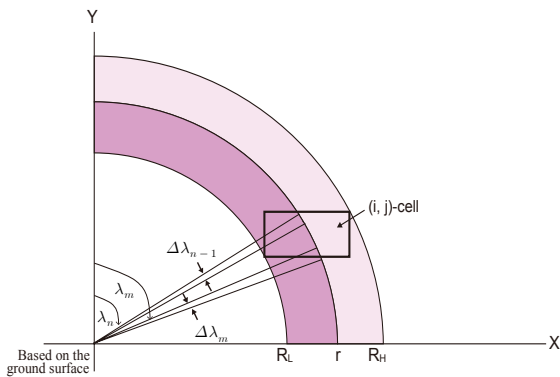
6.5.2 효과평가의 수리적 접근

거리 r 별 평균 PK(Probability of Kill : 살상확률)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), 무계별 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 셀 당 평균피해율 \bar{P}_K 값을 구하면, 무기피해매트릭스(Weapon Damage Matrix)를 산출할 수 있다. 프로세스 절차에 따라 무기피해매트릭스(Weapon Damage Matrix)를 계산하기 위한 수식은 <Figure 9>를 참조하여 K-GFSM의 최종 출력값인 무기피해 매트릭스에 제시한 방법을 이용하여 만든다. 주어진 셀(i, j)의 평균 피해율(\bar{R}_K)은 다음과 같이 정의할 수 있다.³⁹⁾⁴⁰⁾

$$\bar{P}_K = \frac{\int_{R_L}^{R_N} \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} P(\lambda, r) r d\lambda dr}{\int_{R_L}^{R_N} \int_{\lambda_m}^{\lambda_n} r d\lambda dr} \quad (1)$$



<Figure 9> The Definition of PK-Matrix Cell

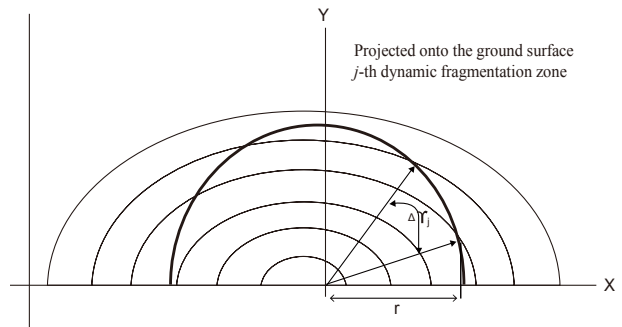
다음은 무기피해매트릭스의 셀 당 평균피해율 \bar{P}_K 값을 구하기 위해 필요한 수식에 대해 설명하고자 한다.

거리 r 별 평균피해확률 $\bar{P}(r)$ 이 필요하며 다음과 같이 계산한다.

39) Colin Michael Anderson, Generalized Weapon Effectiveness Modeling, Monterey : N.P.S, 2004, pp. 37-83.
 40) Heung-Joo Lee, The Theory of Gun & Trajectory, Seoul : Chung Mun Kak Publisher, 1994, pp. 241-307.

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

위의 식에서 $P(\gamma_j, r)$ 는 거리 r 에서 j 번째 동적 파편지대의 살상 확률이고, $\Delta\gamma_j$ 는 각도의 증분 ($\gamma_j - \gamma_{j+1}$)으로 <Figure 10>처럼 주어진다.



<Figure 10> The Fragment-Zone Projected onto Surface

6.5.3 폭발효과 거리 계산

폭발효과 거리 계산, $P_B(\gamma_j, r)\bar{P}(r)$ 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

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

$$RB1 < SR < RB2 \text{ 일 경우}$$

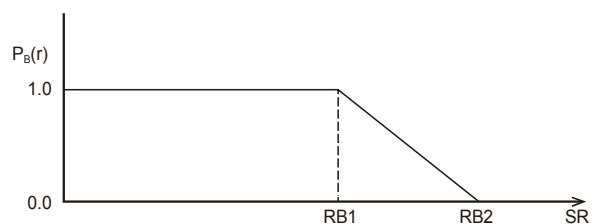
$$P_B(r) = 1.0 - \frac{(SR - RB1)}{(RB1 - RB2)}$$

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

SR (Slant Range) = 폭발지점과 표적 간의 직선거리

$RB1$ = 폭발에 의한 피해율(P_K)이 1인 거리(반경)

