



Received: 2023/04/27
Revised: 2023/05/12
Accepted: 2023/06/03
Published: 2023/06/30

***Corresponding Author:**

JeongHoon Kim

ROK Marine Corps HQ
601-10 P.O.Box , 1311, Sicheong-ro, Bongdam-eup,
Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18334, Republic of Korea
Tel: +82-31-8012-2760
E-mail: jkim0220022@naver.com

곡사화기 해상 피해효과 분석을 위한 임무급 모델의 모의 기능 개발

A Simulation Function Development of the Mission Level Model to Analyze an Maritime Damage Effectiveness of the Howitzer

김정훈^{1*}, 김희수², 권영희³, 손기정⁴, 이두형⁵, 조은영⁶

¹해병대사령부 4급 군무원

²해병대사령부 중령

³해병대사령부 소령

⁴해병대사령부 대령

⁵㈜심네트2 책임연구원

⁶㈜휴먼C&C 책임연구원

JeongHoon Kim^{1*}, HuiSu Kim², YeongHwi Kwon³, GiJeong Son⁴, DuHyeong Lee⁵, EunYeong Cho⁶

¹4th grade military official, ROK Marine Corps HQ

²LTC, ROK Marine Corps HQ

³MAJ, ROK Marine Corps HQ

⁴COL, ROK Marine Corps HQ

⁵Senior researcher, Simnet Co., Ltd.

⁶Senior researcher, Human C&C Co., Ltd.

1. 서론

현재의 분석용 임무급(mission level) 모델은 추상화(abstraction) 수준에 의해 무기체계 단위가 아닌 전투체계, 즉 무기체계를 운용하는 부대 단위로 모의된다. 그러나 임무급 모델의 운용 목적상 화력계획에 대한 효과분석을 수행할 수 있는데 현재의 부대 단위 모의로는 상세한 분석이 제한된다. 특히 해병대 작전에 특화된 해상에 대한 곡사화기 사격 모의 및 분석은 불가능한 상태이다.

해병대 작전계획 분석모델(MOPAM, Marine Operations Plan Analysis Model)은 상륙작전, 해안·강안 작전을 모의할 수 있는 임무급 모델로 공기부양정, 상륙장갑차와 같은 해상 이동장비는 제한적으로 무기체계 단위로 모의된다. 그러나 무기체계 단위의 해상 장비 또는 표적에 대한 해상 곡사화기 사격 모의는 부대 단위로 수행되고 있어 1발 단위 낙탄 분포에 따른 효과분석이 불가능하다. 이에 따라 기존

Abstract

임무급 모델은 추상화 수준에 의해 부대 단위로 모의된다. 그러나 화력계획 효과분석 시 상세한 분석이 제한되며, 특히 해병대 작전계획 분석모델(MOPAM)에서 해상 곡사화기 사격시 단발 낙탄 분포에 따른 효과분석이 불가능하다. 이에 따라 임무급 모델에서도 곡사화기 단발 사격을 모의할 수 있는 기능 개발이 요구되었다. 이에 본 연구는 국방M&S체계인 MOPAM의 단발 사격 기능개발에 대하여 기술하였으며 단발살상반경과 확률 이론을 적용하였다. 개발한 기능으로 해상 곡사화기 사격방법에 따른 효과를 분석한 사례 연구를 제시하고, 이를 통한 활용 방안을 간략히 제안하였다.

The mission-level model for analysis has been simulated by the ground troop level. However, an effectiveness analysis on the artillery fire plan cannot be performed in detail. In particular, in the marine operation plan analysis model(MOPAM), it is impossible to analyze the single shot effect of the maritime artillery fire. Thus, the single shot function had been needed in the mission-level model. Therefore, this study describes the development of the single shot function of the model. This function is simulated by applying the lethal radius of the single shot and the probability theory. We present a case study that analyzed the effect of the maritime artillery fire with the developed function, and briefly propose utilization plans from the case study.

Keywords

모델링 시뮬레이션(M&S), 해상 피해 효과(Maritime Damage Effectiveness), 공산오차(Error Probability), 확률분포(Probability Distribution), 임무급 모델(Mission Level Model)

Acknowledgement

이 논문은 2022년도 한국해군과학기술학회 동계학술대회 발표 논문임.

모델보다 더욱 상세화된 모의가 필요하여 임무급 모델에서도 1발의 낙탄기능을 구현하여 해상 화력계획 효과를 분석할 수 있는 모의기능 개발이 요구되었다.

따라서 본 연구에서는 국방M&S(modeling and simulation) 개념 및 시물레이션 방법, 국방M&S 체계인 MOPAM, 활용 분야에 대해 소개하고 1발의 살상반경 산출에 대한 관련 연구에 대하여 기술한다. 그리고 부대 단위로 추상화되어 모의되는 해상 곡사화기 사격기능을 더욱 상세화하거나 또는 해상도(resolution)를 높인 기능 개발에 대해 기술한다. 이 기능은 1발 단위로 부여된 살상반경을 적용하고 확률이론에 근거한 수학적 모형에 따라 모의된다. 또한 개발한 기능으로 해상 곡사화기 사격방법에 따른 효과를 분석한 사례 연구를 제시하면서 이를 통해 도출된 결과로부터 개발한 기능의 활용 방안들을 간략히 제안한다.

