



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

석사학위논문

지대지 직사화기 살상확률 산출방안 연구

—교전급 모델을 중심으로—



2015년

HANSUNG
UNIVERSITY

한성대학교 국방과학대학원

국방 M & S 학과

국방 M & S 학전공

민 홍 기

석사학위논문
지도교수 이동준

지대지 직사화기 살상확률 산출방안 연구

—교전급 모델을 중심으로—

A study on the Generation Method of Probability of Kill for
surface to surface direct fire system

—especially by engagement level model—



HANSUNG
UNIVERSITY

2014년 12월 일

한성대학교 국방과학대학원

국방 M & S 학과

국방 M & S 학전공

민 홍 기

석사학위논문
지도교수 이동준

지대지 직사화기 살상확률 산출방안 연구

—교전급 모델을 중심으로—

A study on the Generation Method of Probability of Kill for
surface to surface direct fire system
—especially by engagement level model—

위 논문을 국방M&S학 석사학위 논문으로 제출함

2014년 12월 일

한성대학교 국방과학대학원

국방 M & S 학과

국방M&S학전공

민 홍 기

민홍기의 국방M&S학 석사학위논문을 인준함

2014년 12월 일

심사위원장 _____ 인

심 사 위 원 _____ 인

심 사 위 원 _____ 인

국 문 초 록

지대지 직사화기 살상확률 산출방안 연구

한성대학교 국방과학대학원

국방 M&S 학과

국방 M&S학 전공

민 홍 기

위게임 시뮬레이션 모델을 활용하여 교전결과를 과학적으로 분석하기 위해서는 모델논리를 파악하고 작전운용에 정통한 모델운용 전문요원에 의해 모델이 운용되어야 하며 이와 동시에 모델의 입력데이터도 구축해야 한다. 교전모의가 주요기능인 위게임 시뮬레이션 모델의 입력데이터는 무기체계의 효과도 데이터가 가장 핵심적인 부분을 차지한다. 따라서 신뢰 높은 모델의 분석결과를 얻기 위해서는 모델운용요원의 높은 모델 이해도 요구와 함께 모델의 무기체계 효과도에 대한 입력데이터는 과학적 근거와 함께 신뢰성과 정확성 검증이 요구되어야 한다.

본 논문에서는 교전급 모델의 직접사격 피해평가 논리의 핵심 입력데이터인 직사화기 살상확률 산출을 위해 선진국의 무기효과도 산출절차와 주요도구를 분석하여 직사화기 살상확률을 산출할 수 있는 방법을 정립하였다. 그리고 MATLAB을 이용하여 직사화기 살상확률 산출도구를 구현하였다.

본 논문에서 제안하는 직사화기 살상확률 산출방안은 교전급 모델에서 직접사격 피해평가를 위한 전투개체의 살상확률 입력데이터를 산출할 수

있으며, 특히 살상확률을 확보하지 못한 표적 무기체계나 미래화기에 대한 살상확률을 과학적으로 산출할 수 있다.

직사화기 살상확률 산출방안 및 산출도구의 구현은 선진국의 무기효과도 산출절차의 이해와 해당 절차 사용되는 주요도구인 BRL-CAD, COVART, PVTM의 개념 및 내부 알고리즘에 대한 분석을 통하여 구현에 요구되는 데이터와 알고리즘을 명확하게 하였다.

산출도구 구현은 확률함수 지원, 수학적 계산의 정확성과 동시에 개발의 편의성, 모델링 요구사항에 따른 적합성, 결과 분석을 위한 그래픽 도구 지원, 프로그래밍을 위한 개발환경 지원 여부를 고려하여 MATLAB을 모델구현 소프트웨어로 선택하여 활용하였다. 구현된 도구에서 실험에 필요한 파라미터의 입력은 Excel을 활용하여 입력이 용이하고 파라미터에 대해 일부 값을 자동으로 계산하고 그래픽으로 검증할 수 있도록 편의성을 제공하였다.

직사화기 살상확률 산출도구를 이용한 살상확률 산출실험 분석을 통해서는 사거리 별로 나타난 피해수준에 대한 살상확률을 확인하고 산출한 데이터를 직접사격 피해평가 모의논리를 활용하여 유효사거리를 결정해보았다.

【주요어】 직사화기, 살상확률, BRL-CAD, COVART, PVTM, Weaponering

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구 배경 및 목적	2
제 2 절 연구 범위 및 구성	3
제 2 장 이론적 배경	6
제 1 절 교전급 모델의 직접사격 모의	6
1. 개요	6
2. 직접사격 모의	6
3. 직접사격 피해평가	7
제 2 절 직사화기의 정확성	13
1. 정확성 정의	13
2. 직사화기 전달정확도	13
3. 직사화기 오차	14
제 3 절 선진국의 무기효과도	15
1. 운영조직	15
2. JMEM	18
제 3 장 직사화기 살상확률 산출방안 연구	19
제 1 절 선진국의 무기효과도 산출절차 및 주요도구	19
1. 선진국의 무기효과도 산출절차	19
2. BRL-CAD	21
3. COVART	25

4. PVTM	30
제 2 절 직사화기 살상확률 산출방안	34
1. 직사화기 살상확률 산출방안의 개념	35
2. 피해수준 범위 설정	37
3. 모의실험 파라미터 입력	39
4. 모의사격실험 절차	42
5. 살상확률 산출	44
6. 입력데이터 변환	47
 제 4 장 직사화기 살상확률 산출방안 적용	 49
제 1 절 산출도구 구현 소프트웨어	49
1. MATLAB 개요	49
2. 실험도구 구현	50
제 2 절 모의 준비	51
1. 실험용 시나리오 정의	51
2. 파라미터 입력	53
제 3 절 실험결과 분석 및 활용	55
1. 결과분석	55
2. 살상확률 데이터 활용 예	57
 제 5 장 결론	 60
 【참고문헌】	 62
 ABSTRACT	 64

표 목 차

[표 2-1] 명중확률의 문자순서 별 대상과 의미	9
[표 2-2] 명중확률 입력데이터	9
[표 2-3] 살상확률의 문자순서 별 대상과 의미	11
[표 2-4] 살상유형 구분 및 의미	11
[표 2-5] 살상확률 입력데이터	12
[표 3-1] 모의실험 파라미터	41
[표 3-2] 모의사격 피해수준 결정 예	45
[표 3-3] 모의사격 살상확률 산출 예	46
[표 3-4] 살상유형 대 피해수준 관계	47
[표 4-1] 직사화기 특성, 표적 특성, 몬테카를로 실험 횟수	54
[표 4-2] 사거리 별 오차 파라미터	54
[표 4-3] 사거리별 살상확률	55
[표 4-4] 사거리별 피해수준 발생빈도	57
[표 4-5] 사거리별 피해범주 및 무피해범주	58

그 립 목 차

<그림 2-1> 직접사격 피해평가 알고리즘	8
<그림 2-2> 조준오차, 탄도오차, 종합오차	14
<그림 2-3> AMSAA 조직도	16
<그림 2-4> JTCG/ME 조직도	17
<그림 3-1> JMEM 개발절차	19
<그림 3-2> BRL-CAD를 활용한 전차 표현	21
<그림 3-3> Location-based structure of the radio	22
<그림 3-4> Function-based structure of the radio	23
<그림 3-5> 지상 무기체계의 좌표축	23
<그림 3-6> 항공 무기체계의 좌표축	24
<그림 3-7> 전차를 관통하는 사격선	25
<그림 3-8> 손실분석논리트리	26
<그림 3-9> 두 개의 연료탱크를 보유한 전차와 손실분석트리	27
<그림 3-10> 탄선격자에 겹쳐진 표적	28
<그림 3-11> 취약도 곡선	29
<그림 3-12> PVTM 도구	31
<그림 3-13> 직사화기 살상확률 산출방안의 절차	36
<그림 3-14> 피해수준 범위설정 예	38
<그림 4-1> 직사화기 살상확률 산출방안 모의사격실험 알고리즘	51
<그림 4-2> 피해수준 범위설정	52
<그림 4-3> 피해수준 범위설정 그래픽 검증	52
<그림 4-4> excel파일의 모의실험 파라미터 입력화면	53
<그림 4-5> 사거리 별 살상확률 곡선	55
<그림 4-6> 사거리 별 피탄위치	56
<그림 4-7> 사거리 별 피해 및 무피해 발생빈도	58

제 1 장 서 론

위게임 시뮬레이션 모델을 활용하여 교전결과를 과학적으로 분석하기 위해서는 모델논리를 파악하고 작전운용에 정통한 모델운용 전문요원에 의해 모델이 운용되어야 하며 이와 동시에 모델의 입력데이터도 구축해야 한다. 교전모의가 주요기능인 위게임 시뮬레이션 모델의 입력데이터는 무기체계의 효과도 데이터가 가장 핵심적인 부분을 차지한다. 따라서 신뢰 높은 모델의 분석결과를 얻기 위해서는 모델운용요원의 높은 모델 이해도 요구와 함께 모델의 무기체계 효과도에 대한 입력데이터는 과학적 근거와 함께 신뢰성과 정확성 검증이 요구되어야 한다.

이에 대하여 우리 군은 70년대 초반부터 운영분석(Operations Research, OR)분야를 위게임 시뮬레이션에 관련된 분야에 적용하며 위게임에 대한 기반을 탄탄하게 다져왔다. OR은 현재와 같은 형태의 위게임 시뮬레이션이 나타나기 이전에 수학적·과학적 분석으로 군사 분야에서 최선의 해법을 찾는 학문분야로 컴퓨터 프로그래밍을 국방에 접목하여 탄생한 위게임의 기초이론이 되었다. 그리고 각 군의 다양한 분야의 위게임 모델의 연구와 개발 그리고 운용에 대한 경험을 쌓아오면서 모델링 및 운용능력에 뛰어난 발전이 있었다.

이와 함께 위게임 입력데이터 분야도 함께 발전하여 모델 당 수백 가지에 달하는 다양한 입력데이터 그리고 이와 연관된 모델링과 세부모의논리에 대한 연구 분석도 수준 높은 상태이다. 그러나 입력데이터 중 무기효과도 데이터의 산출은 시험과 분석을 모두 수반해야 하는데, 이에 대한 전담기관의 부재와 복잡한 절차 그리고 연구개발 자원의 한계로 인해 우리 군의 무기효과도 데이터의 연구결과를 활용하여 실질적으로 위게임 시뮬레이션 모델에 적용할 수 있는 단계에는 현재 이르지 못하였다. 본 논문에서는 이러한 제한사항을 해결하기 위해 직사화기 살상확률을 산출할 수 있는 방법을 제안하고, 살상확률 산출 도구를 구현하고 활용하여 산출실험 분석을 실시하였다.

제 1 절 연구 배경 및 목적

우리 군은 일찍이 국방 M&S분야를 합리적 의사결정의 전략적 도구로서 인식하여 교육, 훈련, 획득 분야 등에서 꾸준히 활용하고 관련분야 기술발전을 위해 노력해왔다. 최근에는 합성환경(synthetic environment)하의 전장에서 시뮬레이션 연동기술을 활용하여 실제(Live), 가상(Virtual), 구성(Constructive)의 자산들을 연결하는 LVC기술에 대한 연구와 LVC훈련체계에 대한 구축이 진행 중이다. 이와 같은 고수준의 시뮬레이션 기술도 시뮬레이션이란 틀 안에 있으며, 입력-모의실험-출력의 절차를 거치게 된다.¹⁾ 또한 위게임 시뮬레이션 모델을 UFG, KR과 같은 정례적인 훈련과 다양한 분야의 전투실험에 활용하여 모의실험 단계의 운용능력이나 출력단계에 대한 사후분석능력도 기술의 발전과 함께 고수준에 도달했다. 그러나 입력단계에서 요구되는 모의실험을 위한 입력데이터 특히 무기효과도에 관련된 데이터 확보와 연구를 오래전부터 해왔으나 실제로 무기효과도 산출과 같은 직접적인 데이터를 얻기란 쉽지 않았다. 무기효과도는 살상확률(PK)과 같은 정량적인 척도로 나타내는데 한 체계의 PK산출은 시험과 분석을 모두 수반하는 복잡한 과정이기 때문이다.

무기효과도 데이터의 확보 및 생산과 관련하여 우리 군은 그동안 1979년 한미자료교환협정에 근거 하여 무기효과 데이터를 도입하였으며, 국방M&S 연구와 더불어 위게임의 입력데이터로 사용해왔다. 그러나 M&S관련 기술의 해외유출을 엄격하게 통제하기 시작하였다. 하지만 선진국으로부터 무기체계 효과도 데이터에 대한 추가 확보의 노력을 계속적으로 하고 있으나 그 이후 선진국으로부터 무기체계 효과도 데이터 확보가 어려운 실정이다. 이에 대하여 우리 군은 현재 합참 주관으로 한국형 탄약효과자료의 개발을 위해 노력하고 있다.

바꿔 말하면 우리는 무기체계 효과도 데이터에 관련한 연구 및 개발이 완료될 때까지 신무기체계에 대한 효과도 데이터를 확보가 불가능하다. 또 실제 무기체계 효과도 데이터의 산출 방안에 대한 연구와 개발이 완료된다

1) 김탁곤, 『제 17차 한미 국방분석세미나 자료』, KAIST, 2014

하더라도, 동시에 해당 데이터 생산을 위한 제도적 장치도 마련해야 하며, 또한 이를 전문적으로 생산 및 관리하기 위한 전담기관도 지정되어야 한다. 이는 무기체계 효과도 데이터 연구 및 개발과는 별개로 수행되어야 하지만 국내 여건상 비용 및 자원의 부족으로 시작부터가 어려운 것이 사실이다.

때문에 무기체계 효과도 데이터를 사용하는 위게임 시뮬레이션 분야에서는 대안이 필요하다. 차제에 우리 군의 부족한 자원 그리고 위게임 시뮬레이션 모델 운용자의 입력데이터 구축의 어려움을 극복하고자 무기체계 효과도 데이터 중 직사화기의 살상확률 산출에 대한 방안을 제시하려고 한다. 한편 묘사수준이 교전급인 위게임 모델의 경우 무기체계 효과도 데이터를 입력데이터로서 바로 사용하거나 대리값(surrogation)을 산출하여 사용하고 있다.

본 논문에서는 교전급 모델의 지대지 직접사격 피해평가 논리의 핵심 입력데이터인 지대지 직사화기 살상확률 산출을 위해 선진국의 무기효과도 산출절차와 주요도구를 분석하여 지대지 직사화기 살상확률 산출할 수 있는 방법을 정립하고 제안한다.

제 2 절 연구 범위 및 구성

미국은 1960년대부터 무기체계 효과도 데이터의 중요성을 인식하고, 국방성과 합참 그리고 육·해·공군의 관련부서가 참여하는 무기효과 합동기술협조단(JTCG/ME)²⁾을 운영하였으며, 운용조직을 중심으로 일관성 있는 자료와 방법론이 적용된 합동탄약효과교범(JMEM)³⁾을 지속적으로 개발하고 관리해왔다. 이 교범의 무기효과도 산출과정은 한 과정을 거치는데 약 2년의 시간이 소요되며 세부절차에서는 많은 자료와 도구가 활용된다. 우리도 미국과 동일한 과정으로 무기효과도를 개발하는 것은 세부절차에 사용되는 자료의 획득과 도구의 활용의 어려움 때문에 현 시점에서는 국내여건상 현실적으로 불가능하다.

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

3) JMEM: Joint Munitions Effectiveness Manuals

본 논문에서는 경험 많은 모델운용전문가 수준에서 직접 지대지 직사화기 살상확률을 산출할 수 있는 방법을 제안하였다. 그리고 해당 과정은 합동탄약효과고범(JMEM)의 무기효과도 산출과정을 참고하였다.

본 논문에서 제안하는 지대지 직사화기 살상확률 산출 방법의 개요는 다음과 같다.

[표적의 피탄위치(hit point)에 따라 피해수준(이동불가, 사격불가, 이동사격불가, 완파)을 설정한 후, 직사화기로 모의사격하여 발생한 피해수준 별의 발생빈도를 살상확률로 산출한다.]

위의 산출방법은 몬테카를로법으로 아주 많은 양의 모의사격을 실시한다. 그리고 피탄위치의 피해수준을 확인하여 피해수준(level of kill)별 살상확률은 산출하는 것이다. 이를 위한 수행절차는 다음의 6개의 절차로 수행한다.

첫째, 피탄위치에 따른 표적의 피해수준(이동불가, 사격불가, 이동사격불가, 완파)에 대한 범위와 피해없음(no damage)의 범위를 결정한다. 이때 피해수준은 표적의 엔진이나 연료, 탄약, 조종수나 사격수와 같은 승무원 등 표적 내부의 취약성을 고려하여 결정한다. 이때 피해수준에 대한 범위는 상호배반적으로 선택한다.

둘째, 모의사격을 실시하는데 필요한 직사화기와 표적의 특성 그리고 모의사격실험에 대한 파라미터를 입력한다. 파라미터는 특정 사거리에 대한 오차와 사격 시 1회 사격 시 발사수, 발사 당 탄수(또는 파편수), 표적의 방향과 상태(노출/차폐), 그리고 표적의 길이/폭/높이가 있으며, 모의사격 실시횟수도 입력한다.

셋째, 모의사격을 실시하여 피탄위치를 결정하는데, 이때 피탄위치는 화기의 사격 시 발생하는 조준오차와 탄의 비파 중에 발생하는 탄도오차를 반영하여 이변량 정규분포로 결정한다.

넷째, 각 사격에 대하여 명중여부(hit or no hit)를 결정하고 명중하였을 경우 피탄위치에서의 피해수준(또는 피해없음)을 확인한다.

다섯째, 모든 모의사격이 종료된 후 명중하지 않은 탄(no hit)을 제외한 명중한 탄(hit)에 대하여 피탄위치의 피해수준 별 살상확률을 산출한다.

여섯째, 모델의 입력데이터 형태인 살상범주(MOB, FRP, M/, KK)⁴⁾로

변환한다.

본 연구의 논문 구성은 다음과 같다.

1장은 서론으로 연구의 배경 및 목적, 연구 범위와 구성에 대하여 기술하였다.

2장에서는 지대지 직사화기 살상확률 산출방안에 대한 이론적 배경으로 교전급 모델의 직접사격 모의, 직사화기의 정확성, 선진국의 무기효과도에 대하여 설명하였다.

3장에서는 직사화기 살상확률 산출방법 개발을 위한 사항으로 선진국의 무기효과도의 산출절차와 산출에 사용되는 주요도구 대하여 연구하고, 실제적인 직사화기 살상확률 산출방법에 대한 개념과 절차를 설명하였다.

4장에서는 논문에서 제안한 직사화기 살상확률 산출방법을 적용하여 산출도구를 구현하여 직사화기 살상확률을 산출하고 산출결과를 분석하였다.

5장에서는 본 논문의 활용방안을 제시하고 결론을 맺었다.



4) MOB(mobility kill), FRP(firepower kill), M/(all type kill), KK(Catastrophic kill)

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 교전급 모델의 직접사격 모의

1. 개요

직접사격 모의는 사수가 표적을 직접 보고 조준하여 사격을 실시하는 방법으로써 주로 개인화기, 기관총, 대전차 화기 및 미사일에 의해서 사격이 실행된다. 교전급 모델에서는 독자적으로 이러한 직접사격 능력을 보유한 단위를 전투개체(combat entity)로 정의하고, 하나의 전투개체는 하나의 무기체계의 특성을 따른다. 그리고 무기체계 특성은 무기체계 운영과 전투를 기능적 측면으로 모델링한 화기, 기동장비, 탐지장비 등으로 구성된다. 즉 무기체계는 전장에서 특정한 운용 목적을 달성하기 위하여 화기, 기동, 통신, 탐지 장비 등으로 구성된 장비의 총체를 뜻하며, 전투모의간 실제 사격기능은 무기체계 내의 탐지장비로 획득한 표적을 사격장비인 화기에 의해서 직접사격이 수행된다.⁵⁾ 이때 직접사격 모의는 현실감 있게 모사된 전장환경 하에 직사화기로 사격하는 무기체계와 표적간의 교전상황을 만든다.

2. 직접사격 모의

직접사격 모의는 해당 전투개체의 탐지센서가 획득한 표적에 대해서 적절한 화기를 선정한 후 표적에 대하여 사격이 가능한지 판단한다. 그리고 사격준비 시간에 해당하는 일정한 반응시간(response time) 동안 지체했다가 탄을 발사하고 전투개체의 보급품 목록에서 탄 보유량을 줄인다. 그리고 발사한 탄의 탄착시간을 결정한 후, 탄착시간에 탄약효과 달성 가능성을 고려하여 직접사격 피해평가를 한다. 해당 표적에 대하여 다시 사격을 할 경우에는 재조준 또는 재장전 시간(reload time) 만큼 기다렸다가 발사하는 과정을 탄약고갈, 표적사망 또는 탐지불가 등의 교전 종결조건이 만족할

5) 정상윤, 『지상무기효과분석모델 입력 데이터 구축 지침서(I)』, KIDA, 2013

때까지 계속적으로 사격을 반복한다.⁶⁾ 즉 직접사격 모의는 아래의 절차를 반복한다.