$RB2$ = 폭발에 의한 피해율(P_K)이 0인 거리(반경)



<Figure 11> The Explosion Effect

6.5.4 파편효과 거리 계산 방법

파편효과 계산을 위해 파편에 의한 피해 확률 $P_F(\gamma_j, r)$ 는 다음과 같이 주어지며 인원에 대한 피해 확률은,

$$P_F(\gamma_j, r) = 1 - e^{-D(\gamma_j, r)} \text{이다.} \quad (3)$$

여기서 $D(\gamma_j, r)$ 은 치명적인 파편의 평균 밀도(D)와 j 번째 동적지대의 거리에 있는 인원의 노출면적(S)의 곱이다. 따라서 $D(\gamma_j, r)$ 값을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} D(\gamma_j, r) &= DS \text{이며} \\ D_F(\gamma_j, r) &= 1 - e^{-DS} \text{이다.} \end{aligned} \quad (4)$$

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

6.5.5 파편의 컷 오프 속도

무계별 파편의 Cut off 속도 V_C 는 다음과 같이 계산한다.

$$V_C = \sqrt{\frac{WA}{m}}$$

여기서,

- m = 파편의 무게(grains)
- \bar{A} = 평균 노출 면적(m^2)
- $W = (1.463 - 0.16663 \log 10m) \times 107$ (겨울군복)

이 식은 무게와 평균 노출면적의 관계($m = k(\bar{A})^{3/2}$) 파편의 모양에 대한 상수의 관계를

$$K = \frac{7,000}{144k^{2/3}}$$

을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_C = \sqrt{\frac{0.132719 WK}{m^{1/3}}}$$

안전거리 옵션을 이용한 계산은 다음과 같다.

$$V_C = \left[\frac{125m^{-1/3} K 929.0304}{453.5924} + 22 \right] 3.2808$$

6.5.6 최대 효과 거리의 계산

파편의 무게당 최대효과 거리는 다음 적분방정식을 이용하여 계산한다.

$$\int_0^S ds = -\frac{m}{\rho A} \int_{V_n}^{V_s} \frac{VdV}{(\alpha V + \beta)v^2} \quad (5)$$

위의 식에서 α 와 β 는 저항계수표의 값을 보간법을 사용하여 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \alpha_{i,j} &= \frac{C_{i,j+1} - C_{i,j}}{V_{i,j+1} - V_{i,j}} \\ \beta_{i,j} &= \frac{V_{j+1}C_{i,j} - V_{j+1}C_{i,j+1}}{V_{j+1} - V_j} \end{aligned}$$

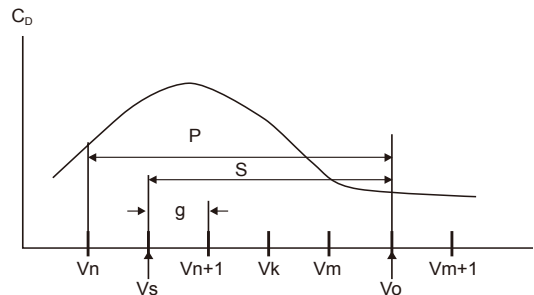
여기서,

- $C_{i,j}$ = i -번째 매질층에서의 j -번째 저항계수
- V_j = 저항계수 표에서의 j -번째 속도

이 적분방정식을 풀어서 $A = Km^{2/3}$ 을 대입하면 다음과 같은 식을 얻는다.

$$S = \frac{m^{1/3}}{\rho \beta K} \ln \left[\frac{V_0(\alpha V_s + \beta)}{V_s(\alpha V_0 + \beta)} \right] \quad (6)$$

여기서 S 는 무게가 m 인 파편이 처음속도 V_0 에서 임의의 종말속도 V_s 가 될 때까지 비행한 거리이다. α 와 β 는 저항에 관계된 값으로 <Figure 12>의 저항곡선에서 선형 보간법을 이용하여 얻을 수 있다.