2. 국방M&S 개념 및 시물레이션 방법

M&S는 사회, 경제, 문화 등 거의 모든 분야에서 그 분야의 실제(real) 시스템(system)의 구조와 내부의 상태 변화 작동방식(state transition mechanism)을 추상화시켜 가상의(simulated) 시스템으로 구현하기 위한 이론[1]이자 수단이며 이 중 군사 분야에 특화된 것을 ‘국방M&S’라고 한다. 국방M&S는 실제 전투를 수행할 수 없는, 또한 수행해서는 안 되는 제한적이고 역설적인 한국군 상황에서 가상의 전투를 수행해볼 수 있는 최선의 도구라고 할 수 있다. 이러한 가상의 전투를 수행해볼 수 있도록 하드웨어와 소프트웨어를 갖춘 것을 ‘국방M&S 체계’라고 하며 일반적으로 ‘위게임 시뮬레이터’ 또는 ‘위게임 모델’이라고 부른다.

시물레이션 방법은 Table 1과 같이 대상 시스템의 운용자와 시스템의 특성에 따라 실기동(live), 가상(virtual), 구성(constructive) 시물레이션으로 구분[2]되며

Table 1. Defense M&S simulation method

구분	운용자 (people)	시스템	예
Live simulation	Real	Real	과학회훈련 (KCTC)
Virtual simulation	Real	Simulated	조함훈련 시뮬레이터
Constructive simulation	Simulated	Simulated	해군 청해 모델

육군 창조21, 해군 청해, 공군 창공, 해병대 천자봉 모델 등으로 불리는 시스템들은 구성 시물레이션으로 분류된다. 그리고 이 구성 시물레이션은 운용목적에 따라 훈련용, 분석용, 획득용으로 구분되며 앞서 언급한 모델들은 모두 훈련용 모델이다. 그리고 분석용으로 분류되는 모델은 해군분석모델(NORAM, naval operations resources analysis model), 그리고 본 연구에 적용된 MOPAM 등을 예로 들 수 있다.

국방M&S 체계들은 실제 대상 시스템에 대한 상세화 정도 또는 해상도[2] 수준에 따라 Fig. 1과 같이 공학급, 교전급, 임무급, 전구급으로 분류된다[3,4]. 예를 들어 해군을 대상 시스템이라 할 때 미사일과 같은 무기체계의 물리적 비행 및 폭발 정도를 미분방정식, 유체역학 등을 이용하여 모의할 수 있는 경우 이를 공학급 모델이라고 하며, 미분방정식에 의해 표현되는 미사일의 상세화 정도를 낮춘 무기체계를 탑재한 전투체계인 함정을 모의함으로써 함정 자체의 여러 기능들을 모의할 수 있다면 이는 교전급 모델이 된다.



Fig. 1. 국방M&S의 추상화 수준[5]

그리고 교전급 수준의 함정에 대한 해상도를 낮춰 여러 함정으로 구성된 전대급 이상의 임무에 대한 효과를 모의할 수 있다면 이는 임무급 모델이 되며, 육·해·공군, 해병대 모두를 모의할 수 있는 경우, 대표적인 예로 연함연습시 각 군의 모든 임무급 전투지휘훈련용 모델을 HLA(high level architecture)[6]/RTI(run-time infrastructure)[7]를 통해 연동(interoperation)함으로써 하나의 위게임 체계처럼 운용되는 KSIMS(Korea Simulation System)와 같은 체계가 전구급으로 분류될 수 있다.

3. MOPAM 활용 분야

MOPAM은 국방전력발전업무 훈령[8]상에 명시된

무기체계 중 국방M&S 체계로 분류된 것으로 2012년에 개발되어 해병대 상륙작전 효과분석, 부대구조 및 전력에 대한 작전효과 분석을 위해 운용되고 있다. 대표적인 임무급 모델이자 분석모델로서 연대급 이상의 작전계획에 대한 효과분석이 가능하고, 신규 또는 성능이 개량된 무기체계, 변화된 부대구조를 적용할 경우 이에 따라 변경되는 작전계획에 대한 효과분석 또한 가능하다.

특히 명령에 명시된 해병대의 주요 임무인 서북도서 방어 및 상륙작전시 해상에서의 교전 상황이 반드시 발생하고 이 국면이 장차 이어지는 작전에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서 육상에서 발생하는 국면으로 전환하기 전 해상에서 이루어지는 화력계획에 대한 효과분석 또한 매우 중요하다.

그러나 현재 MOPAM은 높은 해상도로 인해 해상에 대한 화력계획의 효과를 분석하는 것이 제한된다. 왜냐하면 임무급 모델의 추상화 수준에 따라 부대 단위로 표현되는 것을 개체단위, 즉 1대의 장비와 1발의 탄약을 직접 모의하는 것이 모델의 구조 및 성능상 제한적이기 때문이다. 이러한 한계에도 불구하고 해상에서의 화력계획 효과분석을 위한 별도의 분석모델이 없어 기존의 MOPAM에서 곡사화기의 해상 피해효과를 모의할 수 있는 기능을 개발하고자 하였다.

4. MOPAM 곡사화기 해상사격 기능

MOPAM에는 해병대 특성에 맞게 해상으로 이동하는 상륙장갑차 또는 공기부양정과 육상에 위치한 지상 부대들 간의 교전 상황이 빈번하게 발생하므로 이를 모의하기 위한 기능들이 구현되어 있다.

해병대 분석모델은 임무급 수준으로 실제 대상 시스템인 해병대 작전환경 및 전투수행기능이 상당히 추상화되어 있다. 예를 들어 155 mm 곡사화기를 운용하는 부대 단위가 해상으로 이동하는 표적에 대하여 사격하는 경우 여러 곡사화기가 형성하는 살상범위를 하나의 원(circle)으로 가정하여 원의 반지름인 살상반경을 추상화함으로써 표현하게 되는데, 이때 포탄의 종류별로 DB(database)에 저장된 살상반경에 대한 파라미터 테이블을 참조하는 방식(lookup table method)을 사용하게 된다.