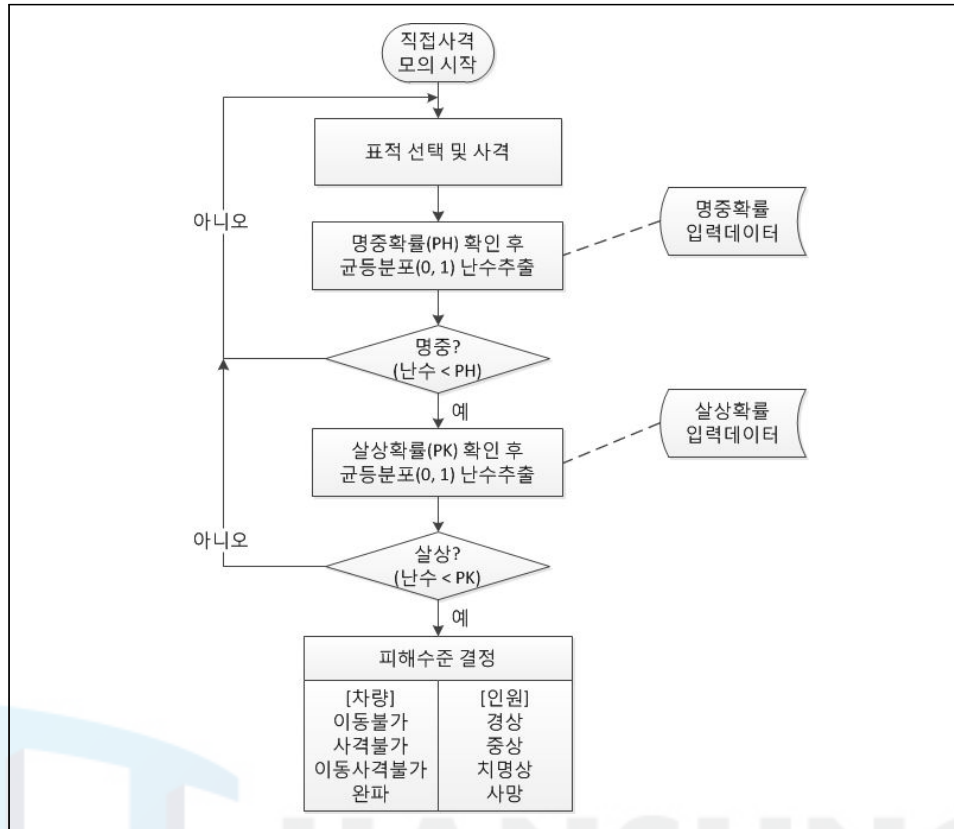
- ① 사격 전투개체가 표적에 대하여 사격가능한지 판단
- ② 표적별 적절한 무기를 선정
- ③ 화기 특성에 따라 한 발 또는 연발 사격
- ④ 전투개체의 보급품 목록에서 사용 탄약을 삭감
- ⑤ 탄착시간을 결정
- ⑥ 탄착 시 직접사격 피해평가
- ⑦ 전투개체의 가장 빠른 다음 사격가능 시간을 계산
- ⑧ 전투개체의 다음 사격에 대한 이벤트를 재계획(Re-schedule)

3. 직접사격 피해평가

전투개체가 표적을 선택하여 사격을 실시한 다음, 이어지는 전투논리는 직접사격 교전결과 피해평가 하는 것이다. 이미 교전결과 평가를 위한 많은 연구가 진행되어 다양한 수학적 분석모델이 개발되었고, 이러한 모델은 교전급 분석모델의 피해평가 모의과정의 핵심을 이룬다.

교전급 모델의 전투모의에서 직접사격에 의한 표적의 피해평가는 전구급/임무급 모델과는 달리 개별 무기체계 단위로 이루어지기 때문에 단발 단위의 정확성 및 치사 가능성 모델에 기초한 명중확률(PH)과 살상확률(PK)을 적용한다. 아래 <그림 2-1>은 확률모델(stochastic model)을 적용하여 직접사격에 의한 표적의 피해를 평가하는 절차를 도식한 것으로, 무기체계가 표적을 선택해서 사격했을 때 표적에 대한 명중 및 살상여부를 결정하고 피해를 세분화하는 과정을 보여준다. 살상확률(Probability of kill ; PK)은 표적에 명중할 확률(Probability of hit ; Ph)과 명중되었을 때 그 표적을 살상할 조건부 확률(Probability of kill Given hit ; PK/h)을 곱하여 ($PK = PH \times PK/h$) 계산한다.

6) 정상윤, 『지상무기효과분석모델 모의 논리서』, KIDA, 2013



<그림 2-1> 직접사격 피해평가 알고리즘

1) 명중확률 입력데이터

직접사격 모의과정에서 명중확률(PH) 입력데이터는 직사화기 정확성에 대한 명중확률 알고리즘에 기초하여 다음과 같은 형태로 되어있다. 사격 무기체계와 표적과의 5가지의 사거리에 대하여 사격 무기체계의 상태와 표적의 상태 조합별로 그에 해당하는 명중확률(PH)을 정의한다. 이때 5개 사거리는 화기의 최소 및 최대 사거리와 가운데를 3등분한 3개 사거리를 사용한다. 만일 모의에서 사격한 거리가 5가지 사거리 중 2개 사거리 사이에 위치하면 선형 보간법을 적용하여 계산한다. 그리고 화기별 표적 무기체계의 조합으로 각각 명중확률을 정의하고, 직접사격 시 해당 조합의 명중확률을 근거로 하여 명중여부를 판단한다.

한편 사격 무기체계의 상태와 표적의 상태는 아래 [표 2-1]과 같이 4개의 문자로 표시한다.

[표 2-1] 명중확률의 문자순서 별 대상과 의미

문자순서	의미	구분
첫 번째 문자	사격 무기체계의 이동여부	정지(S), 이동(M)
두 번째 문자	표적 무기체계의 이동상태	정지(S), 이동(M)
세 번째 문자	표적 무기체계의 노출상태	노출(E), 차폐(D)
네 번째 문자	표적 무기체계의 방향	측면(F), 정면(H)

그리고 사거리와 사격/표적 무기체계의 상태에 대한 위의 문자와 조합한 명중확률 입력데이터의 형태는 아래 [표 2-2]와 같다.

[표 2-2] 명중확률 입력데이터

구분	사격거리(5단계)				
	최소사거리	사거리1	사거리2	사거리3	최대사거리
S S D F	0.45000	0.40000	0.30000	0.20000	0.10000
S S D H	0.40000	0.30000	0.20000	0.10000	0.05000
S S E F	0.90000	0.80000	0.60000	0.40000	0.20000
S S E H	0.85000	0.75000	0.55000	0.35000	0.15000
S M D F	사용하지 않음				
S M D H					
S M E F	이하생략	...	...	...	...
S M E H	...	...	...	...	...
M S D F	...	...	...	...	...
M S D H	...	...	...	...	...
M S E F	...	...	...	...	...
M S E H	...	...	...	...	...
M M D F	사용하지 않음				
M M D H					
M M E F	...	...	...	...	...
M M E H	...	...	...	...	...

명중확률 알고리즘에서 이동하는 무기체계는 항상 노출된 것으로 간주하므로 이동 중인 표적이 차폐된 경우에 해당하는 SMDF, SMDH와 MMDF, MMDH의 상태는 발생되지 않는다. 때문에 해당 상태의 명중확률은 모델에서 사용되지 않는 의미 없는 데이터이다. 따라서 명중확률은 사거리별로 12가지의 사격/표적 무기체계의 상태 조합의 형태로 구성된다. 결국 직접사격 명중여부를 판단은 사격무기체계와 표적과의 사거리 그리고 사격 무기체계의 상태와 표적의 상태에 대한 명중확률을 추출하여 명중확률(PH)로 사용한다.

2) 살상확률 입력데이터

모의논리에서 자주 사용되는 살상확률 입력데이터를 더 구체적으로 표현하면, 어느 무기가 특정 표적을 명중시켰을 때 그 표적이 살상될 확률로서 일종의 조건부 확률값이다. 따라서 모의 진행 간 표적의 살상여부를 판단하기 위해서 사용하는 살상확률은 모의목적과 논리전개 방법에 따라 조건부 살상확률이 될 수도 있고 필요에 따라 고유의 살상확률을 계산하여 적용할 수도 있다.

명중되었을 때의 조건부 살상확률(PK/h)은 명중확률(PH)과 유사한 형태이지만 사격 무기체계의 상태를 고려하지 않는다는 점에서 차이가 있다. 이는 조건부 살상확률은 화기로부터 탄이 발사된 이후 표적에 명중(hit)했을 때의 확률이므로 사격 무기체계의 상태나 화기의 상태는 고려대상이 아니기 때문이다.

교전급 모델에서 각각의 무기체계는 하나 이상의 화기나 센서 등을 탑재한 이동 플랫폼과 같다. 특정 무기체계의 화기로 적 무기체계에 사격할 때, 살상확률(PK) 산출은 아래 식과 같이 표적 무기체계 플랫폼에 대한 사격 무기체계의 명중확률(PH)과 조건부 살상확률(PK/h)을 곱하여 결정한다.

$$PK = PH \times PK/h$$

직접사격 모의 실행 과정에서 살상확률(PK) 입력데이터는 명중확률(Ph)과

유사하게 다음과 형태로 구성되어 있다. 사격무기체계와 표적과의 5가지의 사거리에 대하여 살상유형(kill type)과 표적의 상태 조합별로 그에 해당하는 살상확률(PK)을 정의한다. 이때 5개 사거리는 명중확률 입력데이터와 동일하게 화기의 최소 및 최대 사거리와 가운데를 3등분한 3개 사거리를 사용한다. 만일 모의에서 사격한 거리가 5가지 사거리 중 2개 사거리 사이에 위치하면 선형 보간법을 적용하여 계산한다. 그리고 화기별 표적 무기체계의 조합으로 각각 살상확률을 정의하고, 직접사격 시 해당 조합의 살상확률을 근거로 하여 피해수준(level of kill)을 결정한다.

한편 아래 [표 2-3]과 같이 4가지 살상유형(kill type)은 2~3개의 문자로, 표적 무기체계의 상태는 2개의 문자로 표시한다.

[표 2-3] 살상확률의 문자순서 별 대상과 의미

문자순서	의미	구분
첫 번째 문자	사격 무기체계의 살상유형	MOB, FRP, M/, KK
두 번째 문자	표적 무기체계의 노출상태	노출(E), 차폐(D)
세 번째 문자	표적 무기체계의 방향	측면(F), 정면(H)

위의 표에서 첫 번째 문자에서 살상유형의 세부 의미는 아래 [표 2-4]와 같다.

[표 2-4] 살상유형 구분 및 의미

살상유형	의미
MOB	이동불가일 확률 (완파되어 이동 못할 경우 포함)
FRP	사격불가일 확률 (완파되어 사격 못할 경우 포함)
M/	일반적인 살상이 일어날 확률의 경우 (이동불가 또는 사격불가 또는 완파)
KK	완파

그리고 사거리와 피해수준별 살상확률을 표적 무기체계의 상태에 대한 입력화면은 아래 [표 2-5]와 같다.

[표 2-5] 살상확률 입력데이터

구분	사거리(5단계)				
	최소사거리	사거리1	사거리2	사거리3	최대사거리
MOB D F	0.25000	0.25000	0.15000	0.15000	0.25000
MOB D H	0.15000	0.15000	0.15000	0.15000	0.15000
MOB E F	0.55000	0.55000	0.35000	0.35000	0.50000
MOB E H	0.35000	0.35000	0.25000	0.25000	0.45000
FRP D F	0.45000	0.45000	0.35000	0.35000	0.30000
FRP D H	이하생략	...	...	...	...
FRP E F	...	...	...	...	...
FRP E H	...	...	...	...	...
M/ D F	...	...	...	...	...
M/ D H	...	...	...	...	...
M/ E F	...	...	...	...	...
M/ E H	...	...	...	...	...
KK D F	...	...	...	...	...
KK D H	...	...	...	...	...
KK E F	...	...	...	...	...
KK E H	...	...	...	...	...

살상확률은 사거리별로 16가지의 살상유형/표적 무기체계의 상태 조합의 형태로 구성된다. 그리고 명중 시 살상확률(PK/h)은 사거리와 표적의 상태에 별로 4가지 살상유형(kill type)을 추출하고, 각 살상유형의 살상확률(PK/h)에 명중확률을 곱하여 살상확률(PK)을 산출한다. 그리고 산출한 살상확률로 표적 무기체계의 피해수준(level of kill)을 결정한다.

제 2 절 직사화기의 정확성

1. 정확성의 정의

직사화기의 정확성은 하나의 표적에 대하여 단발 사격(Single Shot)을 했을 때 탄착점(Impact Point)을 모사하는 방법을 기초로 하고 있다. 이것으로 탄이 사격 전투개체가 조준한 표적에 명중했는지 여부를 판단하게 된다. 이것은 직사화기의 부정확성은 탄 추진능력의 본질적인 한계로부터 유래하기 때문에 직접사격 전투모의의 중요한 부분을 차지하며 거의 대부분의 정확성 모델은 다음의 2가지 원칙에 기초하여 개발된다. 첫째, 화기의 정확성은 탄착점을 난수로 처리하여 적절히 모사할 수 있다. 둘째, 정규분포가 무작위 탄착점에 대한 좋은 모델이 될 수 있다.⁷⁾

2. 직사화기 전달정확도

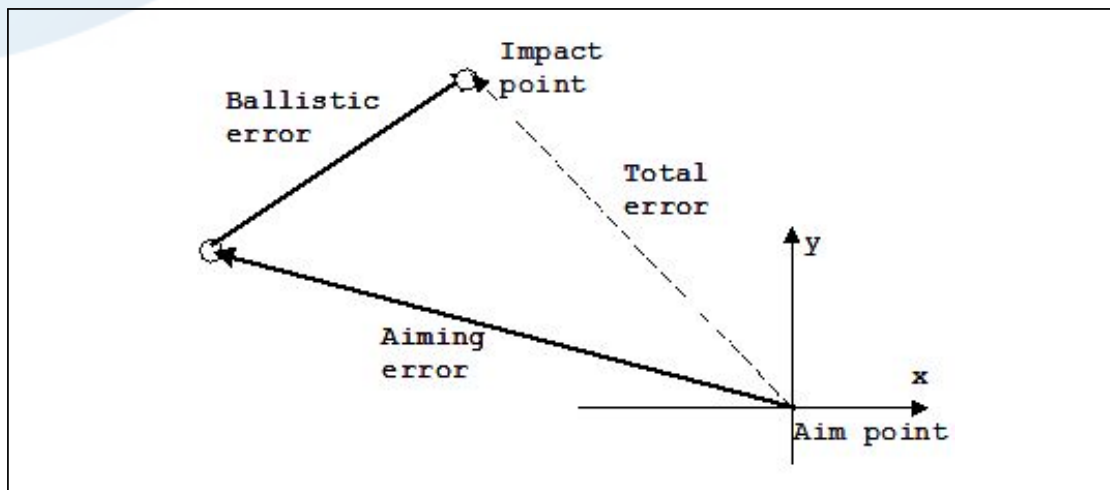
직사화기의 전달정확도(delivery accuracy)란 발사된 탄이 최초의 조준점에 얼마나 정확하게 도달하였는지를 나타내는 정확성의 정도이며, 전달정확도는 고정오차(fixed-bias errors), 가변오차(variable-bias errors), 임의오차(random errors)의 3가지로 표현할 수 있다. 고정오차는 무기체계 설계의 결과로 나타나며, 설계로 인한 오차이므로 동일한 무기체계에 동일한 오차가 발생하며 특정 사거리에 대해서 일정하여 예측이 가능하다. 가변오차는 사격 상황에 대한 오차로서 동일한 상황에 대해서는 일반적으로 일정하게 나타난다. 임의오차는 발사된 개별 탄의 탄착점에 대한 편차로서 탄의 동질수준이나 기타 환경에 의해 발생하게 되며, 이는 탄고유의 특성에 좌우된다. 실제 무기체계의 효과도 산출 시에는 고정오차, 가변오차, 임의오차가 조합되어 적용된다.

7) 박래운, 『소부대 시뮬레이션을 위한 모의논리 연구』, KIDA, 2001

3. 직사화기의 오차

정확성 모델에서 조준오차(aiming error)와 탄도오차(ballistic error)를 사용하여 <그림 2-2>와 같이 탄착점을 모사한다. 조준오차는 직사화기 전달정확도에서 언급한 가변오차에 해당되며, 사격 전투개체가 명중시키고자 하는 조준점(aim point)과 실제 조준점(real aim point)과의 차이를 말한다. 이것은 사수의 훈련 및 동기유발 상태, 화기의 성능, 사수의 동작, 이동표적의 부정확한 판단 등으로부터 유발된다. 그리고 실제 조준점과 탄착점간의 차이는 탄도오차로 표현되며 직사화기 전달정확도에서 언급한 임의오차에 해당된다. 이것은 탄 비행경로상의 바람과 기상, 탄 제조과정의 결함, 발사대의 안정성 차이로부터 발생한다.

직접사격 화기는 표적의 한 측면에 사격을 하므로 탄 추진의 오차요소를 사거리(range)와 편의(deflection)의 2가지로 구분하고 이변량 정규분포를 적용하여 모델링한다. 미 육군 물자체계분석국(Army Material Systems Analysis Activity, AMSAA)에서는 사격 무기체계, 표적, 탄약, 사거리 특성 별로 광범위한 야전실험을 통하여 획득한 화기의 정확성 데이터를 이변량 정규분포의 매개변수, 즉, 평균값, 표준편차 등으로 정리하여 보관하고 명중확률(PH) 테이블 값을 계산할 때 사용한다.



<그림 2-2> 조준오차, 탄도오차, 종합오차⁸⁾

8) Morris R. Driels 『Weaponering: Aiming, ballistic, and total errors』, AIAA education series: Virginia

제 3 절 선진국의 무기효과도

선진국인 미국은 1960년대부터 무기체계 효과도 데이터의 중요성을 인식하여 무기체계의 취약성 그리고 살상력 및 생존성에 대한 데이터 생산을 위해 노력하였다. 이에 국방성과 합참 그리고 육·해·공군의 관련부서가 참여하여 무기효과도의 생산 및 관리를 위한 조직인 무기효과 합동기술협조단 (JTCG/ME)을 운영하였으며, 운용조직을 중심으로 합동탄약효과교범(Joint Munition Effectiveness Manuals, JMEM)을 지속적으로 개발하고 관리 해왔다. JMEM은 육·해·공 3군에 대한 데이터로 합동 대공전 효과도(Joint Anti-Air Combat Effectiveness, J-ACE), 합동 공대지 무기추천 체계 (JMEM/AS Weaponeering System, JAWS), 합동 무기효과도 체계(JMEM/SS Weapons Effectiveness System, JWES), 특수작전 교범(Special Operations Target Vulnerability and Weaponeering Manual)의 4가지 분야로 구성되어 있다.

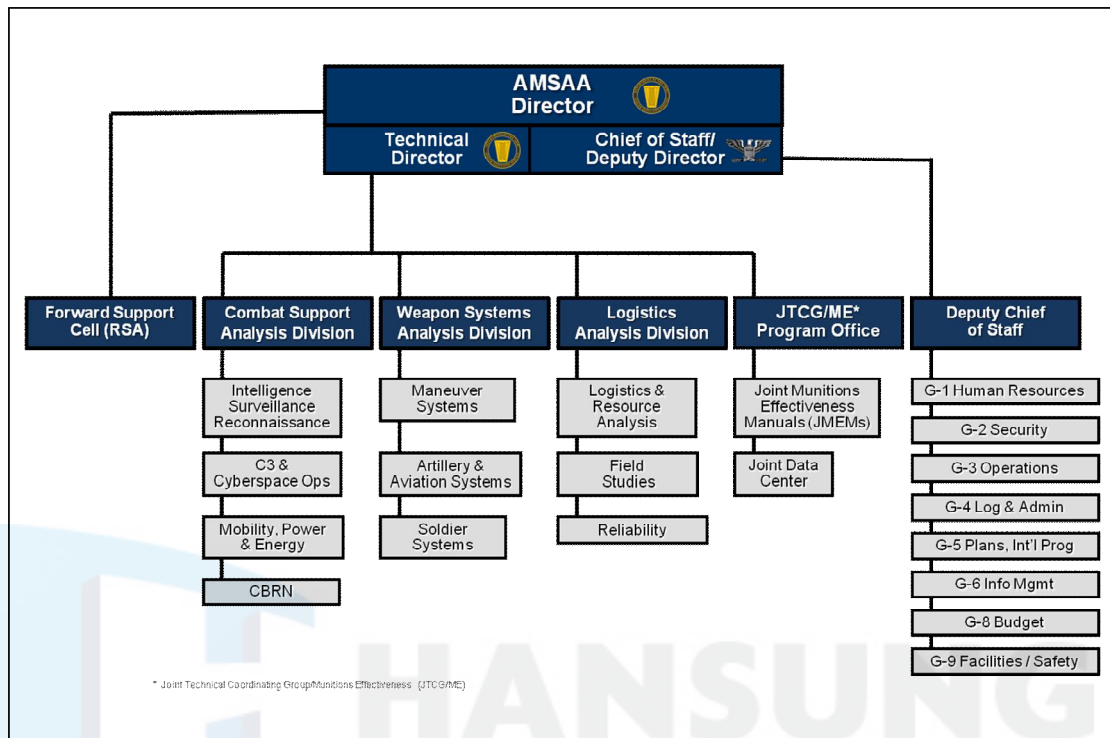
1. 운영조직

합동탄약효과교범(JMEM)을 관장하는 조직은 미 육군 물자사령부 산하의 연구기관인 AMSAA의 JTCG/ME이다. JTCG/ME는 JMEM의 준비 및 출판, 자료체계 개발, 유지 및 갱신 등의 JMEM과 관련된 모든 업무를 담당하고 있다. 그 외에도 무기효과 방법론의 표준화와 각종 연구 활동을 수행하고 있다.

