

가상현실 기반 실전적 정밀사격훈련 구현 연구

이 병 학*, 김 중 환**, 신 규 용***, 김 동 욱****, 이 원 우*****, 김 남 혁*****

요 약

4차 산업혁명 시대에 가상현실 기술의 급속한 성장은 국방 분야에서도 ICT 융합과 더불어 군사훈련체계의 과학화를 가속시키고 있다. 최근 육군에서는 사격장 소음문제에 따른 민원증가, 사격장 안전사고 예방, 그리고 훈련비용 절감과 같은 민감한 사안을 해결하기 위해 모의 사격훈련 시뮬레이터 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 기존의 사격훈련시뮬레이터의 기술적 한계점을 살펴보고 이를 극복하기 위해 훈련자 중심의 공간 동기화 기법과 미소각 근사 수정질점탄도모델을 제안한다. 자체 개발한 정밀사격 시뮬레이터 MARS(medium range assault rifle shooting simulator)에 조성된 혼합현실(mixed reality) 환경에서 반응조끼(haptic vest)를 착용한 훈련자는 가상적군과 양방향 교전간 실시간 피격을 경험할 뿐만 아니라 실제 탄도궤도가 적용된 정밀사격훈련을 수행하게 되어 훈련 결과에 따른 신뢰 높은 훈련평가를 받을 수 있게 되었다.

A study on the actual precision shooting training based on virtual reality

Byounghwak Lee*, Jonghwan Kim**, Kyuyoung Shin***, Dongwook Kim****, Wonwoo Lee*****,
Namhyuk Kim*****

ABSTRACT

The rapid growth of virtual reality technology in the era of the 4th Industrial Revolution has accelerated scientification of combat training systems in addition to ICT(information and communications technology) in military field. Recently, research and development of simulators based on virtual reality have been actively conducted in order to solve sensitive issues such as increase of civil complaints due to the noise of a shooting range, prevention of shooting accident, and reduction of training cost. In this paper, we propose two key solutions: spatial synchronization method and modified point mass trajectory model with small angle approximation to overcome technical limitations of a current training simulator. A trainee who wears a haptic vest in a mixed reality environment built in MARS(medium-range assault rifle shooting simulator) is able to conduct not only precision shooting but also two-way engagement with virtual opponents. It is possible for trainee to receive more reliable evaluations in the MARS than an existing rifle simulator based on laser.

Key words : VR(Virtual reality), MR(Mixed reality), MTMS(Modified point mass trajectory model with small angle approximation), SRV(Synchronizing real space with virtual space)

접수일(2018년 9월 30일), 수정일(1차: 2018년 10월 25일,
게재확정일(2018년 10월 31일)

★본 논문은 과학기술정보통신부와 정보통신기술진흥센터의
“2017년 디지털콘텐츠(VR/AR/MR)플러그십 프로젝트 기술
개발사업(과제번호20170017830022002)”의 지원에 의하여 연구
되었음.

* 육군사관학교/물리화학과(교신저자)
** 육군사관학교/기계공학과
*** 육군사관학교/컴퓨터과학과
**** 육군사관학교/물리화학과
***** 육군사관학교/전자공학과
***** 옵티머스 시스템(주)