살상반경(lethal radius)은 목표를 파괴하고 사람을 살상할 수 있는 한계점까지의 거리로 포탄 또는 미사일

이 낙탄되는 중심으로부터의 반지름을 의미한다[9]. 즉 표적이 이 살상반경 내에 들어오는 경우 100%의 확률로 파괴 또는 살상된다는 의미이다.

이 살상범위에 대한 데이터는 기본적으로 합동무기 효과편람(JMEM, joint munitions effectiveness manual)과 포병탄약 교범(field manual)에 근거하고 있다. 기본적으로 위게임 모델에는 피.아가 교전하고 전투력의 변화에 대한 결과를 정량적으로 산출해내는 피해평가 기능이 구현되어 있다. 이 피해평가는 기하분포(geometric distribution)라는 확률이론과 군사 OR(operation research)을 기초로 식 (1)[10], 식 (2)[11]와 같이 수학적 모형을 기반으로 하고 있는데 이때 수학적 모형을 구성하는 상수 중 살상반경이 있다.

$$P_k(N)_v = 1 - (1 - P_k)^{N_v(OF)} \quad (1)$$

부대 단위 사격 피해율 = $1 - 1 - 1(1 - \text{단발살상율})^{\text{부대 단위 사격 횟수} \times (\text{중복효과인수})}$

$$P_k = \frac{P_h \times A_k}{S_t} = \frac{\text{명중률} \times \text{살상면적}}{\text{표적크기}} \quad (2)$$

상수인 살상반경은 표적, 포탄 종류 등에 따라 값이 달라지기 때문에 매개변수(parameter)로서 DB에 인수(argument), 즉 특정 값으로 저장되어 있다. MOPAM에서 해상으로 이동하는 표적에 대하여 155 mm 자주포 해상 사격시 특정 부대 단위에 대한 살상반경이 적용되어 하나의 원으로 추상화되어 표현된다. 그리고 부대 단위로 모의를 하는 이유는 임무급이라는 추상화 수준과 모델의 연산 능력 또는 하드웨어 성능을 고려할 때 해상도(resolution)와 시간 복잡도(time complexity)가 높아지는 1발 단위 모의를 고려하지 않았기 때문이다.

5. 관련 연구

5.1 곡사화기 고폭탄 살상반경에 대한 연구

기존 모델의 해상 곡사화기 사격에 대한 해상도, 즉 부대 단위 사격을 1발 단위 사격으로 모의할 수 있도록 해상도를 높이기 위한 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 곡사화기 중 155 mm 자주포에 대한 포탄의 종류만 산출하였는데, 향후 다양한 곡사화기에 대한 포탄 종류별 살상반경을 산출하여 DB에 저장함으로써 위게임

모델에 활용할 수 있을 것이다. 더불어 155 mm 자주포에 사용되는 탄종인 고폭탄(HE, high explosive), 이중목적고폭탄(DP-ICM, dual-purpose improved conventional munition)에 대한 해상 살상반경 데이터를 산출하였는데, 먼저 고폭탄이 수중에서 폭발하는 경우에 대한 살상반경을 산출하였다.

$$\frac{H_{\max}}{W^{\frac{1}{3}}} = 32.4 \left(\frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.1}, \quad 0.0037 < \frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} < 0.74 \quad (3)$$

$$\frac{H_{\max}}{W^{\frac{1}{3}}} = 21.7 \left(\frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} \right)^{-1.24}, \quad 0.74 < \frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} < 1.56 \quad (4)$$

$$\frac{D_{\max}}{W^{\frac{1}{3}}} = 3.71 \left(\frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.166}, \quad 0.08 < \frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} < 0.88 \quad (5)$$

여기서, H_{\max} = 최대 물기둥 높이(m),

D_{\max} = 최대 물기둥 직경(m),

Y = 수중 폭발 지점(m),

W = TNT량(kg).

수중폭발의 물리적 현상에 대한 연구자료[12]를 바탕으로 식 (3) - 식 (5)에 따라 155 mm 고폭탄이 수중에서 폭발하는 경우 형성되는 물기둥 높이(H_{\max})를 고려, 표적이 물기둥을 형성시키는 버블 제트(bubble jet)에 의해 침몰된다고 가정하여 물기둥 반경($D_{\max}/2$)을 살상반경으로 적용하였다.

물기둥의 반경을 살상반경으로 적용한 것은 직관적 실증(verification) 방법[13,14]인 분야 전문가들의 대면 토의를 통한 주관적인 확인 과정에 의한 것이다. 국방과학연구소, LIG넥스원, 해병대 등 155 mm 고폭탄의 수중폭발 및 해상 사격 관련 전문가 토의를 통해 버블 제트가 해상 표적에 가하는 피해 정도에 대한 주관적 실증 과정을 수행하였다. 그러나 TNT량이 6.8 kg인 155 mm 고폭탄의 수중폭발에 의해 형성되는 버블 제트가 해상 표적을 전복(rollover)시킬 수 있는지에 대해서는 결론에 도달하지 못하여, 본 연구에서는 해상 표적의 중심이 물기둥 직경 내에 있는 경우 수중폭발에 의한 버블 제트가 표적에 가해져 전복에 의해 침몰되는 것으로 가정하였다.