<Figure 12> Resistance Curve

결국 파편의 속도가 V_s 가 될 때까지 비행한 총거리 S 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} S &= \frac{m^{1/3}}{\rho K} \left[\frac{1}{\beta_n} \ln \left[\frac{V_n(\alpha_n V_m + \beta_m)}{V_m(\alpha_n V_n + \beta_m)} \right] \right. \\ &\quad - \frac{m^{1/3}}{\rho K} \sum_{m=1}^{n+1} \frac{1}{\beta_2} \ln \left[\frac{V_i(\alpha_i V_{i+1} + \beta_i)}{V_{i+1}(\alpha_2 V_1 + \beta_i)} \right] \\ &\quad \left. + \frac{1}{\beta_n} \ln \left[\frac{V_{n+1}(\alpha_n V_n + \beta_n)}{V_n(\alpha_n V_{n+1} + \beta_n)} \right] \right] \end{aligned}$$

파편의 컷 오프 속도 V_c 를 피해확률이 거의 0이 되게 하는 속도라 정의 할 때,

$$V_s = V_c \text{로 놓고,}$$

위 식을 풀면 탄두가 폭발한 지점을 기준으로 한 최대 효과거리 S 를 구할 수 있다. 즉, 안전지대 데이터에서 관심을 갖는 지상면에서의 파편 최대효과 거리(파편이 비행한 총 거리)는

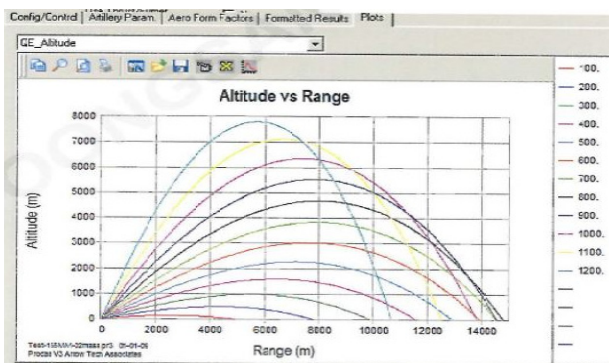
$$S = \sqrt{S^2 - h^2} \text{이다.}$$

6.5.7 탄도곡선 분석모델 : PRODAS

PRODAS(Projectile Rocket Ordnance Design and Analysis System)는 1992년 최초의 상용버전으로 PC-PRODAS가 출시되었으며 새로운 발사체(Projectile)의 신속한 설계와 기존 혹은 신규탄약에 대한 효용성 분석을 위해 개발되었다. Windows를 운영체제(OS)로 사용하며 모듈 상호간의 데이터를 자동으로 교환할 수 있고 PRODAS에 내장된 데이터의 접근 및 수정이 가능한 분석모델이다.

PRODAS 모듈에는 기존 데이터가 탑재되어 있어 이미 사용 중인 탄약에 대한 기술적인 검토가 가능하며, 유사 모델을 개발시 시간과 비용을 절감하는 효과를 기대할 수 있다. 이는 현재 사용 중인 탄약의 안전성, 탄도 등에 대하여 기본 제원을 활용할 수 있다는 것을 의미한다. PRODAS는 계산 모듈을 사용하여 다양한 형태의 무기체계에서 발사된 탄약의 사표를 나토 표준(NATO STANG 4199 format)에 따라 작성이 가능하다.

계산정밀도는 Axial Force의 경우 정상형태에서의 계산오차범위(초음속일 경우)는 ±3%이며, 비정상적인 형상의 경우는 ±7%이다.

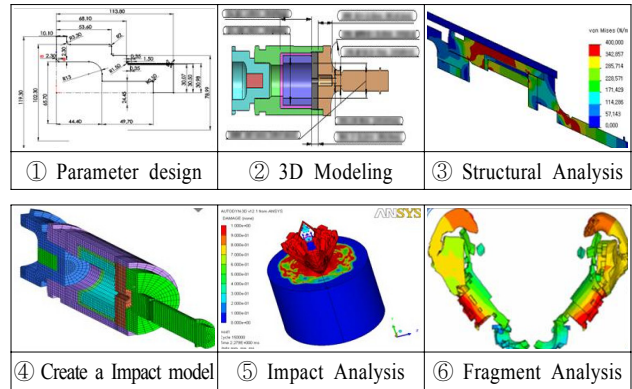


<Figure 13> 155mm Howitzer Firing Table

포탄 탄착지에서의 충격, 폭발 후 발생하는 파편의 효과는 살상효과를 다루는 무기효과 평가에서도 중요한 해석이지만 위험지역을 판단하는 안전지대 연구에서도 핵

심적인 요소이다. 연구 목적 상 본 연구에서는 120mm 전차 도비방지 연습예광탄 설계 최적화 개발 과정에서의 모델링 및 시뮬레이션 결과를 실 사격 시험 평가와 비교 검증하여 위험지역 해석 가능성을 확인하였다.