1) AMSAA (미 육군 물자체계분석국)

AMSAA는 미 육군물자사령부(Army Materiel Command, AMC) 산하의 연구기관으로서 행정업무와 인력 및 자원, 군수지원 및 산업 등에 관한 체계분석 업무를 통하여 미 육군의 의사결정을 지원하는 임무를 수행하고 있다. 이와 같은 AMSAA는 물자체계 분석, 군수지원체계 분석, 획득 및 기술 지원 분석, 경영공학 및 자원분석 등의 기능을 수행한다. AMSAA의

기술부는 현재 4개의 연구부로 구성되어 있으며 그 조직도는 아래 <그림 2-3>과 같다.



<그림 2-3> AMSAA 조직도⁹⁾

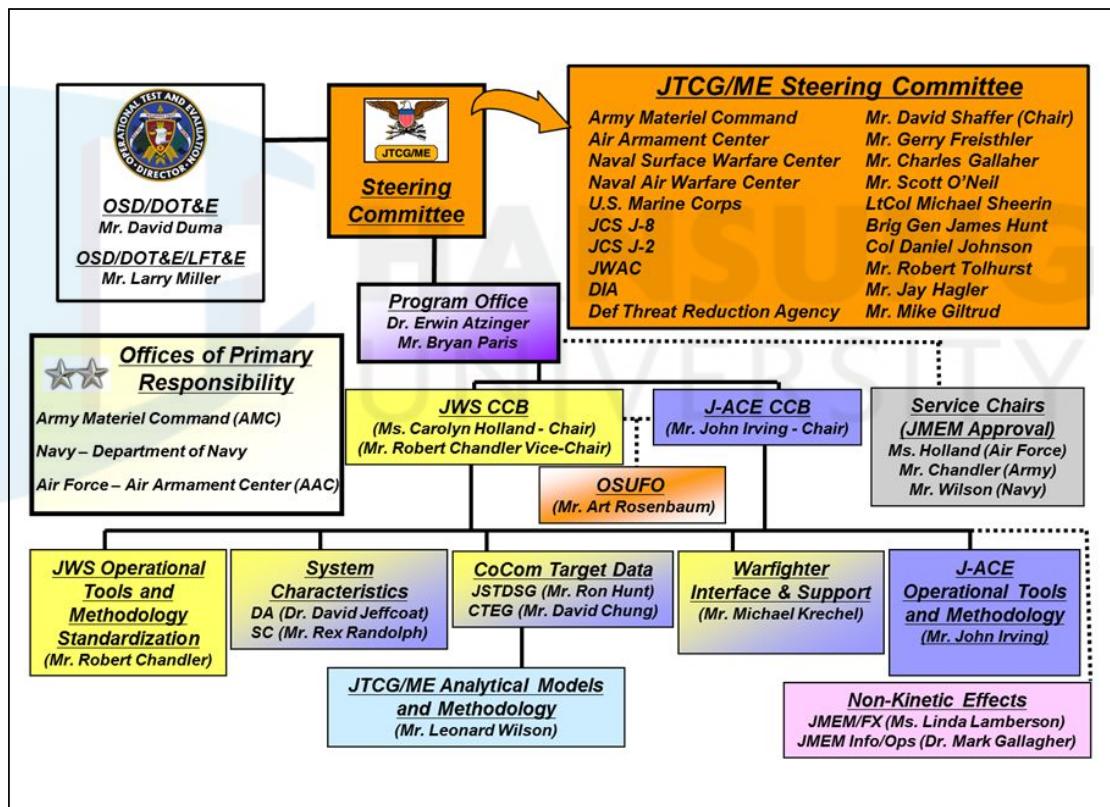
AMSAA는 <그림 2-3>과 같은 조직구조에서 각종 분석업무를 활발히 수행하고 있으며 기본적인 분석업무 외에 JTCG/ME의 역할을 수행하여 JMEM 관련 업무를 조율하고 있다. 또한 JMEM 업무의 일환으로 한국국방연구원(Korea Institute for Defense Analyses, KIDA)과 매 격년 JMEM 세미나를 개최하여 JMEM의 발전 및 한미 간 자료교류 증대에 기여하고 있다. 또한 JTCG/ME Program Office는 기술자료교환협정(Data Exchange Agreement, DEA)¹⁰⁾과 관련된 업무를 담당한다.

9) AMSAA 홈페이지: <http://www.amsaa.army.mil>

10) DEA: 1963년 5월 한미 국방장관회의에서 기술자료교환협정이 체결되면서 군용식량 분야를 비롯한 5개 분야의 기술자료무역을 지원받을 수 있게 되었으며, 1971년에 이르러 화포, 전자, 기동장비 등 전 분야로 확대되었다.

2) JTCG/ME (무기효과 합동기술협조단)

JTCG/ME의 <그림 2-4>와 같은 주요 조직구조에서 무기효과도와 관련된 프로그램의 개발 및 관리 업무를 수행한다. JTCG/ME의 임무는 주로 관심표적에 대해 치사효과가 신뢰성 있게 투발될 수 있다는 가정 하에 공격계획수립에 사용될 수 있는 합동무기효과교범 무기추천체계(JMEM Weaponeering System, JWS)와 같은 소프트웨어 제품의 개발 및 관리를 하고 있다. 또한 JMEM과 관련된 주요임무로는 JMEM의 준비 및 출판, 자료체계 개발 유지 및 갱신, 무기효과도 평가방법론 표준화, 특수 연구/활동 수행이다.



<그림 2-4> JTCG/ME 조직도¹¹⁾

11) 제 11차 무기체계효과분석 세미나

2. JMEM

합동탄약효과교범(Joint Munition Effectiveness Manuals, JMEM)¹²⁾은 미국 및 해외 각국에서 전투분야, 기획분야, 획득분야의 실무자들이 주로 사용하고 있다. 전투분야에서는 전투요원이 무기체계와 관련하여 실제 운용 시 운용자가 판단해야 할 근거자료를 제공해주기 때문에 각 부대의 지휘관들이 부대 및 소속 무기체계를 효과적으로 운용할 수 있게 해준다. 기획분야에서는 각 군의 기획담당자들이 임무분야 분석에 있어서 객관적인 효과도 자료는 무기체계를 운용하는데 필요한 각종 자원을 효율적으로 관리하기 위한 참고자료로 활용되고 있으며, 그 외 해당 임무유형별로 필요한 자원의 배분 및 활용계획 수립 등의 업무에 많은 도움을 제공하고 있다. 획득분야에서는 획득업무의 실무자들이 탄약효과를 판단하는데 있어서 특정 집단의 견해에 치우치지 않는 JMEM과 같은 표준화되고 정량화된 탄약효과 자료를 제공하게 되므로 획득업무가 객관적으로 수행될 수 있도록 근간이 되고 있다.

한편 JMEM 제작물은 사용자의 요구를 충족시키기 위해 책자 형태로부터 웹기반 산출물 형태까지 지속적으로 발전되어 왔다. JMEM의 책자는 약 400여종 이상으로 이루어져 있으며 항공기 전술, 화학 및 생물학에서부터 효과도 자료, 방법론에 이르기까지 다양한 분야에 대한 연구결과를 포함하고 있으며 이와 같은 책자들은 약 100여 종의 디스켓으로 제작되었다. 다시 이들 자료들은 통합 CD발간물로 재구성된다.

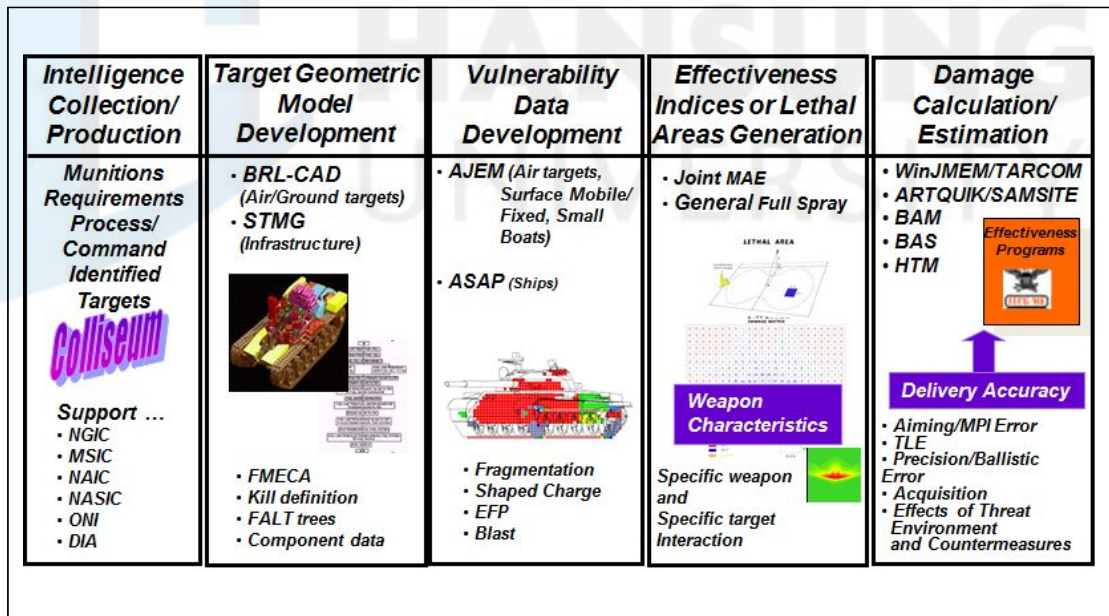
12) 문형곤, 『미 JMEM을 활용한 한국형 탄약효과교범 개발방향』, KIDA, 2004

제 3 장 직사화기 살상확률 산출방안 연구

제 1 절 선진국 무기효과도 산출절차 및 주요도구

1. 선진국의 무기효과도 산출절차

합동기술협력단(JTCG/ME)에서 관장하는 JMEM의 무기효과도 산출절차는 <그림 3-1>과 같이 좌측부터 정보종합 및 생산, 표적 형상의 기하모델 개발, 취약성 자료 개발, 효과도 색인 또는 살상면적 산출, 예상피해 계산 및 평가라는 5가지의 단계를 거친다. 이와 같은 산출과정 한 번 거치는데 약 2년의 시간이 소요된다. 이들 각 단계에서 많은 자료와 도구가 활용되며 모든 단계를 거친 후에는 책자 및 CD형태의 최종산출물이 생산된다. 그리고 각 절차별 수행내용은 다음과 같다.



<그림 3-1> JMEM 개발절차¹³⁾

첫 번째 정보종합 및 생산은 효과도 생산 요소에 대한 요구사항을 분석하고 각종 정보자료를 식별·판단하는 효과도 자료생산의 기본 단계이며,

13) 제 11차 무기체계효과분석 세미나

향후 진행될 작업의 요구사항을 식별하는 단계이다. 그리고 표적식별을 통해 다음 단계에서 기하학적으로 표현하고자 하는 표적의 정보를 종합하고, 이 정보의 유효성을 판단한다.

두 번째 표적 형상의 기하모델(Target Geometry Model, TGM) 개발은 표적의 취약성을 평가하기 위하여 표적의 외관 또는 형상을 분석하는 과정이다. 즉, 표적을 어떻게 표현할 것인가에 대한 물음에 대해 답을 도출하는 단계로 해당 단계에서 표적을 표현하기 위해 많은 도구를 사용하는데 주요 도구들은 BRL-CAD(Ballistic Research Laboratory - Computer-Aided Design, 지상표적표현도구), FASTGEN(항공표적표현도구), STMG(시설표적표현도구)가 있다.

세 번째 취약성 자료 개발은 표적전체 및 각 구성요소 별 취약성을 분석하고 이에 관한 자료를 생산하는 단계이다. 즉 무기체계의 위협에 대해 표적이 어느 정도 취약성을 가지고 있는지를 판단한다. 취약성 분석을 위한 주요 모델로는 항공표적 취약성 분석모델인 AJEM(Advanced Joint Effectiveness Model)과 COVART(Computation of Vulnerable Area Tool), 지상 이동표적의 취약성 분석모델인 AJEM MUVES-S2(AJEM Modular Unix-based Vulnerability Estimation Suite-S2), 지상 고정표적의 취약성 분석모델인 MEVA-GF(Modular Effectiveness / Vulnerability Assessment -Ground Fixed), 인원표적의 취약성 분석모델인 ORCA(Operational Requirement-based Casualty Assessment)가 있다.

네 번째 효과도 색인 및 살상면적 산출은 특정 무기 및 표적 조합에 대해 효과도 색인이나 살상면적을 산출하는 단계이다. 효과도 색인은 각 무기체계가 표적에 대해 사격을 실시하였을 때 살상유형 별로 다양하게 정의되는 특정 피해정도이며, 살상면적은 지역표적을 대상으로 하는 무기체계(곡사포, 박격포 등)가 표적에 대해 영향을 미치는 평균 유효 살상면적(Mean Area Effectiveness, MAE)을 말한다. MAE는 효과도 색인을 표현하는 하나의 유형이다.

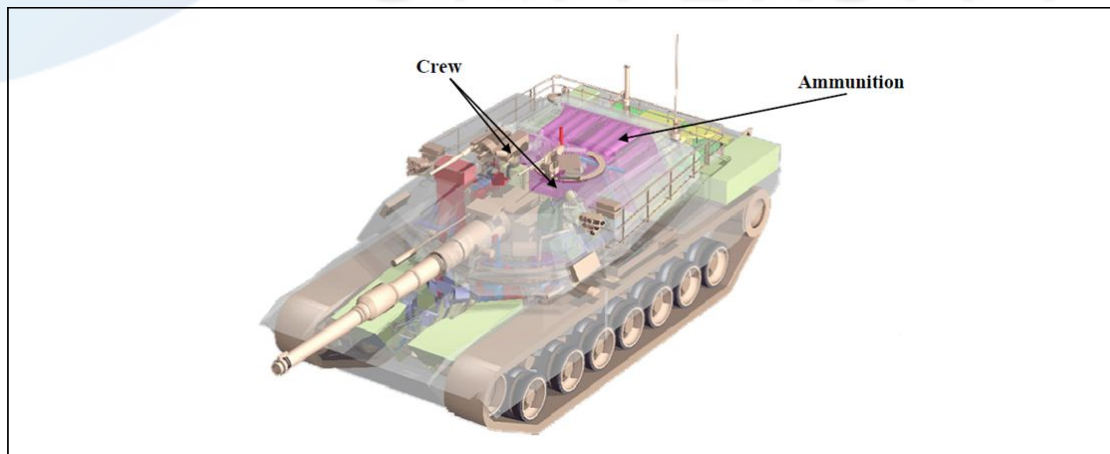
마지막 다섯 번째 예상피해 계산 및 평가는 산출된 효과도 색인을 바탕으로 특정 무기체계의 특정 표적에 대한 효과를 판단하는 단계이다. 이

단계에서는 다양한 시뮬레이션 모델이 활용되는데 대표적인 모델로는 PVTM(Passive Vehicle Training Model), ARTQUIK, SAMSITE와 같은 모델들이 있다.

선진국의 무기효과도 산출절차에 따라 직사화기의 살상확률 산출에 대한 주요 도구는 BRL-CAD, COVART, PVTM의 3가지 도구를 활용하여 산출한다.

2. BRL-CAD

BRL-CAD¹⁴⁾는 선진국의 무기효과도 산출 절차 중 표적 형상의 기하모델 개발 절차에서 사용하는 도구이다. BRL-CAD(Ballistic Research Laboratory - Computer-Aided Design)는 구조적 입체 기하학(constructive solid geometry, CSG) 모델링을 할 수 있는 프로그램으로서, 1979년 US Army Research Laboratory(ARL)에서 개발이 시작되어 1984년에 릴리즈 되었고, 2004년 12월에 오픈소스로 공개되었다. BRL-CAD는 군사용으로 시작하였으나 현재는 산업용과 군사용 등 광범위하게 사용되고 있다. 지상표적의 표현도구인 BRL-CAD는 아래 <그림 3-2>와 같이 전차를 표현한다.



<그림 3-2> BRL-CAD를 활용한 전차 표현¹⁵⁾

14) Lee A. Butler, Eric W. Edwards, and Dwayne L. Kregel, 『[BRL-CAD Tutorial Series: Volume III - Principles of Effective Modeling]』, Army Research Laboratory, 2003

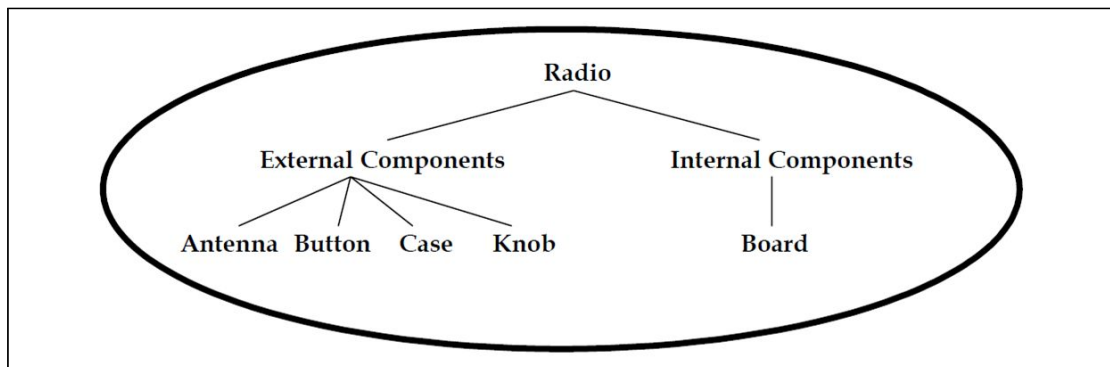
15) 상계서 p.3

한편 BRL-CAD로 전차를 표현하여 전차에 대한 효과모델을 구현하는 것은 다음과 같은 M-O-D-E-L 절차에 따른다.

- ① **M**-easuring (or collection/converting) data: 자료측정
- ② **O**-rganizing the structure: 구조체계화
- ③ **D**-eveloping (or building) geometry: 지오메트리¹⁶⁾ 구축
- ④ **E**-valuating (or checking) geometry for correctness: 지오메트리 평가
- ⑤ **L**-ogging (or creating) documentation: 문서화

첫 번째, 자료측정(Measuring Data) 절차는 모델을 구현하기 위한 다양한 형태의 원천정보를 연구하는 단계로, 이미 보유한 CAD정보나 청사진 또는 물리적 실측이 요구되는 부품들을 BRL-CAD에서 사용할 수 있는 형태로 변환하는 단계이다.

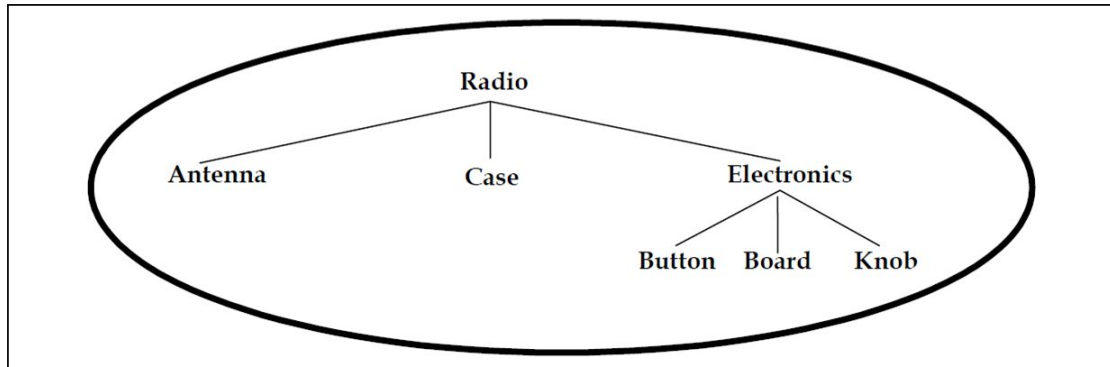
두 번째, 구조체계화(Organizing the Structure) 절차는 모델을 구현하기 전 구현할 객체에 대한 트리형태의 맵을 구상하는 단계로, 라디오를 구조체계화 할 경우 라디오의 세부 부품의 위치를 기반(Location-based)으로 하여 구상하면 <그림 3-3>과 같이 라디오 모델을 나타낼 수 있다.