Table 2와 같이 식 (3) - 식 (5)에 따른 물기둥 직경을 통해 살상반경을 3.44 m(6.87 m/2)로 도출하였다.

Table 2. H_{\max} 와 D_{\max} 를 통한 살상반경 산출

파라미터	값	비고
TNT량(kg)	6.8	
$W^{\frac{1}{3}}$	1.89	
$W^{\frac{1}{4}}$	1.61	
Y: 수중 폭발 지점(m)	1.65	TNT량, 수중 폭발 지점만 입력하면 아래의 공식에 의해 계산
$\frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}}$	1.02	
$\frac{Y}{W^{\frac{1}{3}}}$	0.87	
$\frac{H_{\max}}{W^{\frac{1}{3}}} = 32.4 \left(\frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.1}$	-	if $0.0037 < \frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} < 0.74$
$\frac{H_{\max}}{W^{\frac{1}{3}}} = 21.7 \left(\frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} \right)^{-1.24}$	21.13	if $0.74 < \frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} < 1.56$
H_{\max} : 물기둥 높이(m)	40.03	-
$\frac{D_{\max}}{W^{\frac{1}{3}}} = 3.71 \left(\frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} \right)^{0.166}$	3.63	if $0.08 < \frac{Y}{W^{\frac{1}{4}}} < 0.88$
D_{\max} : 물기둥 직경(m)	6.87	-

*155 mm 고폭탄(TNT량: 6.8 kg) 물기둥 높이, 직경 산출

5.2 ROK-JWS 기반 포탄 종류별 살상반경 산출

기본적으로 워게임 모델은 JMEM을 기초로 하고 있지만 현재의 모델에는 1발 단위의 살상반경 데이터가 저장되어 있지 않다. 이에 따라 1발 단위 살상반경 데이터 산출이 가능한 공학급 체계인 ROK-JWS(JMEM Weaponering System)를 운용하게 되었다.

한국형 합동무기추천체계로 불리는 ROK-JWS는 JMEM을 기초로 하고 있으며 공학급 수준의 모델로 표적, 탄종, 해상 또는 지상 환경, 방호 정도를 입력하여 탄종별 살상반경을 산출해낼 수 있는 도구이다. 다만 한국군 작전환경에서 산출된 자료가 아닌 미국군 전투실험 자료를 기초로 하고 있다. 이 체계는 미국에서 개발되어 한국군에 도입된 모델로서 원천 이론 및 기술, 추가적인 데이터 접근에 한계가 있으나 현재로서는 국내에서 이 체계 외에 살상반경을 과학적으로 산출할 수 있는 도구는 없다고 보는 것이 타당하다. 따라서 궁극적으로 국내에서 무기효과에 대한 원천 이론 및

기술 개발을 추진할 필요성이 크다고 할 수 있으며 이에 관한 내용은 결론에서 추가 서술하고자 한다.

이 ROK-JWS를 통해 HE탄, DP-ICM탄에 대한 살상 반경을 산출하였는데 특히 HE탄은 표적 또는 지상에 접촉시 폭발하는 순발신관 외에 시간을 주입하여 표적에 도달하기 전 공중에서 폭발하는 시한신관이 있다. 그래서 이 신관에 따라 살상반경이 달라지는데 ROK-JWS는 이 시한신관에 의한 살상반경 산출도 가능하다. 또한 표적의 종류에 따라 살상반경을 다양하게 산출할 수 있다. 본 논문에서는 특정 표적에 대하여 ROK-JWS로부터 산출된 순발신관 HE탄의 살상반경 7 m, 시한신관 HE탄 11 m, DP-ICM탄 34 m를 적용한다. 앞서 연구한 버블 제트에 의한 살상반경은 ROK-JWS 결과보다 작아 효과가 미미할 것으로 판단되어 ROK-JWS의 7m를 적용한다.

5.3 공산오차에 대한 정규분포

공산오차(error probability)란 전체 사격한 폭탄의 개수 중 중심좌표로부터 50 %의 폭탄 또는 미사일이 낙탄된 지점들을 포함하는 거리상의 범위를 의미한다. 예컨대 100발을 사격하여 중심으로부터 50발이 낙탄된 원을 그렸을 때 반경이 10 m라면 공산오차는 10 m가 되며 이를 원형공산오차(CEP, circular error probability)라 한다.

곡사화기뿐만 아니라 유도무기, 직사화기 등도 야전에서 수행하는 전투실험에 의하여 많은 사격을 실시함으로써 공산오차를 산출하고, 이는 사격제원을 입력하기 위한 기초자료로서 야전부대에 제공된다. 유도무기 및 직사화기는 탄의 분포가 원의 형태를 나타내기 때문에 일반적으로 CEP를 적용한다. 그러나 곡사화기는 사격지향 방향을 기준으로 좌우 범위를 의미하는 편위 공산오차(DEP, deflection error probability)보다 사격지향방향인 사거리공산오차(REP, range error probability)가 더 크게 산출되는 특성이 있어 REP와 DEP를 모두 산출해야 한다. 이 공산오차를 통해 실시간 식별되는 표적을 최대한 명중시킬 수 있도록 사격제원을 입력함으로써 사격을 수행해야 하므로 REP와 DEP는 매우 중요한 데이터라 할 수 있다.