6.5.8 도비 및 충돌 현상 해석 절차



<Figure 14> Collision Analysis Procedures

6.5.9 도비 및 충돌 분석 모델

도비 및 충돌에 사용된 분석 모델은 다음과 같다.

- ① 3D Modeling : Solid Works 2012
- ② 구조 안전도 해석 : Solid Works Simulation 2012
- ③ FE Modeling(유한요소 모델링) : Hyper Mesh
- ④ 충돌 해석 ANSYS Autodyn

6.5.10 120mm 전차탄 도비 및 충돌 현상 해석

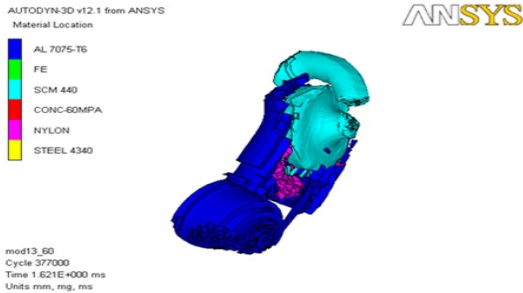
<Figure 15>는 120mm 전차 연습예광탄을 650m/s의 충돌 속도로 45° 콘크리트 표적에 충돌 시 회수한 파편형상(41)이다. 회수된 파편은 총 93개이며 총 중량은 10,708.2g, 회수된 파편의 특징은 스파이크 몸체의 파편 질량은 3,965.2g, 스파이크 노즈의 질량은 1,155.9g, 안정판의 질량은 1,333.0g이다. 파편 회수율은 90%이다.



<Figure 15> Fragment Collection

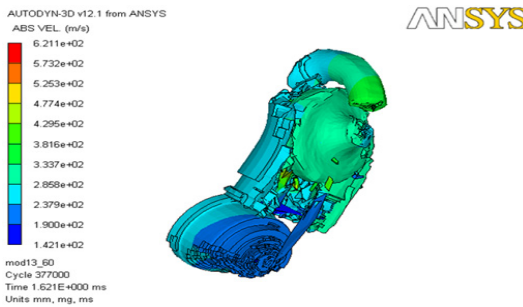
41) 실 사격시험은 국과연 시험장에서 실시되었으며, ADD에서 시험결과를 제공하여 충돌 해석결과와 실제 시험결과를 비교하였다.

시험 대상 탄약의 충돌 결과 해석모델은 표적에 충돌 후 61개의 파편이 발생하였고 전체 질량은 5,199g이었다. 파편에 대한 형상 및 속도를 해석한 결과를 <Figure 16>과 <Figure 17>에 명시하였다.



<Figure 16> The Shape of Fragments

이중 질량이 큰 25개의 파편에 대한 질량 및 속도를 분석하여 표로 정리하고 파편 잔류속도, 질량, 비산각도를 각각 계산하면 파편의 비산방향과 거리를 예측할 수 있다.



<Figure 17> The Velocity of Fragments

7. 미 안전지대 데이터 적용 가능성 검증

7.1 가능성 검증 방법 및 조건

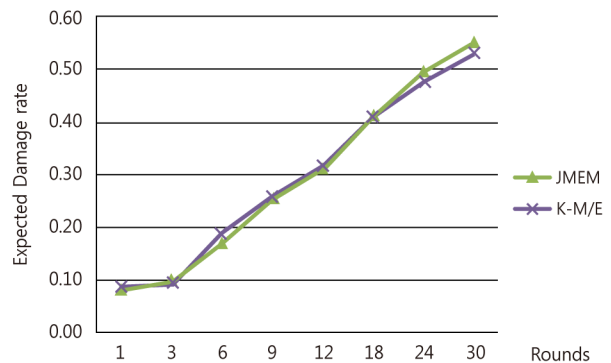
검증방법으로는 무기체계 실사격 실험을 통한 방법과 무기체계 개발 및 운용시험 평가/전투실험 등을 통해 축적된 자료를 비교하는 방법, M&S 운용을 통한 자료의 신뢰성을 검증하는 방법으로 개략 3가지로 분류하고 있다. 안전지대 데이터 구축 특성상 대규모 폭발실험과 사격실험이 수반되어야 하므로 실 사격 실험을 통한 자료의 적용 가능성 검증은 제한될 수밖에 없다. 개발 및 운용시험 평가를 통해 축적된 자료의 활용 또한 충분한 데이터 확보가 어려워 제한된다[3, 10, 11].