<그림 3-3> Location-based structure of the radio¹⁷⁾

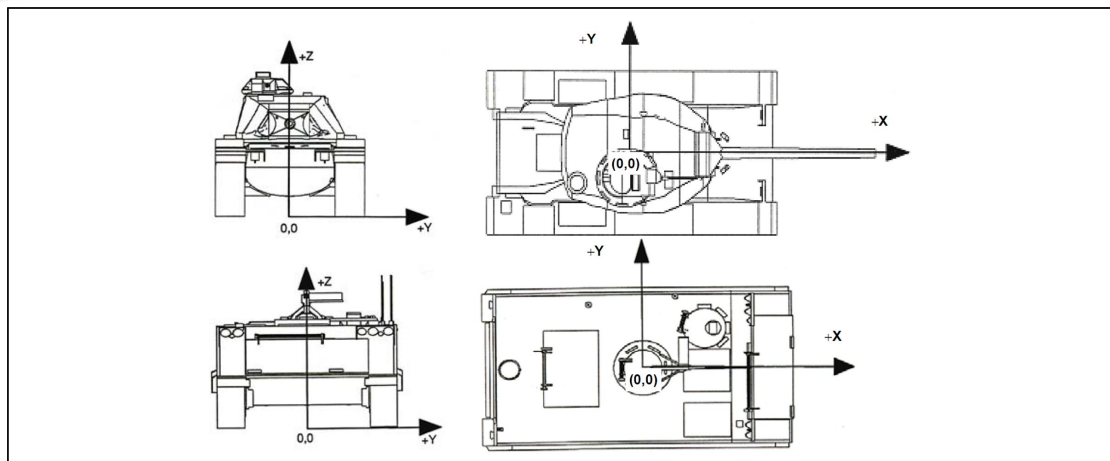
16) 지오메트리(geometry): 수학에서는 기하학(幾何學)으로서 도형에서 각도, 길이 넓이 등의 양을 측정하는 것과 같이 공간의 수학적 특성을 따지는 분야이다. 여기서는 CAD에서 생성되는 하나의 객체와 같이 매개변수(Parameters)를 정의하여, Surface, Curves, Points의 정보를 포함하는 형상(Shape)의 정보이다.

이와는 다르게 라디오의 기능을 기반(Function-based)으로 하여 구상하면 <그림 3-4>와 같이 라디오 모델을 나타낼 수 있다.



<그림 3-4> Function-based structure of the radio¹⁸⁾

세 번째, 지오메트리 구축(Developing Geometry) 절차는 실제 지오메트리를 구축하는 단계로, 지오메트리 생성(creation)하고 생성한 지오메트리를 배치(positioning)하는 2단계로 진행된다. 이때 배치를 위한 원점(origin)을 $(x\ y\ z = 0\ 0\ 0)$ 으로 설정한다. 일반적으로 지오메트리를 배치하여 표적을 묘사할 경우 지상 무기체계의 원점은 <그림 3-5>와 같이 전차의 중심을 원점으로 하여 축을 구성한다.

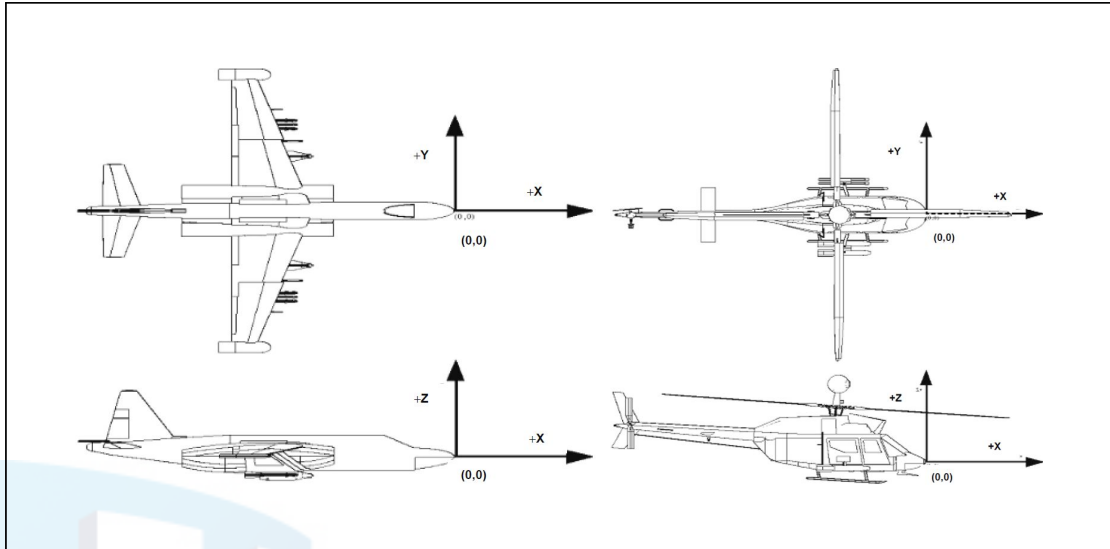


17) Lee A. Butler, Eric W. Edwards, and Dwayne L. Kregel, 전계서, p.12

18) 상계서, p.12

<그림 3-5> 지상 무기체계의 좌표축¹⁹⁾

그리고 항공 무기체계의 원점은 <그림 3-6>과 같이 항공기의 앞쪽 끝을 원점으로 하여 하여 축을 구성한다.



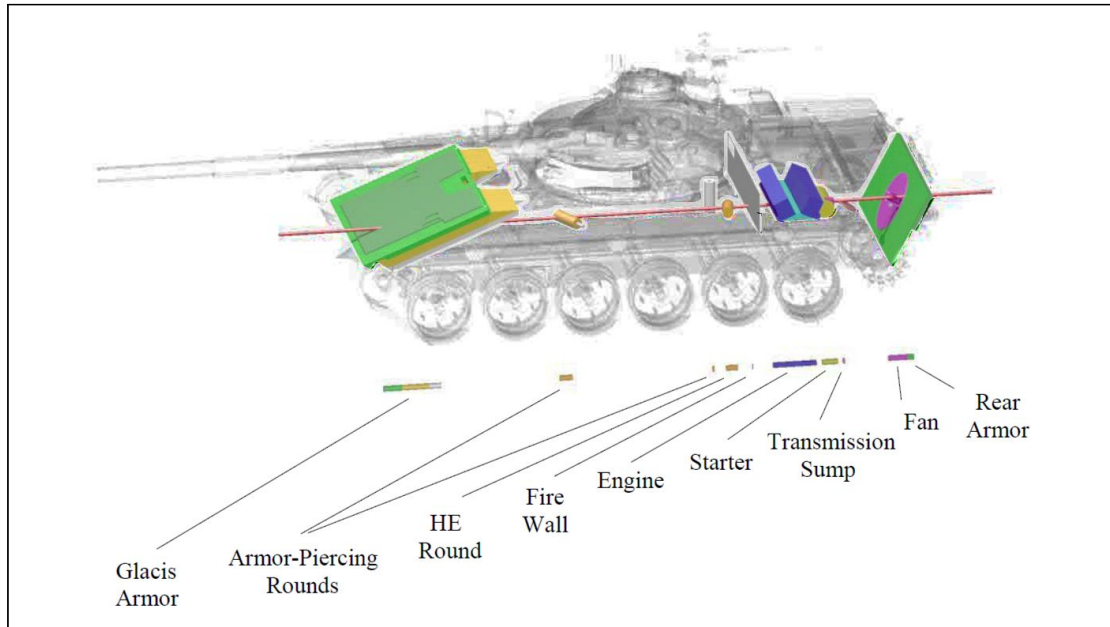
<그림 3-6> 항공 무기체계의 좌표축²⁰⁾

네 번째, 지오메트리 평가(Evaluating Geometry) 절차는 측정상, 논리상, 입력 값의 오차를 확인하고, 실효성이 없거나 비현실적이어서 모델이 될 수 없는 요소들을 확인하는데 단계이다. 이는 지오메트리가 적절하게 구축되었는지 평가하여 실세계와 모델을 동일하게 하는 절차로서, 개개의 객체가 결합(combination)과 범위(region)로 구성하고 구축/구성된 후에 수행하기도 하고 모델이 완벽하게 구축된 후에도 수행한다.

예를 들어 다음페이지의 <그림 3-7>과 같이 지오메트리 평가를 탄선(shot line)으로 할 경우 탄선이 관통하여 통과하는 부품의 재료특성, 두께, 방향 등의 정보를 확인할 수 있다.

19) 상계서, p.18

20) 상계서, p.18



<그림 3-7> 전차를 관통하는 사격선²¹⁾

마지막, 문서화(Logging Documentation) 단계는 구축한 모델에 대한 모든 정보를 문서로 출력하는 절차로, 각 단계에서 작성하거나 설정된 모든 정보를 BRL-CAD에서 문서로 출력할 수 있다.

3. COVART

COVART²²⁾는 선진국의 무기효과도 산출 절차 중 취약성 자료개발 절차에서 사용하는 도구이다. COVART(Computation of Vulnerable Area and Repair Time)는 표적의 취약성 면적(Area)의 값을 산출(generate)하는데 사용하는 프로그램으로, 탄자에 의한 관통효과를 분석하기 위한 ProjPEN(Projectile PENetration)과 파편에 의한 관통효과를 분석하기 위한 FATEPEN(Fast Air TargeEt PENetration) 등의 상세 모형을 세부 모듈로서 가지고 있다. 그리고 표적자료를 분석하고 물리적 형상을 구축하기 위해 기 설명한 BRL-CAD 와의 연결모드를 포함하고 있다.

COVART는 표적의 취약성을 평가하기 위해 표적의 외형뿐만 아니라

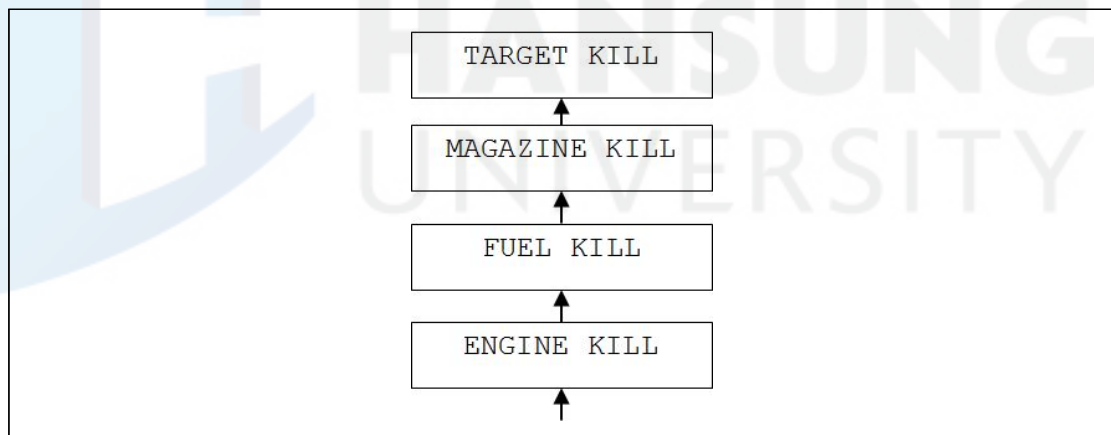
21) 상계서, p.30

22) Morris R. Driels, 전계서, p.133

표적을 구성하는 체계와 부체계, 구성품들을 그룹화하고 기능관계를 명세화하고 고장분석논리도와 치명도 분석자료 등을 생산한다. COVART 도구의 명세화에 대한 절차는 다음의 2단계의 절차로 수행된다.

첫 번째, 표적의 모든 구성품의 공간적 관계와 크기를 명세화하는데 이는 선진국 무기효과도 산출절차 중 이전 절차인 표적 형상의 기하학적 분석에서 수행한 것으로, 일반적으로 BRL-CAD 도구를 사용하여 CAD파일형태로 구축한다. 여기에는 원통형, 표면, 삼각형, 사각형 등과 같은 기초 지오메트리 형태로 표현한 객체의 모음으로 구성되어 있다.

두 번째, 그룹의 다양한 구성품 간의 상호관계를 기능모델(functional model)로 정의하는 것으로서, 구성품의 주요여부(critical of noncritical)와 예비여부(redundant or nonredundant)를 정의한다. 이 기능모델은 <그림 3-8>과 같이 손실분석논리트리(failure analysis and logic tree, FALT)와 같은 형태로 정의한다.

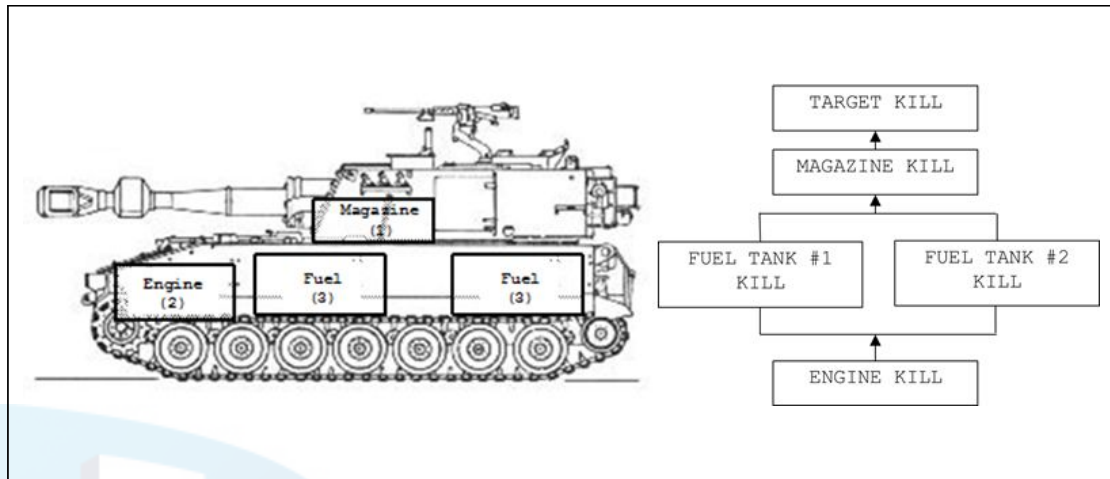


<그림 3-8> 손실분석논리트리²³⁾

그리고 엔진, 화기, 연료 등과 같이 주요한(critical) 구성품의 그룹으로 나누고, 해당 그룹의 다시 체계, 부체계, 부품으로 다시 나눈다. 이때 체계, 부체계, 부품과의 관계에 따라 표적의 취약성이 결정된다. 예를 들어 <그림 3-9>와 같이 전차에 연료탱크(FUEL TANK)가 2개 있는 예비(redundant)

23) 상계서, p.114

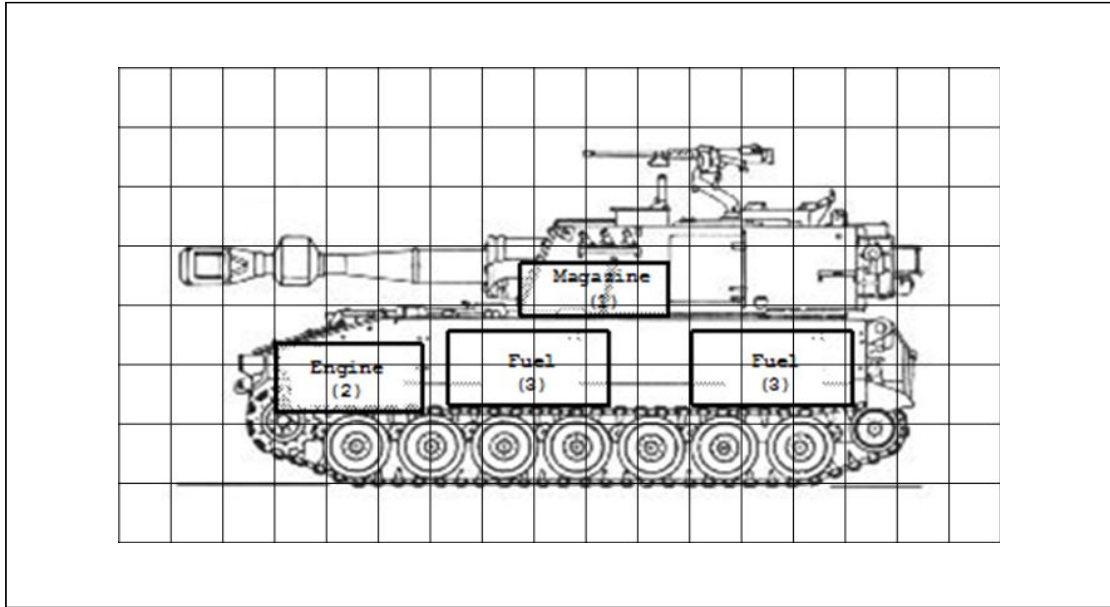
구성품이라면, 각 연료탱크를 하나의 그룹으로 설정한다. 이때 FUEL TANK #1이 손실된다 하더라도 FUEL TANK #2의 손실이 있지 않으면 연료탱크(그룹)의 기능을 수행하게 된다. 때문에 사격하는 화기의 탄이 1발일 경우에는 연료탱크에 손실을 입힐 수 없다.



<그림 3-9> 두 개의 연료탱크를 보유한 전차와 손실분석트리²⁴⁾

체계와 부체계, 구성품들의 기능관계의 명세화가 완료되면 탄선분석(Shotline Analysis)을 한다. 탄선분석은 <그림 3-10>과 같이 탄선격자(shotline grid)를 표적위에 겹쳐놓고 탄선격자의 각 셀 안으로 탄선이 통과한다고 가정할 때, 탄선을 따라 전차를 관통하여 조우하게 되는 구성품을 순서대로 결정한다.

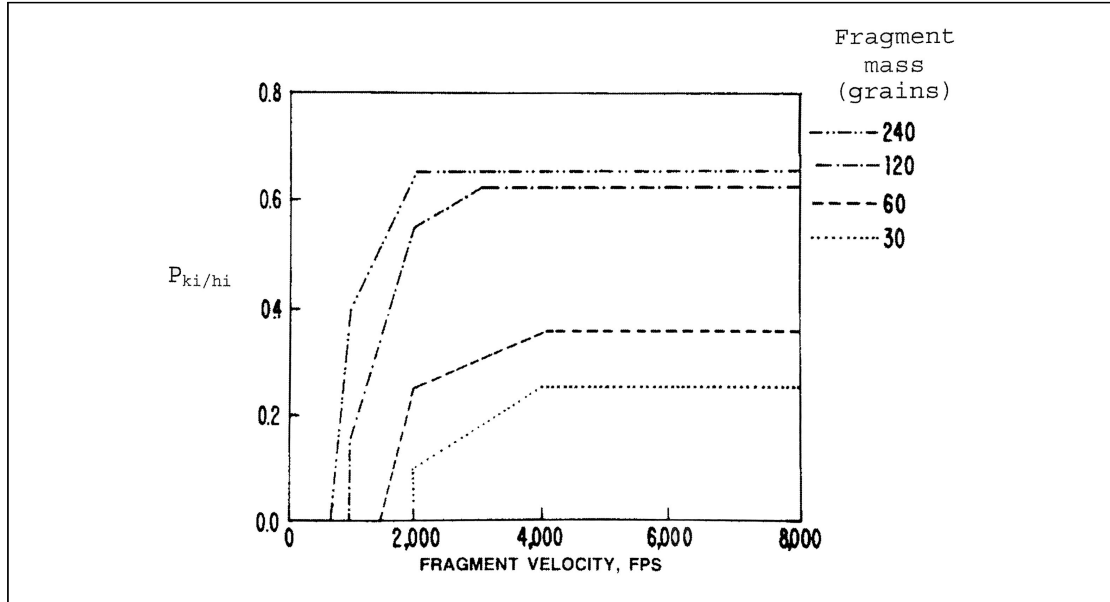
24) 상계서, p.118



<그림 3-10> 탄선격자에 겹쳐진 표적

이때에는 탄의 도비는 발생하지 않는 것으로 가정한다. 그리고 조우하는 각 구성품 중 주요 구성품에 대하여 탄의 질량과 속도를 고려하여 관통여부를 결정한다. 이때 관통 시 어떤 손실이 발생하고 관통한 이후 유지되는 탄의 속도를 산출한다. 그리고 다음 구성품에 대하여 해당 절차를 반복하여 관통하지 못하는 구성품에 도달할 때까지 수행한다.

그리고 주요 구성품과 겹쳐진 모든 탄선격자의 셀(n개)에 대하여 탄선분석을 하여 해당 셀에서 주요 구성품의 손실이 발생여부를 결정한다. 결과로 주요 구성품 별로 어떤 셀에서 손실이 발생했는지 알 수 있게 된다. 이때 탄속과 탄질량에 대하여 특정 주요 구성품(i)과 겹치는 셀의 면적에서 실제 피해가 있는 셀의 면적의 비율을 $P_{ki/hi}$ 라고 할 때 탄속과 탄질량의 상관관계를 그래프로 나타내면 <그림 3-11>과 같은 취약도 곡선(fragility curve)으로 나타낼 수 있다.