Fig. 2와 같이 낙탄 지점의 좌표 (x, y)에 대하여 사격 방향이 y축과 평행을 이룰 때 사거리 방향의 축은 y축을 의미하게 되며 편위 방향의 축은 x축을 의미하게 된

다. 야전에서 사격 실험을 통해 확인되는 낙탄 분포는 산출된 공산오차에 해당하는 범위에 총 낙탄 지점 중 50 %가 모여있는 이변량(bivariate) 정규분포를 나타낼 수 있으며 이 공산오차를 통해 X, Y 확률변수에 대하여 식 (6), 식 (7)과 같이 정규분포로 나타낼 수 있다.

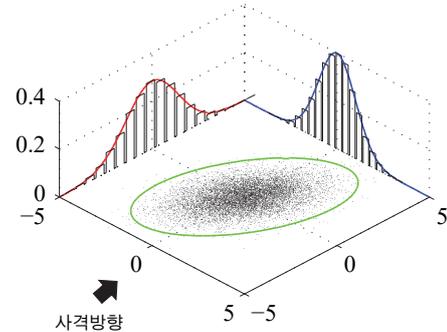


Fig. 2. 이변량 정규분포[15]

$$X \sim N\left(\mu_x = 0, \left(\frac{DEP}{0.6745}\right)^2\right) \tag{6}$$

$$Y \sim N\left(\mu_y = 0, \left(\frac{REP}{0.6745}\right)^2\right) \tag{7}$$

식 (6), 식 (7)은 누적확률분포의 중간 구간인 공산오차 구간의 누적확률이 50 %이므로 표준정규분포의 누적확률의 좌측구간을 포함하면 75 %가 된다. 이에 대한 Z값을 표준정규분포표에서 찾으면 0.6745가 나오므로 확률변수 X, Y의 분산은 각각 (DEP/0.6745)², (REP/0.6745)²가 된다. 또한 X, Y 좌표의 중심을 (0, 0)으로 설정하면 확률변수 X와 Y의 평균은 0이 된다.

6. 곡사화기 해상 피해효과 분석용 모의기능 개발

6.1 정규분포를 적용한 곡사화기 낙탄 모의

식 (6) 및 식 (7)을 따르는 정규분포에 의한 난수(random number)를 생성하는 함수를 분석모델에 구현할 수 있다. MOPAM은 C++ 기반으로 개발된 모델이다. 따라서 Fig. 3와 같이 C++에서 제공하는 난수(random 라이브러리(library)를 이용하여 155 mm 사격 시 1발 단위로 확률적인 낙탄 모의가 가능하다. 반복적으로 실행하여 평균을 구하면 DEP 또는 REP 내에 약 50 %가 낙탄되는 것을 확인할 수 있다. 즉 사격시 입력한 표

적 좌표 중심으로부터 식 (6) 및 식 (7)을 따르는 정규분포 랜덤함수에 의하여 Fig. 3와 같이 확률적으로 낙탄 지점이 모의된다.

Fig. 4는 엑셀(Microsoft Office Excel)의 정규분포 확률함수를 이용하여 시각화한 것으로, 분석모델에서는 모의 수준상 시각화가 되지 않으며 모델 내부적으로 확률에 의한 낙탄 좌표가 계산되고 살상반경 내 표적 중심 좌표가 들어오는지 여부를 연산하게 된다. 이를 통해 곡사화기 사격시 1발 단위로 낙탄을 모의할 수 있는 기능 개발이 가능하고, 상기 내용에서 연구한 해상 살상반경을 DB에 입력하여 적용하면 해상에 대한 곡사화기 사격시 1발에 대한 피해 효과를 분석하는 모의 수행할 수 있다.

6.2 살상효과 모의

국내 국방과학기술 용어사전과 McGraw-Hill 과학 기술 용어사전에 따르면 살상반경은 '포탄/미사일 따위의 폭발지점에서 주위의 목표를 파괴하고 사람을 살상하는 한계점까지의 거리'라고 정의되어 있다. 이 정의에 의하면 폭발지점 중심으로부터 멀어질수록 살상 확률이 낮아지는 것을 이변량 정규분포 형태로 나타낸 칼튼 손상함수(Carleton damage function)[17]나 거리

와 관계없이 일정한 확률을 갖는 균일(uniform) 분포로 나타낸 쿠키 커터 손상함수(Cookie cutter damage function)[17] 모두 적절하다고 할 수 없다.

칼튼 손상함수는 포탄의 물리적 파편효과 등 공학급 수준에서는 매우 중요한 개념이라고 할 수 있다. 그러나 공학급보다 더욱 추상화되는 교전급 이상의 모델에서는 낙탄 중심으로부터의 거리 변화에 따라 차이를 보이는 살상효과에 대한 정량적 분석이 난해한 함수를 사용하는 것은 적절하지 않다고 보는 것이 타당하다. 기본적으로 명중률을 의미하는 확률적 낙탄이 공산오차에 따라 모의되므로 칼튼 또는 쿠키 커터 손상함수를 적용하는 것보다 살상반경의 정의에 따라 확률적으로 모의되는 낙탄 지점으로부터 살상반경 내 표적 중심이 위치할 경우 100% 소멸되는 것으로 모의한다.

수중폭발 연구를 통해 산출된 순발신관 고폭탄 살상반경은 ROK-JWS에 의해 산출된 결과보다 작은 3.44 m로, 넓은 지역으로 분산된 해상 이동 표적에 대하여 살상효과를 미치는 것이 매우 미미하므로 ROK-JWS의 살상반경 데이터를 적용한다. 따라서 식 (6) 및 식 (7)에 의해 확률적으로 포탄이 낙탄하는 지점으로부터 살상반경을 적용하고 표적의 중심이 살상반경 내 위치하는 경우 표적은 파괴, 즉 쿠키 커터 손상함수의 논리에 따라 모델상에서 표적이 소멸되는 것으로 모의한다.