M&S 운용을 통한 자료의 신뢰성 검증은 미측의 원천 기초자료 확보가 제한되고 현재 활용 가능한 한국군 데이터를 구축하지 못한 상태이므로 본 연구에서는 오차, 사격

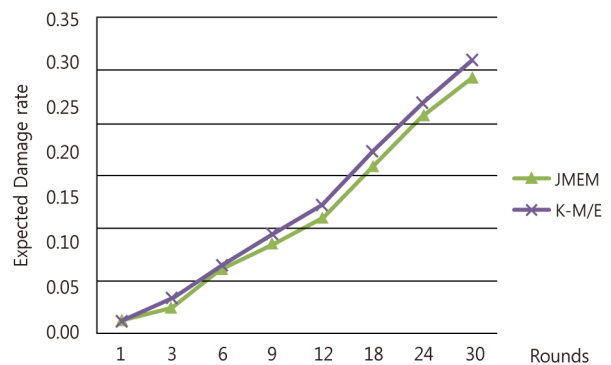
간 각종 행동 예러는 동일하다는 가정 하에 합동탄약교범의 자료를 활용하여 생성한 GFSM, Matrix Evaluator의 무기효과 지수와 한국군이 사용하는 탄약제원을 입력하여 K-GFSM, K-Matrix Evaluator 무기효과지수(기대 피해율 값)의 차이를 비교하고 두 개의 무기효과지수 값의 차이에 대한 통계적인 가설검정을 통해 타당성을 검증하였다.

7.2 검증 결과

표적자세별 일제사 수에 따른 JMEM의 기대피해율 값과 개발한 모형에 적용된 기대피해율 값의 결과는 통계범위 내에 있다. <Figure 18>, <Figure 19>에서 보듯이 표적자세별 서있는 병사, 엎드린 병사, 참호 속 병사 순으로 기대 피해율이 높게 나타났으며 K-Matrix Evaluator와 JMEM의 기대피해율 값이 유사한 것으로 나타났다[6, 7].



<Figure 18> The Comparison on Expected Fractional Damage Value(Standing Personnel)



<Figure 19> The Comparison on Expected Fractional Damage Value (Prone Personnel)

타당성 검증을 위해서는 K-Matrix Evaluator와 JMEM의 기대피해율 값이 통계적으로 차이가 없다는 것을 증명해야 한다. 이러한 증명을 위해 <Table 1>에서와 같이 통계학에서 사용하고 있는 가설검정을 활용한다[1].

<Table 1> The Result of the Testing of Hypotheses

Division	Contents
null hypothesis	$H_0 : u_D = 0$, The mean(u_D) in the difference(D) value of the corresponding data with each other is "0" (zero)
alternative hypothesis	$H_a : u_D \neq 0$, The mean(u_D) in the difference(D) value of the corresponding data with each other is not "0" (zero)
χ_1, χ_2	χ_1 : Sample values of JMEM Expected Fractional Damage χ_2 : Sample values of K-Matrix Evaluator Expected Fractional Damage
u_1, u_2	u_1 : Mean values of JMEM Expected Fractional Damage u_2 : Mean values of K-Matrix Evaluator Expected Fractional Damage
D	$\chi_1 - \chi_2 =$ Difference(D) values of Sample of the corresponding data with each other
Significance level(α) = 0.05, Quantities of samples(n) = 24 $\Rightarrow t_c = t_{\alpha/2, n-1} = t_{0.05, 23} = 2.04523$	
D = -0.002827, $S_D = 0.009949$, $S_D = 0.002031 \geq$ Observations Value $t_0 = -1.391903$	

쌍대 t 검정(matched pairs t-test)을 하기 위해서는 모수적 검정이므로, 두 그룹의 샘플을 뺀 값이 정규분포를 만족한다는 것이 전제되어야 한다. 거리 및 편향방향에서 탄착점의 분포는 정규분포이므로 두 기대 피해율의 값의 차이 또한 정규분포라는 가정 하에 가설을 검정한다[13].