<그림 3-11> 취약도 곡선²⁵⁾

그리고 주요 구성품이 있는 셀에 구성품에 대한 손실이 있을 경우 살상이 발생할 확률($P_{k/sh}$)은 산출하는 방정식은 아래와 같다.

$$P_{k/sh} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{ki/hi})$$

여기서 n 은 모든 주요구성품이 있는 셀의 수이며, 탄의 질량과 탄속을 알고 있을 경우 위의 <그림>의 취약도 곡선(fragility curve)으로 $P_{ki/hi}$ 알 수 있다.

다음으로 산출된 $P_{k/sh}$ 를 그리드 한 셀의 면적 A_{p-cell} 과 곱하여 한 셀에 대한 탄선의 취약면적 A_{v-cell} 을 아래와 같이 산출한다.

$$A_{v-cell} = P_{k/sh} \times A_{p-cell}$$

이를 표적 전체에 대하여 산출하려면 표적의 모든 셀의 수 p 만큼 한

25) 상계서, p.109

셀의 탄선의 취약면적 A_{v-cell} 을 합한다. 이를 표적의 취약면적 A_v 이라 하면 산출하는 방정식은 아래와 같다.

$$A_v = \sum_{i=1}^p A_{v-cell}$$

그리고 표적의 전체 면적에서 표적 전체의 취약면적 A_v 의 비율이 표적에 명중하였을 경우의 살상확률 P_K 가 되며 이에 대한 방정식은 다음과 같다.

$$P_K = \frac{A_v}{A_p}$$

여기서 산출된 살상확률 P_K 는 그리드에 그려진 표적을 바라보는 각도에서의 살상확률이 된다.

COVART 도구로 탄선분석은 다양한 방위각(azimuth angle)과 고각(elevation angle)으로 표적을 바라보며 탄속과 탄질량 등의 기준으로 위와 같은 절차를 반복적으로 수행하여 각각의 P_K 를 산출한다.

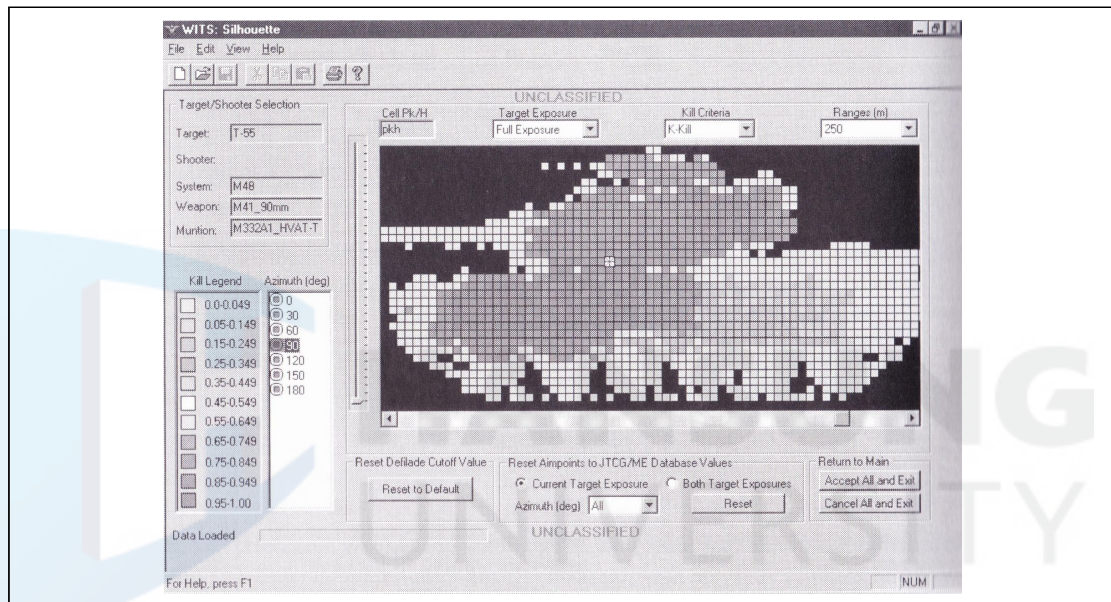
4. PVTM

PVTM²⁶⁾은 선진국의 무기효과도 산출 절차 중 예상피해 계산 및 평가 절차에서 사용하는 도구이다. PVTM(Passive Vehicle Training Model)은 미 육군성에서 개발한 모형으로 표적에 대한 직사화기 효과를 분석하기 위해 사용되고 있다. 주요 입력 데이터로는 발사된 탄약에 대한 표적의 취약성 자료와 무장투발 정확성 및 사정거리 등이 있으며, 주요 출력자료는 해당 투발에 대한 살상확률 및 명중확률 자료이다. 또한 표적을 완전히 살상하기 위한 소요시간의 산출이 가능하다.

26) 상계서, p362

PVTM 모형에서 직사화기 모사는 정지해 있는 표적에 대하여 단발이나 연발사격을 하는데, 이때 각 사격에 대하여 화기의 조준의 정확성과 탄도의 분산의 표현은 랜덤값과 결합하여 결정한다. 그리고 몬테카를로 시뮬레이션 방법으로 많은 사격을 시도하여 탄착점에서 발생하는 효과의 평균으로 살상확률을 결정한다.

한편 PVTM 모형의 살상확률 산출은 표적표현, 발사의 중점, 탄착점 결정, 살상확률 산출의 4가지 단계로 수행된다.



<그림 3-12> PVTM 도구²⁷⁾

첫 번째 표적표현은 <그림 3-12>과 같이 PVTM 모형에서 표적의 형태를 그래픽으로 나타내는 것으로서, 표적표현으로 표적의 위치별로 취약성을 살상확률로 나타낸 정보와 조준점(aim point)의 정보를 알 수 있다.

표적의 살상확률은 다음과 같이 표현되어 있다. 표적을 바라보는 각도에서 표적을 셀로 나누고, 각 셀에는 직사화기, 사거리, 살상범주 별 살상확률 (P_K)이 결정되어 있으며, 각 셀의 살상확률은 왼쪽 kill legend에 색으로서 구분할 수 있다.

27) 상계서, p.364

표적의 조준점은 표적을 바라볼 때의 표적의 중심인 중심좌표(centroid coordinate)를 조준점으로 한다. 표적의 중심은 표적이 차지하고 있는 각 셀에 대하여 중심좌표이며 산출식은 아래와 같다.

$$X_{AIM} = \frac{\sum x_{cell}}{N_{cell}}$$

$$Z_{AIM} = \frac{\sum z_{cell}}{N_{cell}}$$

위의 식에서 X_{AIM} 와 Z_{AIM} 는 화기가 표적을 바라보는 방위각에서 중심좌표 이다. 그리고 x_{cell} 과 z_{cell} 는 각 셀의 중심좌표이며, N_{cell} 은 표적이 보이는 범위에 대한 셀의 개수이다. 산출된 중심좌표(X_{AIM} , Y_{AIM})가 화기로 사격할 경우의 조준점(aim point)이 된다. 만약 표적이 차폐가 되어 일부가 가려 진다면 중심좌표는 부분 노출된 부분의 셀을 기준으로 다시 설정한다.

한편 일반적인 사격절차는 중심좌표로 조준하여 사격하면 탄이 발사된다. 그리고 동일한 중심좌표로 재 조준하여 반복하여 사격한다. 이는 사격에 대하여 여러 번 발사될 경우 연속적으로 수행하게 된다. 다음으로 탄의 정확성은 발사 간 발생하는 오차(burst-to-burst error)인 조준오차와 발사된 상황에서 발생하는 탄도오차가 있다.

두 번째 발사의 중점은 조준점을 향하여 발사(burst)했을 때의 중심좌표 (CI_X , CI_Y)이며 산출식은 아래와 같다.

$$CI_X = X_{AIM} + BSE_X + (\sigma_{XBB} \times RN)R/1000$$

$$CI_Z = Z_{AIM} + BSE_Z + (\sigma_{ZBB} \times RN)R/1000$$

위의 식에서 BSE_X 와 BSE_Z 는 표적을 화기에 조준할 때 발생하는 일정한 (constant)한 오차이다. 그리고 σ_{XBB} 와 σ_{ZBB} 는 표준편차로

표현되는 조준오차이며 단위는 mil이다. RN 은 랜덤값으로 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포이다. R 은 화기에서 표적까지의 사거리이며 단위는 m이다.

세 번째 탄착점 결정은 발사(burst)된 각 탄(round)에 대하여 탄착점을 결정하는 것으로 산출식은 아래와 같다.

$$XI = CI_X + (\sigma_{XWB} \times RN)R/1000$$

$$ZI = CI_Z + (\sigma_{ZWB} \times RN)R/1000$$

위의 식에서 σ_{XWB} 와 σ_{ZWB} 는 표준편차로 표현되는 탄도오차이며 단위는 mil이다. RN 은 랜덤값으로 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포이다. R 은 화기에서 표적까지의 사거리이며 단위는 m이다.

네 번째 살상확률 산출은 각 탄이 표적과 충돌하는 위치의 셀의 살상확률 값을 취하여 살상확률을 산출하는 것으로 산출식은 아래와 같다

$$\overline{P_K} = 1 - \prod_{q=1}^{q=nrb} [1 - P_k(i, j, q)]$$

여기서 $P_k(i, j, q)$ 는 화기로부터 1회 사격으로 발사(burst)된 탄(round) n_{rb} 개 중 q 번째 탄이 충돌한 셀의 좌표(i, j)의 살상확률(P_k)값이다. 이때 발사는 $burst > 0$, 이고 $round > 0$ 이다.

그리고 몬테카를로 시도로 많은 사격을 하여 위의 P_k 의 평균($\overline{P_K}$)이 살상확률이 된다.

제 2 절 직사화기 살상확률 산출방안

우리 군은 일찍이 국방 M&S분야를 합리적 의사결정의 전략적 도구로서 인식하여 꾸준히 활용하고 관련분야 기술발전을 위해 노력해왔으며, 오래전부터 무기효과도에 관련된 데이터 확보와 연구를 해왔다. 그러나 실제로 무기효과도 산출과 같은 직접적인 데이터를 얻기란 쉽지 않았다. 무기효과도 데이터의 확보 및 생산과 관련하여 우리 군은 그동안 1979년 한미자료교환협정에 근거 하에 무기효과 데이터를 도입하였고, 국방M&S 연구와 더불어 위게임의 입력데이터로 사용해왔다.

그리고 위에서 설명하였던 BRL-CAD는 이미 공개 소프트웨어이며 선진국의 무기효과도 산출에 사용되는 도구인 COVART, PVTM 등은 이미 선진국으로부터 도입하였다. 그러나 이를 활용하여 실제로 무기효과도 산출이 수행되지 못하는 것은 각 도구에서 요구되는 데이터를 생산/구축이 선행되어야 하기 때문이다. 이는 우리 군의 부족한 연구개발 자원, 관련된 전담기관의 부재뿐만 아니라 광범위한 절차와 복잡성 등의 이유로 현재로서는 무기효과도 산출은 어려운 분야임에 틀림없다. 게다가 2000년대 후반에 들어 점차적으로 미국에서 무기체계 효과데이터를 비롯한 M&S관련 기술의 해외유출을 엄격하게 통제하기 시작하였다. 하지만 선진국으로부터 무기체계 효과도 데이터에 대한 추가 확보의 노력을 계속적으로 하고 있으나 그 이후 선진국으로부터 무기체계 효과도 데이터 확보가 어려운 실정이다.

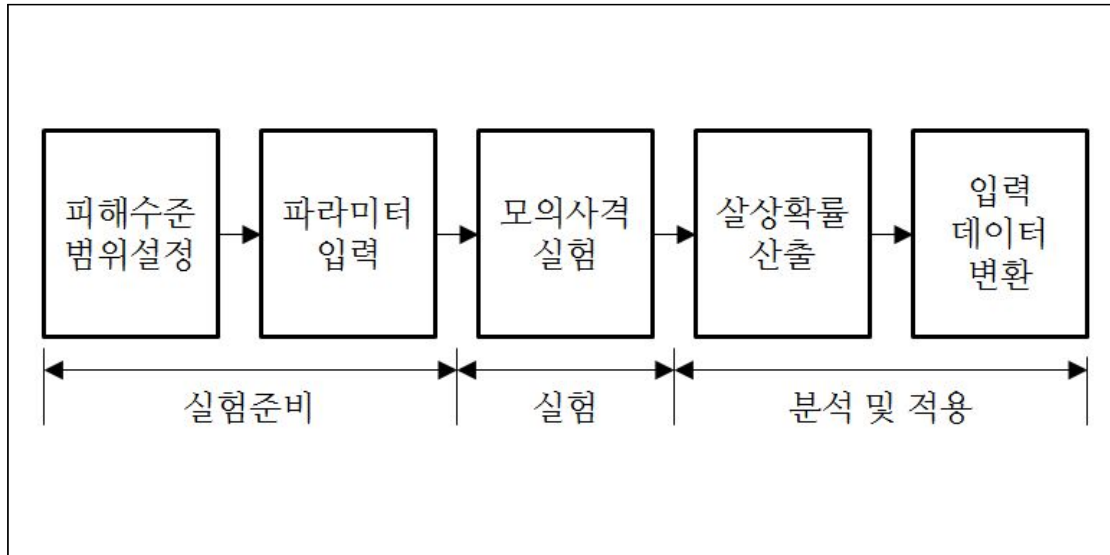
즉, 우리 군의 무기체계 효과도 데이터에 관련한 연구 및 개발이 완료되고, 전담기관에 의한 데이터 생산 및 관리와 이를 위한 제도적 장치가 마련될 때까지 신무기체계에 대한 효과도 데이터를 확보하는 것이 불가능하다. 따라서 무기체계 효과도 데이터를 사용하는 위게임 시뮬레이션 분야에서는 대안이 필요하므로, 본 장에서는 무기체계 효과도 데이터 중 직사화기의 살상확률 산출에 대한 방안을 제안한다.

1. 직사화기 살상확률 산출방안 개념

직사화기의 살상확률을 산출을 선진국의 무기효과도 산출 방법론을 따라 수행하는 것은 현 시점에서 국내 여건상 현실적으로 어려운 것은 서론에서 언급하였다. 이 같은 어려움으로 인해 직사화기 살상확률 산출방안을 제안하는 것이며 선진국의 산출 방법론에 대한 개념을 이해하여 이를 단순화하였다. 직사화기 살상확률 산출방안은 모델 운용 전문가 수준에서 직접 산출할 수 있도록 단순화 하였다.

논문에서 제안하는 산출방안의 기본 개념은 표적의 피탄위치(hit point)에 따라 5가지 피해수준(이동불가, 사격불가, 이동사격 불가, 완파, 피해없음)을 설정한 후, 직사화기로 충분히 모의사격하여 발생한 피해수준 별의 발생빈도를 살상확률로 산출하는 것이다. 이때 모의사격실험 이전에 설정하는 피탄위치에서의 피해수준은 표적의 외형 그리고 내부 장비에 대한 취약성을 고려하여 결정한다. 그리고 모의사격 시 피탄위치의 결정은 직사화기의 조준오차와 탄도오차를 고려하여 결정하게 된다. 이때 모의사격은 몬테카를로법으로 아주 많은 양의 모의사격실험을 실시하게 된다. 다음으로 살상확률 산출은 모의사격을 마치고 각 피해수준의 빈도를 명중한 탄으로 나누어 산출한다.

위의 직사화기 살상확률 산출방안 기본 개념에 대한 절차는 <그림 3-13>과 같이 피해수준 범위설정, 파라미터 입력, 모의사격 실험, 살상확률 산출, 입력데이터 변환의 5가지이다. 이때 각 절차에 대한 수행내용으로 볼 때에는 모의사격 실험에 필요한 데이터와 시나리오를 준비하는 실험준비 단계, 준비된 시나리오에 대하여 실험을 실시하는 실험 단계, 실험데이터로 살상확률을 산출하고 워게임 모델에 사용하도록 데이터를 변환하는 분석 및 적용 단계의 3가지 단계로도 볼 수 있다.



<그림 3-13> 직사화기 살상확률 산출방안의 절차

직사화기 살상확률 산출방안의 첫 번째 절차는 특정 위치에 피탄 시 표적의 취약성을 고려하여 피탄위치에 따른 표적의 피해수준(이동불가, 사격불가, 이동사격불가, 완파)에 대한 범위를 설정한다. 이때 표적의 취약성이란 표적 무기체계 내부의 엔진이나 연료탱크, 탄약과 같은 주요 구성품이나 조종수나 사격수와 같은 승무원이 있는 공간을 의미한다. 물론 무기체계 내외부의 취약성을 고려하여 피해수준을 결정해야 하지만 표적에 명중했다 하더라도 이동이나 사격이 가능할 경우 야전 작전수행에 문제가 없으므로 해당 경우 해당 피탄위치는 피해없음(no damage)의 범위를 설정한다. 그리고 각 피해수준과 피해없음의 대한 범위는 중복되지 않으므로 상호배반적으로 선택한다.

두 번째 절차는 모의사격을 실시하는데 필요한 직사화기와 표적의 특성 그리고 모의사격실험에 대한 파라미터를 입력한다. 직사화기의 특성은 특정 사거리에 대한 오차와 사격 시 1회 사격 시 발사수, 발사 당 탄수(또는 파편수)를 입력한다. 표적의 특성은 직사화기가 바라보는 표적의 방향과 상태(노출/차폐), 그리고 표적의 길이/폭/높이와 같은 물리적 형태이다. 이때 직사화기의 조준점도 표적을 기준으로 함께 입력한다. 다음으로 모의사격실험 파라미터는 모의사격실험 횟수를 지정한다.

해당 산출방안은 몬테카를로법을 적용하며 아주 많은 양의 모의사격실험을 실시하여 피탄위치를 결정한다. 이때 피탄위치는 조준점을 기준으로 화기의 사격 시 발생하는 조준오차와 탄의 비파 중에 발생하는 탄도오차를 반영하여 이변량 정규분포로 결정한다.

세 번째 절차는 모의사격에 대한 실험을 수행하는 절차로서 모의사격을 수행하고, 각 모의사격에 대하여 명중여부(hit or no hit)를 결정한다. 이때 명중은 표적의 피해수준 또는 피해없음으로 정의된 범위에 피탄 되었을 경우를 명중(hit)이라고 정의하고, 정의된 범위 외부로 탄착 되었다면 불명중(no hit)으로 정의한다. 명중하였을 경우 피탄위치에서의 피해수준(또는 피해없음)을 확인한다. 이때 사격에 대한 조준위치와 피탄위치를 산출한다.

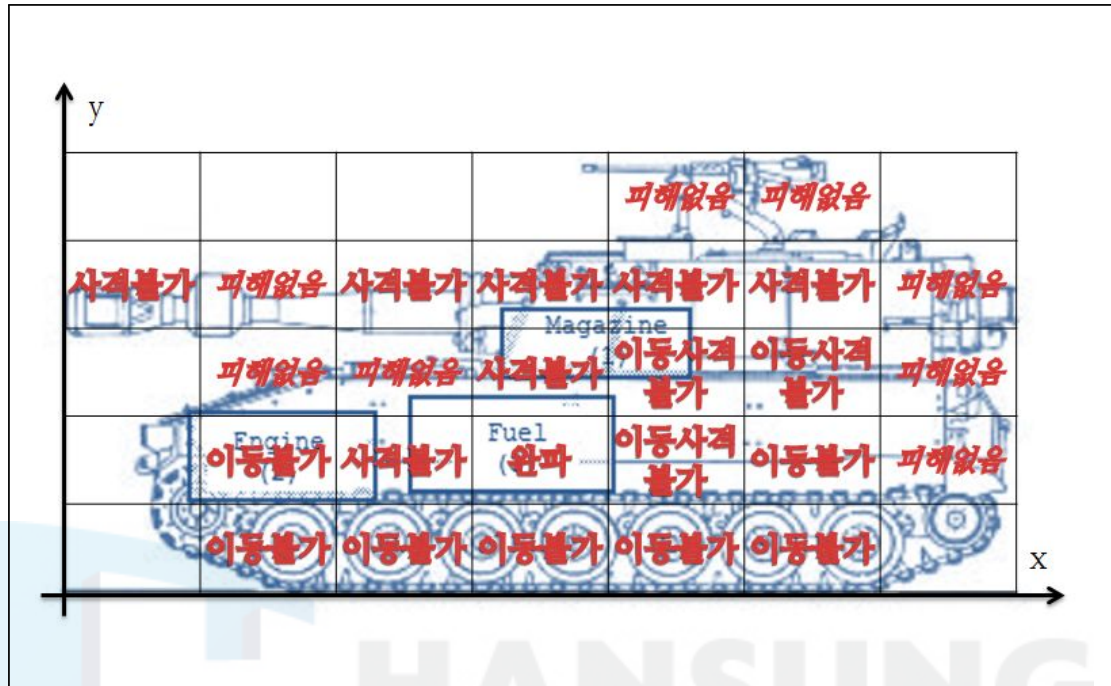
네 번째 절차는 모든 모의사격실험이 종료된 후 명중한 탄(hit)에 대하여 피해수준 별 살상확률을 산출한다. 피해수준 별 살상확률의 산출은 사격에 대하여 명중하였을 경우 해당 피해수준으로 결정된 확률이다. 5가지 명중결과(이동불가, 사격불가, 이동사격불가, 완파, 피해없음)에 대한 확률의 합은 1이 된다.