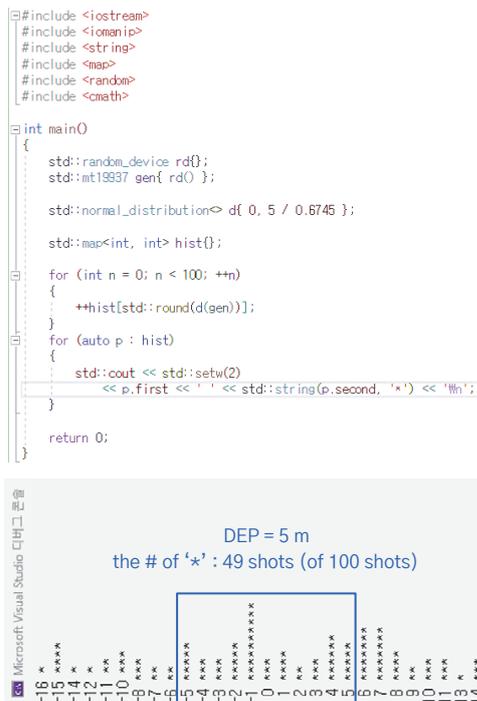
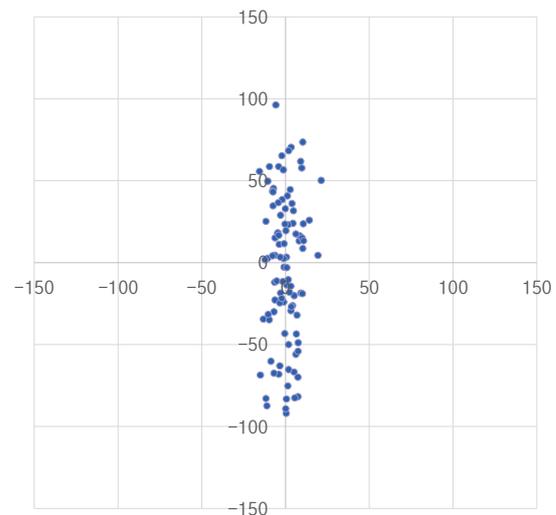


Fig. 3. C++ 정규분포 확률함수를 적용한 DEP 낙탄 분포 [16]



Case: DEP = 5 m , REP = 33 m, 100 points
 $X_i = \text{NORMINV}(\text{RAND}(), 0, 5/0.6745)$
 $Y_i = \text{NORMINV}(\text{RAND}(), 0, 33/0.6745)$

Fig. 4. 엑셀의 정규분포 랜덤함수를 사용한 낙탄 분포 시각화

7. 사례 연구

7.1 시나리오 설정 및 실험설계

곡사화기의 야전 전투실험을 통해 수집된 공산오차 데이터는 ‘사표’라는 야전 교범(field manual) 형태로 제공된다. 이 사표를 통해 REP와 DEP를 확인할 수 있으며 이 데이터를 확률분포에 적용하여 분산 및 표준편차를 계산할 수 있다. 사거리, 고각, 장약의 종류에 따라 다양한 REP와 DEP가 계산되지만 본 논문에서는 HE탄의 REP 41 m 및 DEP 5 m, DP-ICM탄의 REP 33 m, DEP 5 m를 적용한다. 그리고 155 mm 고폍탄의 해상 살상반경은 ROK-JWS에서 산출된 바와 같이 순발신관 고폍탄은 7 m, 시한신관 고폍탄은 11.4 m, DP-ICM은 34 m를 적용한다. 그리고 해상 표적은 여러 열로 이루어진 중대 대형으로 일정한 간격과 속도를 유지하는 상태로 이동하는 것으로 가정한다.

155 mm 포병의 사격방법에는 Fig. 5와 같이 표적에 집중 사격하는 집중사향속(converged sheaf), 포가 위치한 형태로 낙탄되는 평행사향속(parallel sheaf), 살상반경이 중첩되지 않도록 횡적 형태로 낙탄되는 개방사향속(open sheaf), 표적의 이동 또는 집결 형태 등에 맞춰 낙탄되는 특별사향속(special sheaf) 등이 있다. 이 사격방법들을 범주형(categorical) 독립변수로 설정하여 시뮬레이션을 수행한다. 독립변수들이 가지는 값들의 조합이 시나리오가 되는데 독립변수는 1개이므로 실험 시나리오는 4개로 설정된다.

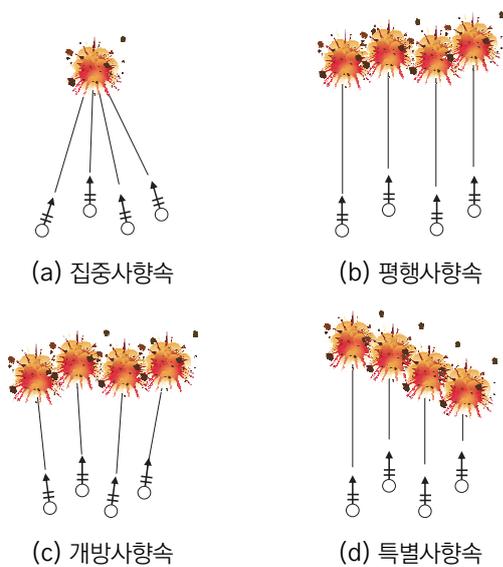


Fig. 5. 포병 사격 방법 [18]

사격방법별 효과도를 비교·분석하기 위하여 독립변수와 종속변수인 분석지수(analysis index)[19]를 설정해야 한다. 분석지수란 실험설계시 설정한 독립변수(independent variable)들의 변화에 따른 효과를 측정하기 위한 기준이 되는 종속변수(dependent variable)를 의미한다. 종속변수인 사격방법별 효과도는 전체 표적 수에 대하여 살상반경에 의해 침몰된 표적 수의 비인 ‘표적 피해율’로 정의한다. 독립변수는 4개의 사격방법인 범주형 변수가 된다.