두 개의 기대 피해율 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. <Table 1>에서 보는바와 같이,

$$t_0 (-1.391903) > t_c (-2.04523) \text{이고,}$$

양측검정에서 관측값이 귀무가설을 기각하지 못하는 영역에 있으므로 귀무가설을 기각하지 못한다. 즉, 유의수준(α) 0.05에서 u_D 가 0이라는 것을 기각할 수 없다. 따라서 JMEM과 K-Matrix Evaluator의 기대피해율의 값의 차이의 모평균이 0이라는 것을 기각할 수 없고, JMEM과 K-Matrix Evaluator의 기대피해율의 값의 차이가 있다 할 수 없다. 즉, 한·미 무기효과 지수는 통계적으로 유사하므로 미군의 JMEM은 탄약종류에 따라 일부 보정을 통해 한국군에서도 사용이 가능하다는 결론을 얻을 수 있다. 하지만 Range Safety Program은 지리정보시스템에 기반한 산출물로 한국적 지형, 운용환경, 훈련교리 등을 반영하여 안전지대 설정이 이루어지므로 미군의 Range Safety Manual에 보정된 변수를 적용하여 데이터(산출물)를 산출하여 검증하는 절차가 필요하다. 이는 포탄이 동일한 성능이라는 점에서 어느 정도 예측된 결과라 할 수 있다.

8. 한국형 사격 안전지대⁴²⁾ 데이터 구축 방안

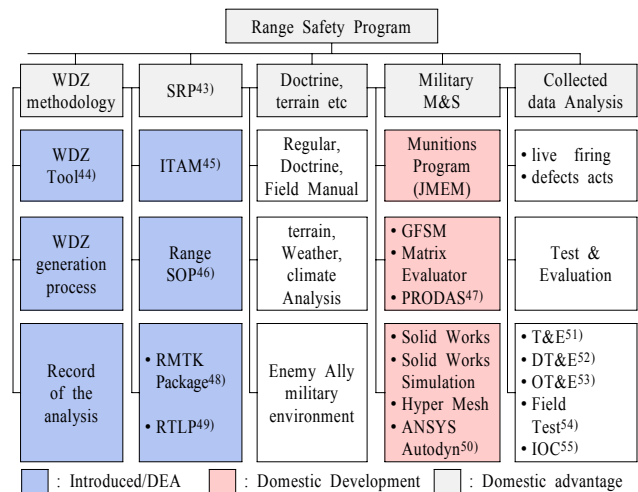
8.1 목표 및 전략

한국형 안전지대 데이터 구축방안 연구는 한국군 교육훈련 여건 및 환경에서 효율적이면서 안전한 사격훈련을 보장하기 위한 기준이 될 교범(지침서)을 개발하는 것이다. 이러한 안전지대 교범을 개발하는 것은 장기적이고도 체계적인 투자가 요구된다. 미국의 경우 조직구성, 예산확보, 연구수행 등 일련의 다양한 업무들이 오랜 기간에 걸쳐 단계적으로 추진된 반면, 한국군의 개발은 상대적으로 신속하게 추진될 수 있는 여건을 갖추고 있다. 정책결정이 이루어지면 선행 연구와 단계별 추진전략을 통해 신속한 추진이 필요하다.

8.2 한국형 사격 안전지대 데이터 구축 방안

한국형 사격 안전지대 데이터(K-Range Safety)는 단일 프로그램 운용을 통해 생산되기 보다는 무기위험지대 도구, 지속 가능한 사격장 안전관리 프로그램, 교범 및 교리, 지형, 기후, 국방 M&S와 무기체계 개발/운용시험 평가를 통해 수집된 제원분석을 통해 지속적으로 안전지대의 범위를 개선해 나가는 포괄적인 안전 활동 및 대책이다.

<Table 2> Components of Range Safety Program



- 42) 본 논문에서는 일명 K-Range Safety(가칭)라 하기로 한다.
- 43) The Sustainable Range Program(SRP) 지속 가능한 사격장 안전관리 프로그램.
- 44) WDZ(Weapon Danger Zone) tool : 무기위험지대 도구. 작전 계획자와 육군의 지역관리기관(range management authority), 해병대의 지역통제장교(range control officer)에게 유효한 데스크 톱 및 웹 기반 버전 모두에서 사용할 수 있는 지리정보시스템에 기반한 응용 프로그램이다.