마지막 절차에서는 피해수준 별로 산출된 살상확률을 위게임 모델의 입력데이터 형태인 살상범주(MOB, FRP, M/, KK)로 변환한다.

2. 피해수준 범위 설정

피해수준 범위설정은 <그림 3-14>와 같이 직사화기로 표적을 (모의)사격하고 탄이 표적의 특정 위치에 피탄 되었을 경우 피탄위치에 대한 피해수준을 설정하는 것이다. 이때 화기로부터 발사된 탄이 무조건 표적을 관통하여 피해를 주는 것으로 간주하여 피탄위치를 기준으로 엔진이나 연료, 탄약통(magazine), 조종수나 사격수와 같은 승무원이 위치한 공간(compartment) 등과 같이 해당 위치에 피해를 입을 경우에 대한 피해수준으로 설정한다. 예를 들어 전차를 조종하는 승무원이 위치한 곳에 피탄 될 경우에는 전차는 기동작전이 불가능할 것이다. 그리고 포신 또는 탄약통과 같이 사격과 관련된 위치에 피탄 된다면 사격작전이 불가능할 것이다. 이처럼 해당 위치에서의 피해로 인해 기동이나 사격작전이 불가능할

경우 이를 피탄위치에 대한 이동불가 또는 사격불가의 피해수준으로 설정한다.



<그림 3-14> 피해수준 범위설정 예

추가적으로 표적에 피탄 되었음에도 불구하고 작전이 가능한 상황이 존재한다. 예를 들어 전차의 장갑수준이 아주 견고하거나 피탄위치에서의 피탄 각도가 매우 낮아서 도비탄(ricochet)²⁸⁾이 될 가능성이 높은 경우 또는 내부적으로 피해를 입었다 하더라도 주요 구성품에 피해를 입지 않아 기동/사격과 같이 야전 작전을 수행할 수 있을 경우가 이에 해당된다. 이때에는 피해수준 범위설정 시 피해없음(no damage)으로 설정한다.

즉 피해수준 범위설정에서 ‘범위’란 각 피해수준에 대한 면적(Area)을 의미한다. 피해수준 범위설정 방법은 선진국의 무기효과도 산출도구인 COVART와 유사하게 <그림 3-14>와 같이 표적인 전차 위에 일정한 간격의 탄선격자(shotline grid)를 올려놓고 격자의 각 셀(cell)에 대한 위치를

28) 도비탄: 발사된 탄이 땅이나 표적에 탄착할 때 뇌관부위보다 탄의 옆 부분이 단단한 장갑이나 바위에 부딪혀 폭발하지 않은 채로 다시 튀어 올라 엉뚱한 곳에 떨어지는 탄을 말한다. 전차의 장갑은 도비효과를 위해 경사장갑 형태로 설계한다.

피탄위치(hit point)라 간주할 때의 ‘이동불가’, ‘사격불가’, ‘이동사격불가’, ‘완파’ 그리고 ‘피해없음’의 5가지 피해수준을 설정하는 것이다. 이상 5가지의 상황은 동시에 일어날 수 없으므로 상호배반적(disjoint)인 상황이다. 즉 각 셀에는 5가지 중 하나의 피해수준만 설정할 수 있다.

피해수준 범위설정은 논문에서 제안한 살상확률 산출방안에서 가장 중요하고도 어려운 부분이다. 해당 절차는 선진국의 무기효과도 산출도구인 BRL-CAD를 활용하여 표적이 되는 무기체계의 취약한 내부 구성품에 대한 위치(location)를 알아야 한다. 그러나 표적 무기체계의 경우 내부구조나 설계도는 물론이고 장갑능력도 알지 못하는 경우가 대부분이기 때문에, 피탄위치에 대한 피해수준의 설정은 임의로 추정할 수밖에 없다. 따라서 해당 절차에서는 AHP기법²⁹⁾을 사용하여 무기체계 전문가(Subject Matter Expert, SMEs)들의 의견을 수렴하거나 표적 또는 표적과 유사한 무기체계의 각종 자료를 기반으로 피해수준 범위를 설정해야 한다.

3. 모의실험 파라미터 입력

직사화기 살상확률 산출방안은 가상으로 사격을 실시하여 피탄위치에 대한 피해수준을 결정하고, 해당 과정을 몬테카를로법을 적용하며 아주 많은 양의 실험을 반복수행하여 종합된 피해수준으로 살상확률을 산출하는 절차이다. 이때 모의사격실험에 필요한 직사화기의 특성과 표적의 특성과 같은 파라미터를 입력한다. 직사화기의 특성은 특정 사거리에 대한 고정오차, 조준오차, 탄도오차가 있으며 사격에 대한 1회 사격 시 발사수와 발사 당 탄수(또는 파편수)를 입력한다. 그리고 표적의 특성은 직사화기가 바라보는 표적에 대하여 표적방향(전면/측면), 표적차폐상태(노출/차폐) 그리고 표적의 길이/폭/높이와 같은 물리적 형태를 입력한다. 또한 직사화기의 조준점도 표적을 기준으로 함께 입력한다. 마지막으로 몬테카를로법의 반복수행을 위한 모의사격실험 횟수를 지정한다.

직접사격 알고리즘의 사격모의 순서는 사격화기에서의 조준점을 향하여

29) AHP기법: 합리적인 의사결정을 지원하는 기법으로, 어떠한 의사결정 시 우선순위를 결정하는데 도움을 주며, 전문가들을 대상으로 설문을 통해 중요도(가중치)를 수치화할 수 있게 도와준다.

조준(aiming)을 발사(burst)하고, 발사된 탄(round)은 비과(ballistic)하여 표적에 명중(hit)한다. 그리고 재사격 시에는 이전 사격과 동일하게 조준, 발사, 탄의 비과, 명중의 순서로 수행한다. 이와 같이 사격은 연속적으로 수행되는데 이때 탄이 조준점에 정확하게 전달되는 정확성(accuracy), 즉 전달정확도(delivery accuracy)는 사격 간(burst-to-burst)의 조준오차와 사격 이후(within-burst)에 탄이 비과하는 과정의 탄도오차로 모의할 수 있다. 직사화기 살상확률 산출방안에서는 직사화기의 오차에 대하여 조준오차, 탄도오차로 모의 하고, 파라미터 입력 시에는 각 오차에 대하여 편의오차(deflection error)와 사거리오차(range error)로 구분하여 밀(mil) 단위로 입력한다. 그리고 무기체계 설계로 나타나는 고정오차도 편의오차와 사거리오차로 구분하여 밀(mil) 단위로 입력한다.

그리고 직사화기는 일반적으로 1회 사격할 경우 여러 발이 발사되기도 하고 발사된 탄이 파편이나 자탄으로 분리되어 표적에 도달한다. 이에 대한 파라미터를 각각 1회 사격 시 발사수(bursts/aiming)와 발사 당 탄수(rounds/burst)라고 한다. 1회 사격 시 발사수는 직사화기에서 1회 사격 시 발사하는 횟수로서 1회 사격에 대하여 1이상의 값을 입력할 수 있고, 발사 당 탄수는 각 발사에 대하여 발사된 탄이 비과 중에 자탄이나 파편으로 분리될 경우의 개수로서 1발에 대하여 1이상의 값을 입력할 수 있다. 직사화기 살상확률 산출방안에서는 1회 모의사격 시 발사한 횟수에 대하여 탄(파편)의 개수만큼 피탄위치를 산정한다.

다음으로 표적의 특성에 대한 파라미터는 표적방향, 표적차폐상태, 표적길이/폭/높이가 있다. 표적방향은 직사화기가 바라보는 표적의 방향으로 전면(head-on)과 측면(flank)로 구분한다. 이 같은 구분은 피해수준 범위설정에서의 <그림 3-14>은 전차의 측면 방향이다. 전차의 전면일 경우도 동일하게 피해수준 범위설정을 동일하게 수행한다. 표적차폐상태는 표적의 노출수준으로 노출(exposed)과 차폐(defilade)로 구분한다. 노출은 표적을 바라보는 방향으로 어떠한 방해물도 없는 상태를 의미한다. 차폐는 표적의 차폐된 정도(percentage)를 의미한다. 직사화기 살상확률 산출방안에서 노출수준 입력은 차폐 시 차폐정도를 %단위로 설정한다. 이때 차폐는 표적의

하단부터 차폐되며 표적의 전체 높이를 기준으로 차폐정도(%)만큼 차폐된다. 표적의 길이, 폭, 높이는 실제 표적의 실측크기를 작성한다. 길이(length)는 표적을 측면 에서 바라봤을 때의 길이(size)이며, 폭(width)은 표적을 정면 에서 바라봤을 때의 길이이다.

마지막으로 모의사격실험 횟수는 반복수행을 위한 것으로 해당 횟수는 사격횟수와 동일하며 산출되는 살상확률이 수렴하는 값이 산출 될 정도로 많은 수의 값을 입력한다.

직사화기 살상확률 산출방안에서 사용하는 모의실험파라미터를 종합하면 [표 3-1]과 같다.

[표 3-1] 모의실험 파라미터

파라미터 명	영문명	단위	범위
고정 편의 오차	fixed deflection error	밀(mil)	0~1600
고정 사거리 오차	fixed range error	밀(mil)	0~1600
조준 편의 오차	aim deflection error	밀(mil)	0~1600
조준 사거리 오차	aim range error	밀(mil)	0~1600
탄도 편의 오차	ballistic deflection error	밀(mil)	0~1600
탄도 사거리 오차	ballistic range error	밀(mil)	0~1600
1회 사격시 발사수	number of bursts/aimpoint	회	1 이상
발사 당 탄수	number of rounds/burst	발	1 이상
표적방향	vehicle_angle	N/A	전면,측면
표적차폐상태	vehicle defilade status	N/A	노출,차폐
차폐수준	defilade percentage	%	0~100
표적길이	vehicle length	meter	0 이상
표적폭	vehicle width	meter	0 이상
표적높이	vehicle height	meter	0 이상
모의사격실험 횟수	number of Monte Carlo trials	회	많은 횟수

파라미터 입력도 피해수준 범위설정과 함께 정확하거나 또는 적절한 값을 입력하는 것은 무기체계 전문가의 도움 또는 많은 화기-표적에 대한 자료가 필요하다. 그러나 사거리 관련 오차를 제외한 파라미터는 화기나 표적에 대한 물리적인 데이터나 실험에 대한 정의이므로 자료획득이 용이하다.

4. 모의사격실험 절차

모의사격실험은 모의사격에 대한 실험을 수행하는 절차로서 몬테카를로법을 적용하며 아주 많은 양의 모의사격실험을 실시하여 피탄위치를 결정한다. 직사화기 살상확률 산출방안에서는 다음과 같은 모의사격실험 절차 수행한다. 모의사격 절차는 조준위치 산출, 피탄위치 산출의 2단계로 처리한다. 해당 실험절차는 선진국의 무기효과도 산출도구인 PVTM과 유사하게 진행된다.

직사화기는 사격과 함께 발사(burst)되어 여러 개의 탄(round)이나 파편(fragment)으로 분리되는 특성이 있다. 이와 같은 특성을 고려하여 모의사격 절차에서 발사에 대한 모의는 조준위치 산출 과정에서 적용되며 탄(파편)에 대한 모의는 피탄위치 산출 과정에서 적용된다.

한편 조준오차는 표적을 조준하는 과정에서 화기의 성능이나 기계적 결함, 조준위치의 부정확한 판단 등에 의해 발생한다. 그리고 탄도오차는 발사된 이후 바람이나 강우와 같은 기상, 탄의 제조과정의 결함 등에 발생한다. 이와 같이 오차의 의미를 고려하여 조준오차는 조준위치 산출 과정에서 적용되며 탄도오차는 피탄위치 산출 과정에서 적용된다. 따라서 발사와 탄(파편)에 대한 모의, 그리고 조준오차와 탄도오차의 적용시기를 결정해야 한다.

1) 조준위치 산출

우선 모의사격 절차 중 첫 번째 과정인 조준위치 산출은 조준점 산출과 산출된 조준점에 대한 조준오차 적용하여 산출한다. 이때 ‘조준점’이란 직사화기로 표적을 사격할 때 명중하기를 바라는 위치로 표적을 바라볼 때 보이는 범위(presented area)에서의 중심(centroid)이다. 만약 표적의 일부가 차폐된다면 노출되어진 부분에서 보이는 범위의 중심이 조준점이 된다.

따라서 조준점은 다음과 같이 산출한다.

$$X_{AIM} = \frac{\sum x_{cell}}{N_{cell}}$$

$$Y_{AIM} = \frac{\sum y_{cell}}{N_{cell}}$$

위의 식에서 X_{AIM} 과 Y_{AIM} 은 화기가 표적을 바라보는 방위각에서 중심좌표이다. 그리고 x_{cell} 과 y_{cell} 은 각 셀의 중심좌표이며, N_{cell} 은 표적이 보이는 범위에 대한 셀의 개수이다. 다음으로 산출된 조준점(X_{AIM} , Y_{AIM})에 대하여 조준오차에 대한 이변량 정규분포로 조준위치 CI_X 와 CI_Y 를 산출하며 산출식은 아래와 같다.

$$CI_X = X_{AIM} + BSE_X + (\sigma_{XA} \times RN)R/1000$$

$$CI_Y = Y_{AIM} + BSE_Y + (\sigma_{YA} \times RN)R/1000$$

위의 식에서 BSE_X 와 BSE_Y 는 표적을 화기에 조준할 때 발생하는 일정한 (constant)한 오차이다. σ_{XA} 와 σ_{YA} 는 표준편차로 표현되는 조준오차이며 단위는 밀(mil)이다. RN 은 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포에서 추출한 랜덤값이다. R 은 화기에서 표적까지의 사거리이며 단위는 m이다. 그리고 이때 각 발사(number of bursts/aimpoint)에 대하여 조준오차를 적용한 조준위치를 산출해야 한다.

2) 피탄위치 산출

다음으로 모의사격 절차 중 두 번째 과정인 피탄위치 산출은 이전에 산출한 조준위치에 대하여 탄도오차에 대한 이변량 정규분포로 적용하여 피탄위치 XI 와 YI 를 산출한다.

$$XI = CI_X + (\sigma_{XB} \times RN)R/1000$$

$$YI = CI_Y + (\sigma_{YB} \times RN)R/1000$$

위의 식에서 σ_{XB} 와 σ_{YB} 는 밀(mil)단위로 표현하는 표준편차이다. 그리고 조준위치 산출의 경우와 동일하게 RN 은 평균이 0이고 표준편차가 1인 정규분포에서 추출한 랜덤값이고, R 은 화기에서 표적까지의 사거리이며 단위는 m이다. 이때 각 탄(number of rounds/burst)에 대하여 탄도오차를 적용한 피탄위치를 산출한다.

5. 살상확률 산출

1) 모의사격실험 결과 수집

모의사격실험의 결과로 수집할 내용은 각 모의사격에서 산출된 각 탄(round)의 피탄위치에 대하여 명중여부(hit or no hit)와 피해수준이다. 이때 명중(hit)의 기준은 피해수준 범위를 설정한 셀(cell)에 피탄 될 경우에 해당된다. 피해수준이 설정된 범위 외부로 탄착 되었다면 불명중(no hit)으로 결정한다. 그리고 피해수준은 피탄위치에 해당하는 셀에 설정된 피해수준으로 결정된다.

2) 피해수준 결정

피해수준 결정은 1회의 모의사격에서 발사의 결과로 피해수준을 결정한다. 이때 발사가 1회보다 많거나 또는 탄(파편)도 1발보다 많은 경우에는 각 탄(파편)의 피해수준을 종합하여 가장 높은 수준의 피해를 해당 모의사격에 대한 피해수준으로 결정한다.

예를 들어 특정 직사화기가 1회 사격 시 발사가 3회 실시되고 발사된 탄이 3발의 탄으로 분리되어 표적에 피탄 될 경우 [표 3-2]와 같이 각 탄에 대해 다양한 형태의 피해수준이 나타날 수 있다.

[표 3-2] 모의사격 피해수준 결정 예

사격수	발사수	탄수	탄별 피해수준	피해수준 종합	피해수준 결정
1회	발사 1	탄 1	이동불가	이동불가	이동사격 불가
		탄 2	이동불가		
		탄 3	사격불가	사격불가	
	발사 2	탄 4	사격불가		
		탄 5	이동불가	이동불가	
		탄 6	이동불가		
	발사 3	탄 7	불명중	불명중	
		탄 8	불명중		
		탄 9	불명중		

각 탄/파편의 피해수준을 종합하여 가장 높은 수준의 피해를 해당 모의사격에 대한 피해수준으로 결정하므로 최종적으로 1회의 모의사격에서 표적의 피해수준은 이동사격불가로 결정된다. 만약 9발의 탄 중 하나라도 완파가 있었다면 피해수준 결정은 완파가 될 것이다. 3회의 발사에 대한 9발의 탄이 모두 불명중일 경우 피해수준은 불명중으로 결정된다.

3) 살상확률 산출

모든 모의사격실험이 종료된 후 모든 사격에 대하여 피해수준이 결정된 결과로 살상확률을 산출한다. 이때 살상확률은 명중 시 살상확률이므로 사격 결과 중 명중한 탄(hit)을 모집합으로 하여 피해수준 별 살상확률을 산출한다. 표적에 명중할 경우 5가지 피해수준(이동불가, 사격불가, 이동사격불가, 완파, 피해없음)으로 결정되고, 각 피해수준이 나올 확률의 합은 1이 된다.

직사화기 살상확률 산출방안의 살상확률이란 전체 명중한 사격에서 각 피해수준이 나올 확률이다. 따라서 피해수준 별 살상확률은 다음과 같은 식으로 산출한다.

$$\text{특정 피해수준 살상확률} = \frac{\text{특정 피해수준 횟수}}{\text{전체 사격횟수} - \text{불명중 횟수}}$$

아래의 [표 3-3]은 살상확률을 산출하는 위의 식으로 2000회의 사격에 대하여 피해수준별 살상확률을 산출하는 예이다.

[표 3-3] 모의사격 살상확률 산출 예

사격수	이동불가	사격불가	이동사격불가	완파	피해없음	불명중
1				O		
2						O
3			O			
~	~	~	~	~	~	~
1999					O	
2000	O					
합계	A	B	C	D	E	F
PK/h	$\frac{A}{(2000-F)}$	$\frac{B}{(2000-F)}$	$\frac{C}{(2000-F)}$	$\frac{D}{(2000-F)}$	$\frac{E}{(2000-F)}$	

위의 [표 3-3]에서 PK/h은 위의 특정피해수준살상확률을 산출하는 식으로서 직사화기 살상확률 산출방안에서 산출하고자 하는 각 피해수준 별 살상확률이다. 즉 2000회의 사격을 실시하여 명중하지 않은 사격을 제외하고 명중한 경우에 발생한 피해수준 별 살상확률을 산출한 것이다.

이때 피해수준 별 살상확률은 상호배반적으로 나타나므로 각 살상확률의 합은 1이 되어야 한다. 위의 표에서 불명중 F를 포함하여 2000회의 모의사격을 수행했으므로

$$A + B + C + D + E + F = 2000$$

$$A + B + C + D + E = 2000 - F$$

이다. 그리고 각 피해수준 별 PK/h의 합은

$$\frac{A+B+C+D+E}{2000-F} = \frac{2000-F}{2000-F} = 1$$

이 된다. 즉, 각 피해수준별 합은 1이 된다.

6. 입력데이터 변환

대부분의 워게임 모델에서 피해수준에 대한 입력데이터는 이동불가, 사격불가, 이동사격불가, 완파의 4가지 형태로 입력하므로 직사화기 살상확률 산출방안으로 산출한 살상확률을 변환 없이 입력데이터로 사용할 수 있다. 이때에는 입력데이터 변환 절차는 수행하지 않아도 된다.

그러나 지상무기효과분석모델(Army effectiveness Analysis Model, AWAM)이나 JANUS³⁰⁾ 모델과 같은 일부 모델에서는 살상확률에 관련한 입력데이터는 피해수준이 아닌 MOB, FRP, M/, KK의 4가지 형태의 살상유형(kill type)으로 입력한다. 그리고 모의실험 중에 이를 직접사격 피해평가 모의 시 피해수준으로 변환하여 사용한다.

4가지 살상유형에 대한 의미를 피해수준으로 표현하면 아래 [표 3-4]와 같다.