7.2 시뮬레이션 결과 및 분석

사격방법별 시뮬레이션 결과가 산출되고, 낙탄 지점이 확률적으로 모의되므로, 통계적으로 사격방법별 비교분석을 수행하기 위해 각 시나리오에 대하여 중심극한정리(central limit theorem)에 따라 표본을 30개로 설정하여 반복 시뮬레이션(Monte Carlo method)을 30회 수행한다. 본 논문에서는 직접적인 사격방법 명칭을 사용하지 않고 임의의 A, B, C, D 사향속으로 명칭을 부여한다.

시뮬레이션 결과는 Table 3과 같다. 먼저 B 사향속 및 C 사향속의 평균값엔 큰 차이가 없어 보이나 통계적으로 추정해야 하므로 *F*-test로 B, C 사향속에 대한 분산의 차이를 검정할 필요가 있다. 검정결과 *p*-value가 0.05보다 큰 0.72이므로 두 사향속의 분산은 같다고 추정할 수 있다. 그 다음은 *F*-test 결과를 바탕으로 B, C 사향속 간의 평균에 차이가 있는지 검정한다. 모집단의 정보를 알 수 없으므로 *t*-test를 수행하여 두 사향속의 평균에 유의한 차이가 있는지 확인한다. *F*-test 결과 등분산으로 확인되었으므로 등분산 가정 *t*-test를 수행한다. *t*-test 결과 0.05보다 큰 0.76이 나왔으므로 B, C 사향속 간의 평균은 차이가 없다고 추정할 수 있다.

Table 3. 시뮬레이션 결과 (*F*-test, *t*-test)

사향속	관측 수	합	평균	분산	<i>p</i> -value	
					<i>F</i> -test	<i>t</i> -test
A	30	9.33	0.31	0.005	-	-
B	30	15.33	0.51	0.010	0.72	0.76
C	30	15.58	0.52	0.011	>0.05	>0.05
D	30	21.75	0.73	0.014	-	-

다음으로 A, B, D 사향속과 A, C, B 사향속 간 평균에 유의한 차이가 있는지 검정한다. 독립변수가 1개이므로, 수집된 피해율을 바탕으로 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하여 사격방법별 피해율 평균에 대하여 유의한 차이가 있는지 확인한다.

Tables 4-5에서 보는 바와 같이 p -value가 0.05 이하로 3개의 사향속에 대한 피해율 평균에 유의한 차이가 있는 것을 확인할 수 있으며 D 사향속의 평균 표적 피해율이 72.5 %로 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

Table 4. 사향속 A, B, D에 대한 시뮬레이션 결과(one-way ANOVA)

사향속	관측 수	합	평균	분산	p -value
A	30	9.333	0.311	0.0046	1.35×10^{-27}
B	30	15.333	0.511	0.0099	< 0.05
D*	30	21.750	0.725	0.0135	H_0 reject!

Table 5. 사향속 A, C, D에 대한 시뮬레이션 결과(one-way ANOVA)

사향속	관측 수	합	평균	분산	p -value
A	30	9.333	0.311	0.0046	6.8×10^{-27}
C	30	15.583	0.519	0.0113	< 0.05
D*	30	21.750	0.725	0.0135	H_0 reject!

8. 시뮬레이션 결과 및 모의기능 활용 방안

사례 연구를 통해 가장 높은 효과를 보이는 사격방법이 무엇인지를 확인할 수 있음을 보였다. 또한 표적의 특성에 맞게 사격방법을 결정하는 것이 필요하다는 결론을 이끌어낼 수 있으며 사격계획 수립 시 참고자료 및 기준으로 충분히 활용 가능하다. 또한 사례 연구를 바탕으로 좀 더 과학적인 방법으로 화력분야에 대한 교리발전 제안이 가능하므로, 향후 해상 곡사화기 사격에 대한 교리발전을 제안할 계획이다.

본 사례 연구는 실제 분석 과제의 일환으로 수행한 것이며 상기 결과를 기초로 실제 작전계획에 반영된 부대별 화력계획에 대하여 효과 검증을 수행하는데 활용하고 있다. 다만 임무급 모델의 수준에서 포탄 여러 발을 부대 단위로 추상화하여 모의하는 것을 1발 단위로

더욱 상세화하여 모의를 수행하면 연산량이 증가하여 전체 성능에 영향을 주게 된다. 따라서 해상 곡사화기 사격과 연계되는 다른 국면 또는 시나리오와의 연계는 제한적이다. 왜냐하면 해상 사격 외의 변수들 간의 관계, 관련 매개변수(parameter)를 포함하는 함수들 간의 연관(association) 또는 의존(dependency) 관계가 있어 해상 사격 기능을 추가함으로써 다른 연관 및 의존 기능들을 모두 수정해야 하는데, 이는 소프트웨어 형상관리(software configuration management)에도 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

따라서 본 모의기능은 특정 국면에서 오직 해상 곡사화기 사격효과 분석에만 특화된 기능이라고 할 수 있다. 필요시 다양한 탄종에 대하여 살상반경 데이터만 산출하면 지상에서의 곡사화기 효과분석도 가능하다. 또한 상기 방법을 적용하여 곡사화기 뿐만 아니라 대전차화기, 함포 등의 직사화기 효과분석 또한 가능할 것이다.