8.3 개발조직체계 구성방안

미군은 육군을 중심으로 안전지대에 대한 연구와 활용이 이루어지고 있다. 미군은 육군의 조정 통제하에 교육사 및 교육사 예하 기관들이 참여하고 있다. 한국군 또한 육군본부 정작지원참모부 조정 통제하에 국방부 교육정책관실이 지원하며 교육사가 실행을 담당하는 조직체계 구성이 필요하다.

운영위원회는 미국의 경우 JTCG/ME와 같은 역할을 수행하는 조직으로 조정/통제 역할을 하는 상위기관과의 연계계를 통해 효과적인 업무수행을 하는 조직이다.

한국군의 경우 교육사를 중심으로 각 군의 기능연구소, 병과학교 전발부서, KIDA, ADD, 기품원, 국방지형 정보단, 공군 기상단 등이 참여하는 운영위원회 조직이 필요하다. 미군의 경우 JMEM 개발 및 유지에 오클라호마 주립대학이 참여하고 있는데, 한국군도 국내의 M&S 분야에 경험이 많은 대학과, 민간연구소/업체가 포함되어야 하며 운영위원회에 소속된 기관들은 실행기관으로서의 역할을 같이 수행하여야 한다.

8.4 단계별 추진과제

첫째로, 사업 분석 및 기초자료를 획득한다. 무기위험지대 방법론, 절차, 분석자료, 도구 및 분석자료 획득을 통해 사업추진 기본계획을 수립한다.

둘째, 방법론 및 M&S 관련 도구를 개발한다. 자료교환협정을 통해 획득한 관련 M&S(WDZ Tool, ITAM, RMTK, RTLP)와 제원 및 프로세스 분석을 통해 국내 적용 또는 개발여부를 검토한다.

- 45) ITAM(Integrated Training Area Management) 통합 훈련 영역 관리.
- 46) Range SOP(SOP Standard Operating Procedure) 지대 표준예규.
- 47) PRODAS(Projectile Rocket Ordnance Design and Analysis System) 탄도곡선 분석모델.
- 48) RMTK(Range Managers Tool Kit) 지대관리도구킷. WDZ Tool Kit(무기위험지대도구)를 사용하여 생성. 무기체계별 무기위험지대들은 지대관리도구킷(Range Managers Toolkit) 패키지의 일부분으로 무기위험 지대도구를 사용하여 생성됨.
- 49) RTLP(Range and Training Land Program) 사격장과 훈련장 프로그램.
- 50) 도비 및 충돌 분석에 사용되는 모델로 3D Modeling, 구조 안전도 해석, FE Modeling(유한요소 모델링), 충돌 해석 수행.
- 51) T&E(Test & Evaluation) 시험 평가.
- 52) DT&E(Development and Evaluation) 개발시험평가.
- 53) OT&E(Operational Test and Evaluation) 운용시험평가.
- 54) Field Test 야전 운용 시험.
- 55) IOC(Initial Operational Capability Evaluation) 최초 운영 능력 평가 또는 초도 전력화 평가.

셋째, 효과도를 산출하여 타당성을 확인한다. 프로세스에 대한 검증과 최종 산출물인 K-Range Safety의 국내 적용 가능성 등을 포괄적으로 검토하고 확인한다.

넷째, 검증 및 출판, 지속적인 최신화와 자료를 운영 유지하도록 추진한다. 미 육군은 매년 Range Safety 수정본을 요약본(Summary of Change)과 함께 발간하고 있다.

9. 결 론

본 연구는 국내에서는 아직 연구기반이 취약한 한국형 사격 안전지대 데이터 구축방안을 마련하기 위하여 수행되었다. 한·미간 합동탄약효과교범, 탄약 및 폭발물 안전기준에 대한 연구와 교류협력은 많은 발전을 이루었으며 일정 수준 정착단계에 이르렀으나 사격안전지대 즉 K-Range Safety에 대한 국내연구는 체계적으로 이루어진 바 없는 실정이다. 국내에선 현재 미 육군이 발간한 Range Safety를 활용하여 국내 사격장 구축시 일부 제원(DB)을 인용하는 수준에 머물러 있으나 한국군 지형, 교리, 교범 및 안전기준에 최적화된 한국형 사격 안전지대 데이터를 구축하여 독자적인 안전기준을 정립할 수 있도록 본격적인 연구기반 조성 과 여건 마련이 요구된다.