[표 3-4] 살상유형 대 피해수준 관계

살상유형 피해수준	MOB	FRP	M/	KK
M-Kill	O		O	
F-Kill		O	O	
MF-Kill	O	O	O	
K-Kill	O	O	O	O

30) JANUS: 美 로렌스 리버모어 국립연구소에서 개발한 소부대 지상군 교전모델로서, 소부대 작전계획 분석, 무기체계 효과분석과 소부대 지휘관 및 참모훈련에 사용된다.

즉, MOB는 이동불가할 확률이지만 단지 이동불가(M-kill only)뿐만 아니라 이동사격불가(M-kill & F-Kill)와 완파(K-Kill)의 경우에도 이동이 불가능한 경우를 포함하는 확률이다. FRP도 사격이 불가능한 상황에 대한 확률을 의미한다. M/는 완파를 포함하여 어떠한 피해(M-Kill or F-Kill or K-Kill)라도 발생할 경우를 의미한다. KK는 K-Kill과 동일하게 완파(catastrophic kill)이다.

한편 지상무기효과분석모델과 JANUS에서는 직접사격 피해평가 모의 시 입력데이터인 살상유형(kill type)을 다음과 같이 피해수준(level of kill)으로 변환하여 사용한다.

$$M-Kill = M/ - FRP$$

$$F-Kill = M/ - MOB$$

$$MF-Kill = MOB + FRP - M/ - KK$$

$$K-Kill = KK$$

위의 식을 바탕으로 직사화기 살상확률 산출방안에서 산출된 피해수준별 살상확률을 모델의 입력데이터 형태인 살상유형으로 변환하는 식은 아래와 같다.

$$MOB = M-Kill + MF-Kill + KK$$

$$FRP = F-Kill + MF-Kill + KK$$

$$M/ = M-Kill + F-Kill + MF-Kill + KK$$

$$KK = K-Kill$$

제 4 장 직사화기 살상확률 산출방안 적용

제 1 절 산출도구 구현 소프트웨어

본 논문에서는 지대지 직사화기 살상확률 산출방안에 대한 실험도구 구현을 위해 확률함수 지원, 수학적 계산의 정확성과 동시에 개발의 편의성, 모델링 요구사항에 따른 적합성, 결과 분석을 위한 그래픽 도구 지원, 프로그래밍을 위한 개발환경 지원 여부를 고려하여 매트랩(MATLAB)을 도구구현 소프트웨어로 선택하여 활용하였다. 그리고 MATLAB에서 피해수준 범위설정 데이터와 모의실험 파라미터 데이터의 import를 위해 Microsoft社의 Excel을 사용하였다. Excel은 Word나 Power Point와 함께 MS Office군에 포함되는 프로그램으로서 데이터의 입력과 가공 그리고 데이터에 대한 그래픽 표현이 용이하여 import 프로그램으로 활용하였다. 직사화기 살상확률 산출도구에서 import 하는 Excel 파일에는 피해수준 범위설정과 파라미터 입력을 위한 부분과 입력된 파라미터에 대해 일부 값을 자동으로 계산하고 그래픽으로 검증할 수 있다.

1. MATLAB 개요

MATLAB은 Matrix Laboratory의 약자로서 이름 그대로 단순행렬 연산을 위한 프로그램이다. 그리고 MATLAB은 MatheWorks社에 의해 발표되었으며 행렬 연산뿐만 아니라 행렬연산을 기초로 한 과학계산을 위한 하나의 프로그래밍 언어와 데이터를 그래픽하게 처리하기 위한 후처리기와 GUI 및 기타 애플리케이션 등으로 사용하고 있다. 그러나 MATLAB의 기능은 행렬연산을 기초로 하여 수행되기 때문에 MATLAB을 유용하게 사용하기 위해서는 먼저 행렬에 대하여 이해를 하고 있어야 한다.

MATLAB은 초기에 Fortran 그리고 C언어에서 현재 C++과 JAVA 언어를 사용하여 개발되고 있다. DOS나 윈도우뿐만 아니라 유닉스(Unix)와 매킨토시(Macintosh) 버전으로도 개발되어 여러 종류의 운영체제에서 사용할

수 있다.

MATLAB과 비슷한 프로그래밍 중에는 매스매티카(Mathematica)³¹⁾나 메이플(Maple)³²⁾과 같은 수치 계산용 패키지와 오리진(Origin)³³⁾과 같은 데이터 Visualization 전용 프로그램 등 있지만 매스매티카나 메이플 등은 심볼로 이루어진 수식을 계산하는데 효과적인 기호계산 전용 프로그램이고 오리진과 같은 프로그램은 데이터를 후처리 하는 기능은 뛰어난 반면 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transformation, FFT)³⁴⁾과 같은 몇 가지 함수는 제공하지만 프로그래밍 기능은 제공하지 못한다. 그러나 MATLAB은 하나만으로 다른 여러 프로그램이 가지고 있는 기능을 수행할 수 있다.

더욱이 MATLAB은 m파일을 분야별로 모아 놓은 툴박스(Toolbox)를 제공하여 해당 분야에서 MATLAB을 강력하고 쉽게 사용할 수 있도록 해준다.

2. 실험도구 구현

실험도구의 구성은 직사화기 살상확률 산출방안에 대한 알고리즘이 구현되어 있는 m파일 하나와 해당 파일에서 사용되는 파라미터 파일을 입력하는 excel파일 하나로 되어있다. 즉, 3장에서 제시한 직사화기 살상확률 산출방안의 피해수준 범위설정과 모의실험 파라미터 입력은 excel파일로 수행하고, 모의사격실험과 살상확률 산출은 m파일에서 수행한다.

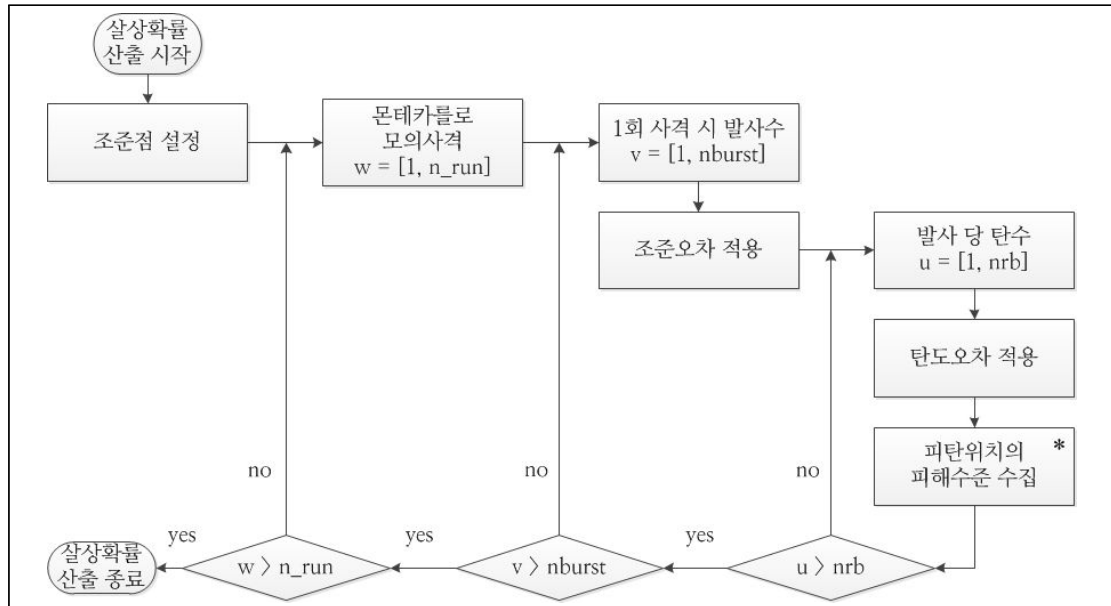
직사화기 살상확률 산출방안에서 핵심이 되는 모의사격실험은 excel파일에 입력한 모의사격실험 횟수, 1회 사격 시 발사수, 발사 당 탄수, 조준/탄도 오차 등의 파라미터에 정의된 입력데이터를 기초로 실험을 수행하며 이에 대한 순서도는 <그림 4-1>과 같다. 그리고 모의사격실험 피탄위치의 피해수준 수집(*표시)에서 모든 피해수준을 기록하도록 구현하였다.

31) 매스매티카: 과학, 공학 등에서 널리 사용하는 계산용 소프트웨어

32) 메이플: 전통적인 수학 표기법을 사용하는 수학 및 과학계산 프로그램

33) 오리진: 데이터 분석 그래프 작성 소프트웨어

34) 고속 푸리에 변환: 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform, DFT)과 그 역변환을 빠르게 수행 하는 효율적인 알고리즘



<그림 4-1> 직사화기 살상확률 산출방안 모의사격실험 알고리즘

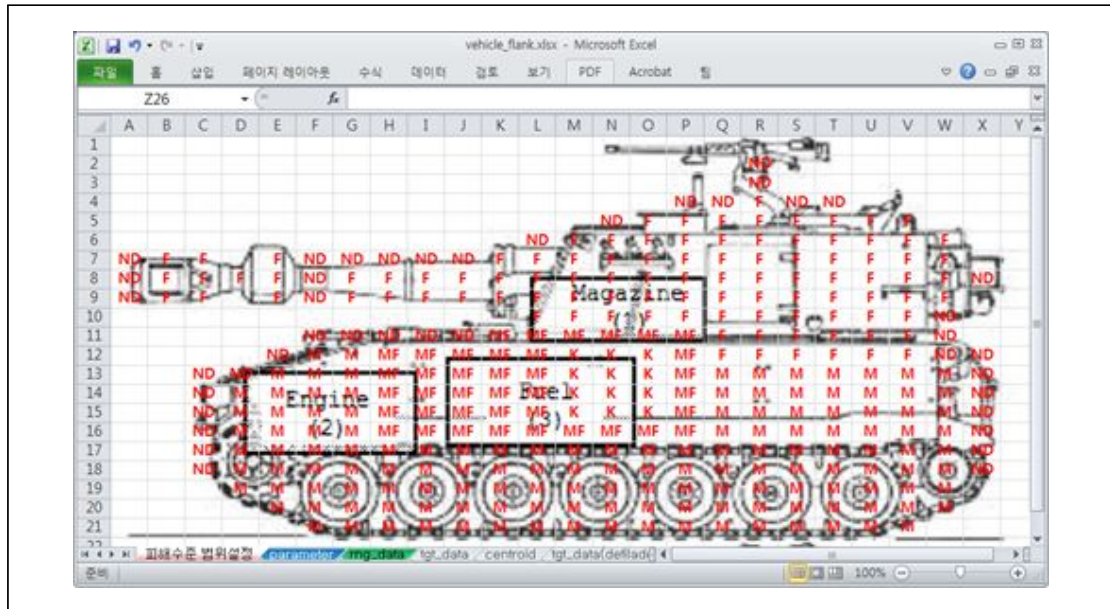
제 2 절 모의 준비

실험의 목적은 본 논문에서 제시한 직사화기의 살상확률 산출방안을 적용하여 MATLAB으로 산출도구를 개발하고, 개발한 산출도구로 살상확률을 산출하여 본 논문에서 제안하는 지대지 직사화기 살상확률 산출방안에 대한 개념이해와 차후 살상확률 산출 연구에 대한 도움을 주는데 있다.

1. 실험용 시나리오 정의

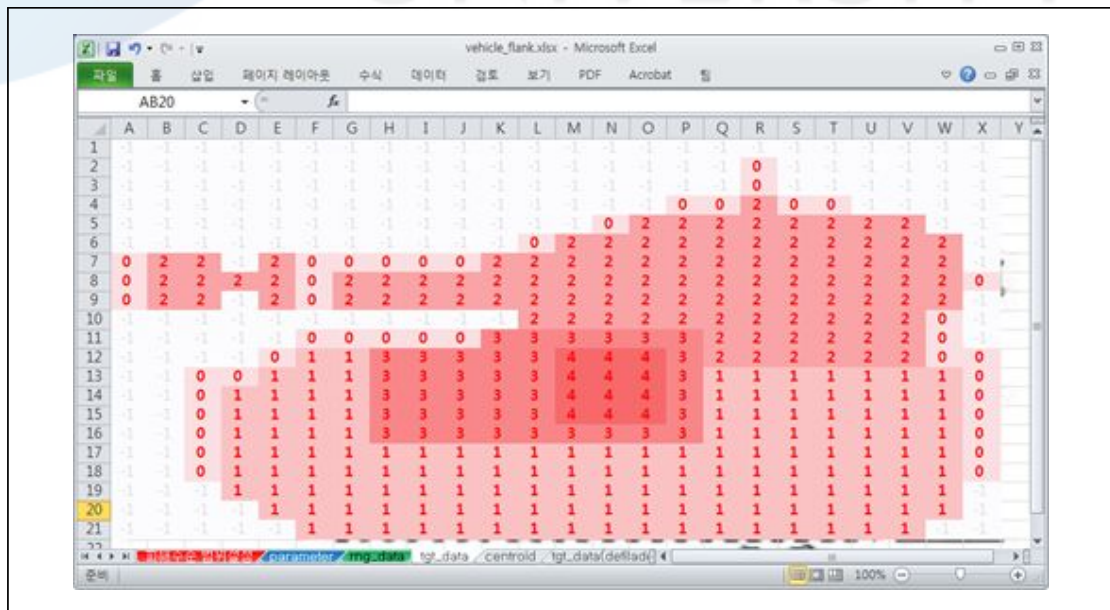
모의사격실험은 가상의 대전차화기로 표적인 전차를 사격하여 직사화기 살상확률 산출방안의 절차를 따라 살상확률을 산출하는 것이다. 이때 표적인 전차는 공격에 대하여 응사(return fire)하지 않는 수동적인 상태로 간주한다.

실험의 시작은 직사화기 살상확률 산출방안의 첫 번째 절차인 피해수준 범위설정 절차이다. 피해수준 범위설정은 excel파일에서 <그림 4-2>와 같이 입력하였다. 그림에서 M, F, MF, K, ND는 피해수준을 의미하는 문자로서 M은 이동불가, F는 사격불가, MF는 이동사격불가, K는 완파, ND는 피해없음을 의미한다. 이때 각 피해수준 문자는 각 셀에 한 종류만 입력한다.



<그림 4-2> 피해수준 범위설정

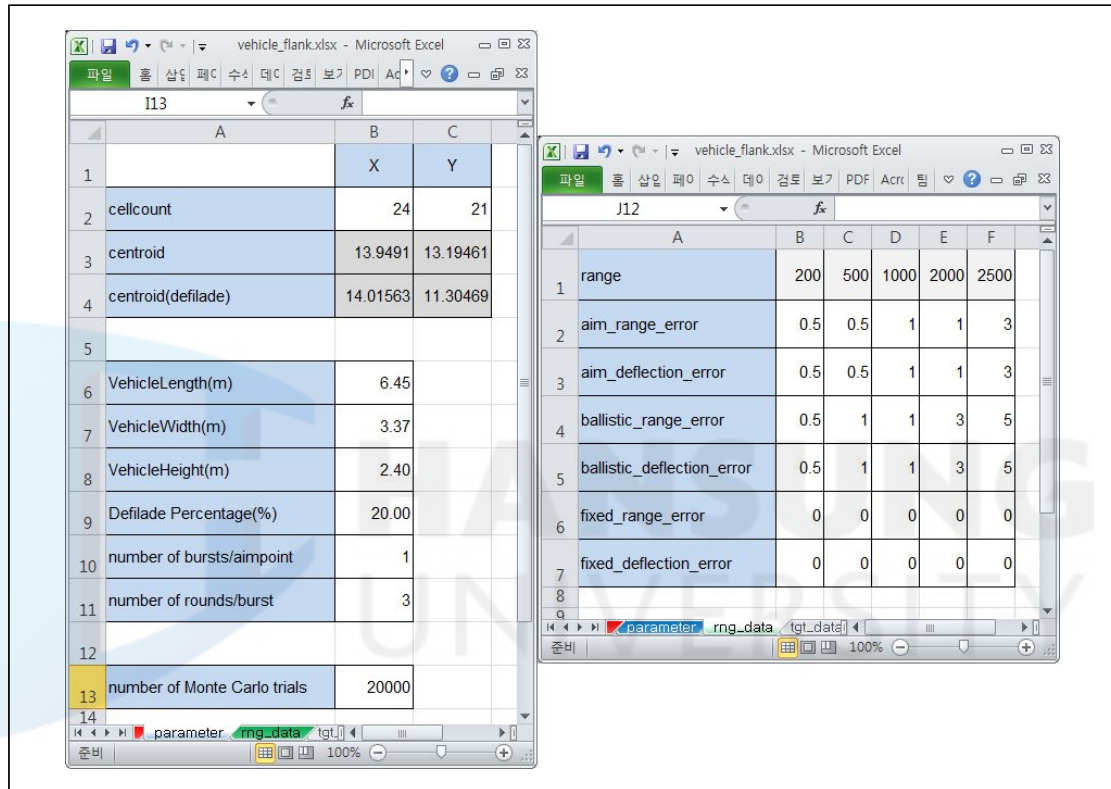
이와 같이 입력된 피해수준 범위설정은 <그림 4-3>과 같이 등고선의 형태의 그래픽으로 표현하여 대략적으로 검증할 수 있다. 그림에서 피해수준에 따른 색의 농도와 함께 숫자 -1, 0, 1, 2, 3, 4도 함께 표시 되는데, 이는 순서대로 불명중, 피해없음, 이동불가, 사격불가, 이동사격불가, 완파의 피해수준을 나타내며 색과 함께 작성된 피해수준을 확인할 수 있다.



<그림 4-3> 피해수준 범위설정 그래픽 검증

2. 파라미터 입력

직사화기 살상확률 산출방안의 다음절차인 모의실험 파라미터 입력도 excel파일에서 <그림 4-4>와 같이 입력한다. excel파일에서는 조준점의 중심(centroid)을 자동으로 계산해 준다. 이때 조준점의 단위는 미터(m)이며 전차의 좌하단을 원점으로 하여 원점으로부터 떨어진 거리를 의미한다.



<그림 4-4> excel파일의 모의실험 파라미터 입력화면

excel의 입력화면을 캡처한 위의 그림을 [표 4-1]과 [표 4-2]로 옮겨놓았다. [표 4-1]에 파라미터의 값에 대하여 하나씩 설명하면 다음과 같다. 아래 표에서는 표적의 차폐수준이 20%로 작성되었으나 차폐상태는 노출이므로 모의사격 알고리즘에서 차폐수준은 0%로 모의한다. 또한 표적의 크기는 길이/폭/높이에 대해 입력하였으나 전차의 측면에 대해서만 실험하므로 폭은 모의사격 알고리즘에는 길이와 높이만 적용한다. 그리고 화기의 특성인 1회 사격 시 발사수와 발사 당 탄수는 각각 1과 3으로

설정하였다. 즉, 1회 사격 시 탄은 1발이 발사되고 비파 중 3개의 탄으로 분리되어 표적에 도달하는 것으로 가정한다. 표적은 3개의 탄에 대하여 피해수준을 결정하게 된다. 모의사격실험 횟수는 몬테카를로 실험횟수로서 20000회 수행하는 것으로 설정하였다.

[표 4-1] 직사화기 특성, 표적 특성, 몬테카를로 실험 횟수

파라미터 명	단위	값	파라미터 명	단위	값
표적차폐상태	N/A	노출	표적높이	meter	2.40
차폐수준	%	20	1회 사격시 발사수	회	1
표적길이	meter	6.45	발사 당 탄수	발	3
표적폭	meter	3.37	모의사격실험 횟수	회	20,000

그리고 위의 파라미터 값으로 아래 [표 4-2]에서와 같이 200m, 500m, 1000m, 2000m, 5000m의 5가지 사거리에 대해 모의사격을 실험한다. 아래 표는 사거리 관련 데이터인 사거리 별 오차이다.