9. 결론

본 연구에서는 6발 단위로 하나의 원으로 추상화되어 표현되는 곡사화기 사격을 더욱 상세화하여 1발 단위로 살상반경을 부여함으로써 1발이 확률이론에 근거한 수학적 모형에 따라 모의될 수 있도록 하는 기능을 임무급 모델상에 개발하였다. 그리고 이 기능을 통해 사격방법 및 화력계획에 대한 효과 검증을 언제든 간단하게 수행할 수 있는 실질적 분석 환경을 제공할 수 있게 되었다.

사격시험 또는 야전 전투실험에 의한 사격데이터를 통해 산출된 공산오차를 기초로 시작된 본 연구를 통해 야전에서 수행하는 시험 또는 전투실험이 매우 의미있음이 또한 증명되었다. 공산오차에 대한 데이터를 통해 만들어진 확률 모형을 바탕으로 모델상에 랜덤함수를 구현하여 가상의 환경에서 무한 번 사격할 수 있고, 확률 모형으로 나타나는 낙탄분포를 분석함으로써 교전효과 및 작전효과 분석에도 활용될 수 있는 기초자료가 될 수 있다. 실제 전투는 수행해서도 안 되고 할 수도 없지만 사격만큼은 가용한 환경 및 범위 안에서 해 볼 수 있으므로 이에 대한 데이터 축적은 매우 중요한 활동이며, 향후 실사격 훈련에 대한 데이터 수집을 규정화하여 필수적으로 수집 관리하는 것이 바람직하다 할 수 있다.

그러나 실상반경과 같은 다양한 탄약의 물리적 폭발효과에 대한 공학급 수준의 연구는 아직까지 미흡하며, ROK-JWS를 운용하고 있지만 한국군 환경에 적합한 원천 이론 및 기술, 관련 데이터 접근 또한 제한적이다. 따라서 실사격 데이터 수집과 무기체계에 대한 공학급 수준의 연구를 지속적으로 추진하여 최소한 해군·해병대부터 독자적인 이론 정립과 기술 개발에 지속적인 관심을 기울여야 한다. 이외에도 교전급 이상 모델에 대한 군사지식 기반의 논리적·합리적 모의논리 표준화에 대한 연구도 수행되어야 하는데, 한국 해군·해병대 무기효과 추천체계의 구축에 대한 방안과 더불어 향후 연구 과제로서 추진하고자 한다.

참고문헌

- [1] Zeigler, B.P., Kim, T.G. and Praehofer, H., Theory of Modeling and Simulation. Academic Press, Orlando, FL, USA, 2000.
- [2] DoD Modeling and Simulation Coordination Office (MSCO), Modeling and Simulation(M&S) Glossary, VA, USA, 2011.
- [3] Piplani, L.K., Mercer, J.G. and Roop, R.O., Systems Acquisition Manager's Guide for the use of Models and Simulations. Report of the DSMC 1993-1994, Defense Systems Management College, Virginia, 1994.
- [4] Davis, P.K. and Hillestad, R., "Families of models that cross levels of resolution: Issues for design, calibration and management," Proceedings of the 25th conference on Winter simulation, 1993, pp. 1003-1012.
- [5] Kim, J.H., Methodology for Battle Experiment via Interoperation with Mission Level Model and Engagement Level Model, Ph.D Dissertation, KAIST, Daejeon, 2012, p. 3.
- [6] IEEE std 1516, IEEE Standard for Modeling and Simulation(M&S) High Level Architecture (HLA)-Framework and Rules, 2000.
- [7] Wikipedia, "Run-time infrastructure (simulation)," [https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_\(simulation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_(simulation))
- [8] 국방부 행정규칙, 국방전력발전업무훈령 제 2639호(2022. 3. 18.), p. 208.
- [9] McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms, 6th Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc, USA, 2003.
- [10] 김충영 외, 군사OR이론과 응용, 두남, 서울, 2010, pp. 876-877.
- [11] 이정만, "갱도내 표적의 파괴효과 달성을 위한 탄약 소요발수 산정기법 연구," '17년 육군M&S 국제학술대회, 2017, p. 5.
- [12] Michael M., Swisdak, Explosion Effects and Properties: Part II-Explosion Effects in water, NSWC/WOL TR 76-116, USA, 1978, pp. 75-85.
- [13] Naylor, T.H. et al, "Verification of Computer Simulation Models", Management Science, Vol. 2, USA, 1967, pp. B92-B101.
- [14] 김탁곤, 국방 모델링 시뮬레이션, 한티미디어, 서울, pp. 24-32.
- [15] Wikipedia, "Multivariate normal distribution," https://en.wikipedia.org/wiki/Multivariate_normal_distribution
- [16] cppreference.com, "std::normal_distribution," https://en.cppreference.com/w/cpp/numeric/random/normal_distribution
- [17] Morris R. Driels, Weaponneering: Conventional Weapon System Effectiveness, AIAA Education Series, Virginia, 2004.
- [18] Global Security.org, "Chapter 4: Major Concerns of the fire Direction Center," <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/23-91/ch4.htm>
- [19] Kim, T.G. and Sung, C.H., "Objective-driven DEVS Modeling Using OPI Matrix for Performance Evaluation of Discrete Event Systems," SCSC-2007, San Diego, 2007, pp. 305-311.