이를 위해 국·내외 기술자료를 분석하고 한국군 실 사례를 들어 개발 필요성을 확인하였으며 국내 M&S 기술수준을 파악함으로써 국내 개발방법론에 대한 가능성을 검토하여 공학적 접근과 정책적 접근 방법론을 제시함으로써 정책적 결심만 이루어진다면 신속한 조직과 체계구성, 예산확보를 통해 효율적이고 경제적인 방법으로 연구 성과를 달성할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

국내 사격장에서 일어난 몇몇 사례에서 보듯이 안전지대를 고려하지 않은 사격훈련으로 인해 발생한 사고는 비록 직접적인 인명피해로 이어지지는 않았다 하더라도 민간의 안전의식이 그 어느 때보다 고조된 현 시점에서 자기 집 앞마당에 떨어진 포탄 한발은 사격장을 일시에 폐쇄시킬 수 있다는 중대한 경고를 우리에게 주고 있으며 향후 이러한 추세는 더욱 심화 될 것이라는 데 이론의 여지가 없다.

Acknowledgements

This study has been partially supported by 2015 University Research Fund of Hannam University, Dae-jeon, Korea

Reference

- [1] Choi, T.S., The Application Statistics for Decision

- Making, Seoul : Dasan Publisher, 2003.
- [2] Colin Michael Anderson, Generalized Weapon Effectiveness Modeling, Monterey : N.P.S, 2004.
- [3] DMSO, VV&A Recommended Practice Guide, 2006.
- [4] Jang, S.C., The Method for M&S development of ROK Army, The Research of National Defence Policy, Seoul : KIDA, 2001.
- [5] Jang, S.Y., War Game & Simulation, *Information Science*, 1990, Vol 8.
- [6] JTCG/ME, Computer Program for General Full Spray Personnel MAE Computation : Users Manual, 2008.
- [7] JTCG/ME, Matrix Evaluator Computer Program-User and Analyst Manual, 2005.
- [8] Jung, H.Y., The Method for Defence M&S development, The Research of Policy, 2002.
- [9] KIDA, A Research Establishment Defence M&S standard data system, 2004.
- [10] Kim, K.S., The VV&A Framework of Defence Conceptual M&S, The Conference of Industrial Engineers, 2010.
- [11] Kim, M.S., The Study on Application Method of VV&A for K-War Resources Calculation Method, *The Conference of Korea Defence Management & Analysis*, 2009, Vol. 35.
- [12] Lee, H.C., A Study on the Generation Method of Effectiveness Data for Surface to Surface Artillery System, HanSung University, 2011.
- [13] Lee, H.J., The Theory of Gun & Trajectory, Seoul : Chung Mun Kak Publisher, 1994.
- [14] Lee, S.M., The Utilization of M&S when testing for Weapon reliability, *Defence Quality & Management*, 2009, Vol. 12.
- [15] Moon, H.G., The Development Method of ROK-JMEM USING US-JMEM, KIDA, 2004.
- [16] ROKA HQ, FM 3-10, Fire power, 2008.
- [17] ROKA HQ, FM 32-3 Artillery gunnery, 2010.
- [18] ROKA HQ, FM(Reference) 310-30, Standard training ground, 2008.
- [19] ROKA HQ, FM(Reference) 4-47, Artillery ammo, 2004.
- [20] ROKA HQ, FM(Reference) 4-71, Tank gunnery, 2010.
- [21] U.S Army, DA PAM 385-63 Range Safety, 2014.
- [22] U.S Army, DA PAM 385-64 Ammunition and Explosive Safety Standards, 2013.
- [23] U.S Army, FM5-17 Composite Risk Management, 2006.

ORCID

June-Sik Lee | <http://orcid.org/0000-0001-9286-1374>

Bong-Wan Choi | <http://orcid.org/0000-0002-9609-1714>

Hyun-Seung Oh | <http://orcid.org/0000-0002-7773-3750>