[표 4-2] 사거리 별 오차 파라미터

파라미터 명	단위	최소사거리	사거리1	사거리2	사거리3	최대사거리
사거리범위	m	200	500	1,000	2,000	2,500
조준 편의 오차	mil	0.5	0.5	1	1	3
조준 사거리 오차	mil	0.5	0.5	1	1	3
탄도 편의 오차	mil	0.5	1	1	3	5
탄도 사거리 오차	mil	0.5	1	1	3	5
고정 편의 오차	mil	0	0	0	0	0
고정 사거리 오차	mil	0	0	0	0	0

제 3 절 실험결과분석 및 활용

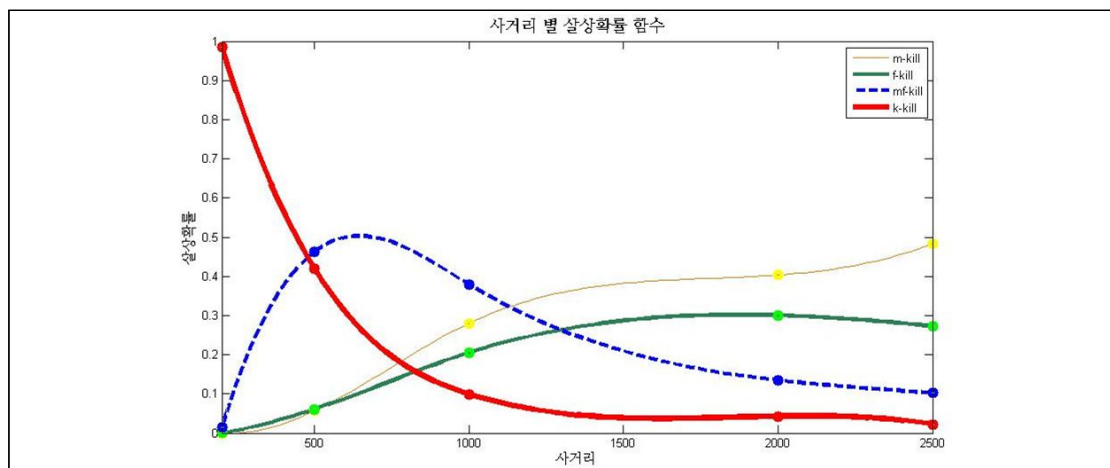
1. 결과분석

본 논문에서 제안한 직사화기 살상확률 산출방안을 사용하여 산출한 살상확률은 [표 4-3]과 같다. 표의 하단의 hit/run은 실험횟수 20000회 중 전차에 명중한 횟수이다. 내용을 보면 사거리 200m인 경우에는 명중확률(PH)이 100%였으나 사거리 1000m에서 명중확률이 80%로 약간 감소되었다. 그러나 사거리 2000m에서는 명중확률이 급격히 감소되어 11%가 되었다.

[표 4-3] 사거리별 살상확률

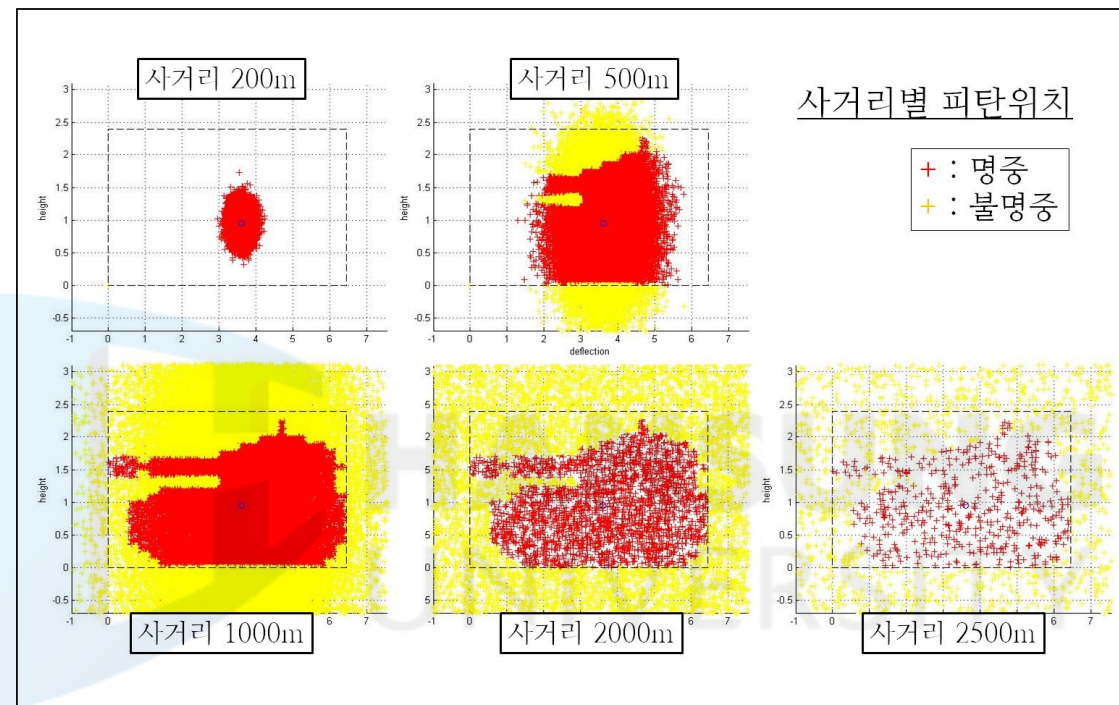
Range	200m	500m	1000m	2000m	2500m
M-Kill	0.00000	0.05658	0.28019	0.40352	0.48337
F-Kill	0.00060	0.06054	0.20454	0.30039	0.27273
MF-Kill	0.01440	0.46249	0.37875	0.13451	0.10200
K-Kill	0.98500	0.41944	0.09931	0.04297	0.02217
hit/run	20000/20000	19955/20000	16021/20000	2327/20000	451/20000
PH	1.00000	0.99750	0.80105	0.11635	0.02255

위의 그리고 위의 [표 4-3]의 사거리 별 살상확률을 그래프로 나타내면 아래 <그림 4-5>와 같다.



<그림 4-5> 사거리 별 살상확률 곡선

아래 <그림 4-16>은 모의사격 결과인 전차의 피탄위치를 MATLAB에서 제공하는 그래픽함수로 구현한 화면이다. 아래 그림은 5개의 사거리에 대하여 20000회 사격에 대한 전차 표적에 명중한 탄과 불명중한 탄을 나타낸다. 하나의 명중/불명중 표시(+)는 하나의 탄에 대한 피탄위치이며, 본 실험에서는 1회 사격 당 3개의 명중/불명중 표시가 전시된다. 이때 명중의 경우 붉은색으로 불명중의 경우 노란색으로 화면에 전시된다.



<그림 4-6> 사거리 별 피탄위치

위의 <그림 4-6>에서 사거리가 200m일 경우 [표 4-3]의 데이터와 같이 모든 탄이 명중하고 있다. 점차적으로 사거리가 멀어질수록 불명중 탄이 증가하고 있으며, 사거리 2000m에서는 화면에서 표시되는 구역도 벗어나 전차의 내부뿐만 아니라 외부에서도 표시되지 않은 곳이 나타나고 있다. 사거리 2500m에서는 명중하는 탄이 매우 줄어들었음을 알 수 있다.

2. 살상확률 데이터 활용 예

직사화기 살상확률 산출방안의 개념이해를 돕기 위해 위에서 산출한 살상확률 데이터를 활용하여 가상의 화기의 적절한 유효사거리 결정에 활용하였다. 유효사거리³⁵⁾는 탄이 도달하여 적에게 적어도 피해를 기대하는 거리로서, 평균 50%의 확률로 표적을 명중시킬 수 있는 거리이다.

유효사거리를 산출은 다음과 같은 순서로 수행한다. 우선 직접사격 피해평가 모의논리를 활용하여 살상확률을 반영하여 가상의 화기로 표적 전차의 피해평가 모의를 수행한다. 이때 해당 피해평가 모의를 몬테카를로 시뮬레이션 방법으로 아주 많이 수행한다. 다음으로 해당 피해평가 모의를 사거리 별로 수행하여 최적의 사거리를 결정한다.

직접사격 피해평가 알고리즘은 교전급 분석모델인 지상무기효과분석모델을 사용하였고, 실험을 위해 모델의 직접사격 피해평가 알고리즘에서 피해평가 부분만 논리를 추출하여 excel로 구현하였다.

아래 [표 4-4]는 위의 [표 4-3]의 사거리별 살상확률 데이터를 직접사격 피해평가 알고리즘으로 모의하여 산출된 결과이다. 피해평가는 몬테카를로 시뮬레이션 방법으로 사거리별로 20000회 수행하였으며, 산출된 피해수준 별 나타난 빈도이다. 그리고 아래 표의 Hit-No damage는 명중하였으나 피해가 없는 경우이며, miss는 명중하지 않은 경우이다.

[표 4-4] 사거리별 피해수준 발생빈도

range	200m	500m	1000m	2000m	2500m
M-Kill	0	5	1944	2433	632
F-Kill	0	27	2942	1977	373
MF-Kill	0	3875	10561	895	150
K-Kill	20000	16093	4122	280	30
Hit-No damage	0	0	264	702	155
miss	0	0	167	13713	18660

35) 『국방과학기술용어사전』, 2011, 국방기술품질원

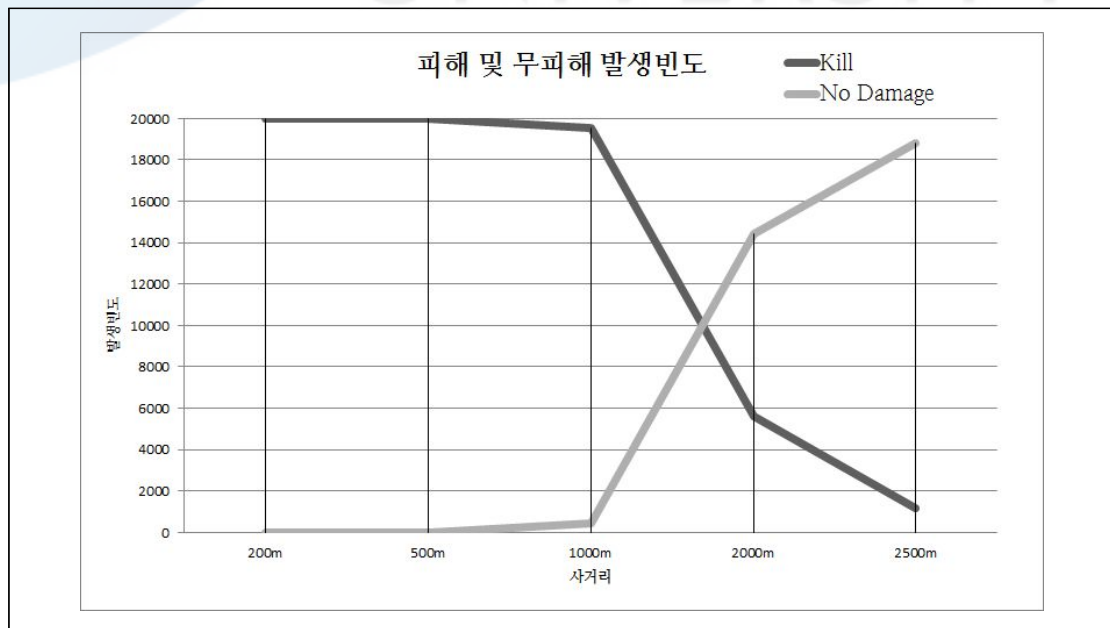
위의 [표 4-4]에서 사거리 200m인 경우 K-Kill이 가장 많이 발생하며 사거리가 늘어감에 따라 하향곡선을 그리고 있다. 이때 사거리 1000m에서는 급격히 감소된 것을 확인할 수 있다. 그리고 사거리 1000m에서 K-Kill이 줄어든 반면 M-Kill, F-Kill, MF-Kill은 증가되었다. 그러나 사거리 1000m에서는 증가했던 M-Kill, F-Kill, MF-Kill도 사거리 2000m에서는 K-Kill과 함께 모두 게 감소하였으며, 대신 miss가 매우 증가하였다.

위의 [표 4-4]를 피해가 발생한 피해범주(M-Kill / F-Kill / MF-Kill / K-Kill)와 피해가 발생하지 않은 무피해범주(Hit-No damage / miss)를 각각 더하면 아래 [표 4-5]와 같다.

[표 4-5] 사거리별 피해범주 및 무피해범주

range	200m	500m	1000m	2000m	2500m
Kill	20000	20000	19569	5585	1185
No Damage	0	0	431	14415	18815

그리고 위의 표를 그래프로 나타내면 아래 <그림 4-16>과 같다.



<그림 4-7> 사거리 별 피해 및 무피해 발생빈도

<그림 4-16>에서 확인할 수 있듯이 피해가 발생하는 빈도의 감소율이 사거리 500~1000m에서는 거의 없지만 사거리 1000~2000m에서 매우 크게 나타난다. 그리고 사거리 1600~1700m에서 무피해의 증가율과 교차한다. 따라서 50%의 명중확률을 기대하는 가상화기의 유효사거리는 대략 1600m 내외로 설정할 수 있다.



제 5 장 결 론

본 논문에서는 교전급 모델의 직접사격 피해평가 논리의 핵심 입력데이터인 직사화기 살상확률 산출을 위해 선진국의 무기효과도 산출절차와 주요도구를 분석하여 직사화기 살상확률을 산출할 수 있는 방법을 정립하였으며, 상용 수학 소프트웨어를 이용하여 직사화기 살상확률의 산출도구를 구현하였다.

본 논문에서 제안하는 직사화기 살상확률 산출방안은 교전급 모델에서 직접사격 피해평가를 위한 전투개체의 살상확률 입력데이터를 산출할 수 있으며, 특히 살상확률을 확보하지 못한 표적 무기체계나 미래화기에 대한 살상확률을 과학적으로 산출할 수 있다.

직사화기 살상확률 산출방안 및 산출도구의 구현은 선진국의 무기효과도 산출절차의 이해와 해당 절차 사용되는 주요도구인 BRL-CAD, COVART, PVTM의 개념 및 내부 알고리즘에 대한 분석을 통하여 구현에 요구되는 데이터와 알고리즘을 명확하게 하였다.

산출도구 구현은 확률함수 지원, 수학적 계산의 정확성과 동시에 개발의 편의성, 모델링 요구사항에 따른 적합성, 결과 분석을 위한 그래픽 도구 지원, 프로그래밍을 위한 개발환경 지원 여부를 고려하여 MATLAB을 모델구현 소프트웨어로 선택하여 활용하였다. 구현된 도구에서 실험에 필요한 파라미터의 입력은 Excel을 활용하여 입력이 용이하고 파라미터에 대해 일부 값을 자동으로 계산하고 그래픽으로 검증할 수 있도록 편의성을 제공하였다.

그리고 직사화기 살상확률 산출도구를 이용한 살상확률 산출실험 분석을 통해서는 사거리 별로 나타난 피해수준에 대한 살상확률을 확인하고 산출한 데이터를 지상무기효과분석 모델의 직접사격 피해평가 모의논리를 활용하여 유효사거리를 결정해보았다.

본 논문의 목적은 살상확률 미확보 무기체계에 대한 살상확률을 객관적이고 과학적인 절차를 거쳐 산출할 수 있는 직사화기 살상확률 산출방법을 제안하고 이에 대한 도구를 개발하는 것이다.

우리 군은 선진국의 무기효과도 산출의 연구를 통해 대안이나 발전을 위한

정책수립에 노력하고 있지만 무기효과도 산출은 부족한 연구개발 자원, 관련된 전담기관의 부재뿐만 아니라 광범위한 절차와 복잡성 등의 이유로 신뢰할만한 무기효과도 산출은 어려운 분야이다.

결론적으로는 본 논문을 통하여 작게는 위게임을 운용하는 많은 모델 운용자들에게 무기효과도 데이터를 얻을 수 없는 무기체계에 대하여 이론적으로라도 살상확률 산출하여 위게임 운용에 도움이 되길 기대하며, 크게는 선진국으로부터 기술종속을 벗어나기 위한 다양한 시도의 일환이 되길 바란다. 우리 군의 무기효과도에 대한 발전은 탄탄한 기반연구와 필요한 분야를 순차적으로 발전시키는 것도 필요하지만, 재료공학이나 그래픽/설계분야 등 군 관련기술 분야에서 이에 대해 관심을 갖고 다양한 시각으로 접근할 때 무기효과도 분야의 기술 군사력은 비약적인 발전이 있을 것으로 생각된다.



【 참고문헌 】

1. 국내문헌

- 기품원, 『한국형 JMEM 생산방안 연구』, 국방기술품질원, 2009
- 문형곤, 『미 JMEM을 활용한 한국형 탄약효과교범 개발방향』, KIDA, 2004
- 정상윤, 『지상무기효과분석모델 입력 데이터 구축 지침서(I)』, KIDA, 2013
- 정상윤, 『지상무기효과분석모델 모의논리서』, KIDA, 2013
- 박래운, 『소부대 시뮬레이션을 위한 모의논리 연구』, KIDA, 2001
- 김탁곤, 홍정희, 『제 17차 한미 국방분석세미나 자료』, KAIST, 2014
- 기품원, 『국방과학기술 용어사전』, 국방기술품질원, 2011
- 합참, 『국방 위게임모델 목록집』, 국방부 합동참모본부, 2012
- 이장현, 김광식, 『COVART 모델 기반의 함정 취약성 설계 및 평가 방법론 개발에 관한 연구』, 인하대, 2011

2. 국외문헌

- Morris R. Driels, 『Weaponeering: Conventional weapon System Effectiveness』. AIAA education series: Virginia, 2004
- Lee A. Butler, Eric W. Edwards, and Dwayne L. Kregel, 『BRL-CAD Tutorial Series: Volume III – Principles of Effective Modeling』, Army Research Laboratory, 2003
- Nicholas D. Levine, 『Standardizing Methods for Weapons Accuracy and Effectiveness Evaluation』, Naval Postgraduate School, 2014
- 『Developing unclassified hit and kill probabilities for JCATS』, Survivability/Vulnerability Information Analysis Center, 2008

3. 인터넷 사이트

<http://www.nanet.go.kr>, 국회도서관

<http://www.riss.kr>, 한국교육학술정보원 학술연구정보서비스

<http://kiss.kstudy.com>, 한국학술정보(주) 학술정보서비스

<http://www.amsaa.army.mil>, US Army Materiel Systems Analysis Activity



ABSTRACT

A study of Generation Method of Probability of Kill for surface to surface direct fire system —especially by engagement level model—

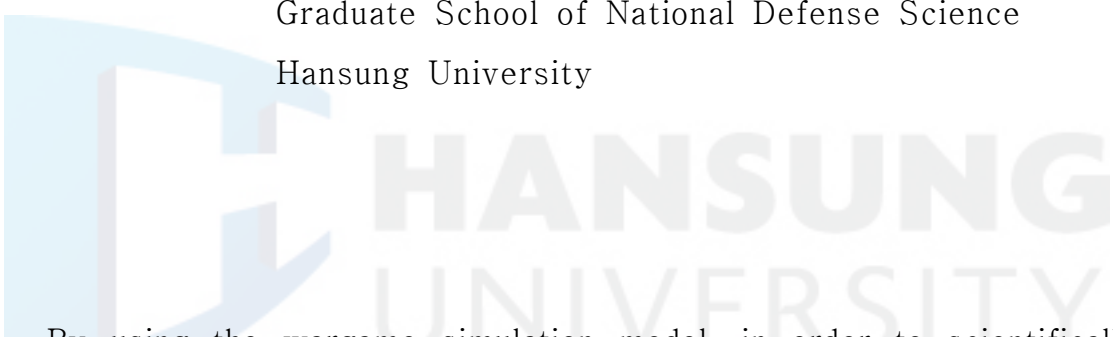
Min, Hongki

Major in National Defense Modeling & Simulation

Dept. of National Defense Modeling & Simulation

Graduate School of National Defense Science

Hansung University



By using the wargame simulation model, in order to scientifically analyze the engagement result, you must be professionally model operation who are familiar with the strategy operation and to understand the modeling logic is to operate the model. At the same time, must also be constructed of model parameter data. Parameter data of wargame simulation model is Weapon Effectiveness Data occupies the most important part. Therefore, in order to obtain the analysis result of reliable models, high model intelligibility of operational personnel model is required. In addition, parameter data of Weapon Effectiveness Data models, along with the scientific basis, accurate verification and reliability is also required.

In this paper, in order to generate the Direct Fire System PK

(Probability of Kill), by analyzing the main tools and Weapon Effectiveness Data Generation Steps in developed countries, and established a method which can generate the Direct Fire System PK. Then, using the MATLAB, the implementation of the Direct Fire System PK Generation tool.

Generation Method of PK for Direct Fire System that we propose in this paper, can be used to generate the PK parameter data of combat entity for direct fire damage assessment in the engagement level model. In particular it is possible to generate the PK of target system and future weapon system can not be ensured PK scientifically.

Generation Method of PK and Generation tool implementation of the Direct Fire System is as follows. First, I understand of Weapon Effectiveness Data Generation Steps of developed countries. Next Generation Steps primary tool (BRL-CAD, COVART, PVTM) is the analysis of concepts and internal algorithm. Finally, I have to clarify the data and algorithms required for implementation.

PK Generation tool, were selected in consideration of the following requirements. First, it supports the probability function, must be accurate mathematical calculations. Then, it must be high for convenience of development, there is a need to support the development environment for programming. Finally, it is necessary to meet the modeling requirements, it is necessary to support a graphical tool for analyzing the results. Eventually I chose the MATLAB model implementation software. Input parameters required by the implemented experimental tool utilizing Excel Program. Excel Program is, several values automatically to calculate the parameters, providing the convenience of being able to verify graphically.

In PK Generation experiment analysis utilizing PK Generation tool, I got the following results. I was able to confirm the PK of level of kill, depending on the range, the generated datas by utilizing the direct fire

damage assessment simulated logic of AWAM(Army Weapon Effectiveness Model), it was decided to Effective range.

【Keyword】 Direct Fire System, Probability of Kill, BRL-CAD, COVART, PVTM, Weaponeering