1. 서 론

군인은 일반 직업보다 근본적으로 위험한 환경에 노출되어 있다. 영국 공영 방송 BBC는 2016년 1월 12일자 뉴스¹⁾에서 영국 국방부 관계자의 말을 인용해 2001년부터 2016년까지 15년간 평시작전간 사망한 영군 군인 수는 총 131명이라고 밝혔다. 그 중 훈련간 사망자수는 98명으로 질병에 의한 사망자 24명과 원인미상 9명을 합한 사망자 보다 높은 비율을 차지하였다. 자세히 살펴보면, 군사훈련 미숙 13명 사망, 실사격장 오발사고 5명 사망, 암벽등반·도하·산악 훈련간 22명 사망, 그리고 육로 교통사고 11명 사망 등 주로 훈련 미숙 및 부주의로 발생한 안전사고였다. 미국의 경우, 1991년 걸프전 당시 아군 오인 사격에 의한 사망자가 약 25%(전체 148명중 35명), 부상자가 약 15%(전체 467명 중 72명)²⁾에 이르렀고 그 원인 중에 하나를 아군식별능력 부재, 즉 훈련미숙으로 판단하였다. 우리 군은 훈련장 안전사고 예방뿐만 아니라 사격장 소음으로 인한 민원증가와 훈련비용 감소등과 같은 사회적 이슈와 결합되면서 군사훈련 개선 요구가 날이 증대되고 있고 대책마련이 시급한 실정이다.

미국과 영국은 이러한 문제점을 해결하고 효율적인 전투력 관리를 위해 최근 급속하게 성장하고 있는 가상현실(Virtual Reality) 기술을 국방 분야에 접목시켜 활발한 연구개발을 진행하고 있다.³⁾⁴⁾⁵⁾ 특히, 미국 Vi tra 사(社)는 V-300TM, V-180TM, V-100TM, 그리고 V-ST PROTM와 같은 실제 영상기반으로 한 다양한 사격훈련용 시뮬레이터를 개발하여 미군에 적용하고 있다. 우리 육군에서는 금곡과학화 예비군훈련장에서 레이저 기반 영상사격훈련 시뮬레이터를 2014년도에 도입하여 현재까지 사격훈련(10만명/년, 1000여명/일, 개인당 사격훈련 시간 약 7분)을 실시하고 있다.⁶⁾ 이러한 영상 사격훈련 시뮬레이터들은 훈련시 안전사고 예방 및 훈련비용 절감, 가상훈련 환경을 통한 다양한 상황에 대한 체험 훈련 등 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 현재 일부 도입된 레이저 기반 영상 사격 훈련 시뮬레이터 방식은 기술적인 한계로 인해 군에서 요구하는 실전적인 사격 훈련을 만족시키지는 못하고 있다.

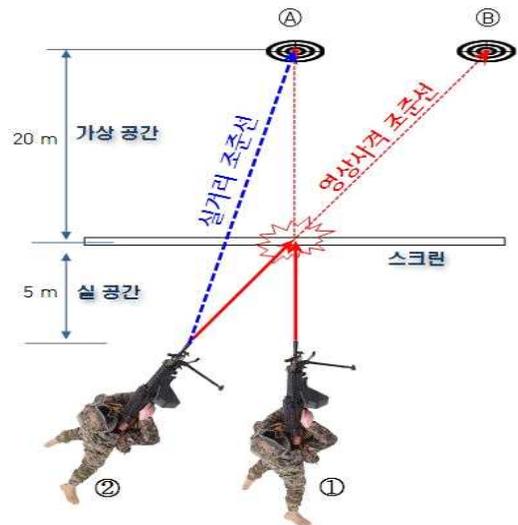
본 연구에서는 레이저 기반 영상 사격훈련 시뮬레이

터의 기술적 한계점을 분석하고, 보다 실전적인 사격 훈련을 위한 새로운 방식의 가상현실 요소 기술 및 구현 방법론을 제안한다. 실전적 정밀 사격훈련을 위한 공간 동기화 기법과 총기/탄종에 따른 정밀 탄도 곡선 구현을 통해 새로운 방식이 적용된 가상현실기반 훈련 환경을 조성하였다.

2. 레이저 영상 사격훈련 기술적 한계

2.1 조준선 정렬 왜곡

현재 군에 일부 보급되어 있는 레이저 기반 영상 사격 시뮬레이터는 사수 전방 고정표적에 대한 단방향 영점사격훈련에 효과적일 수는 있으나 이동표적 사격, 측방 사격등 다방향 표적을 제압해야하는 전술적 사격 훈련에는 부적합하다.



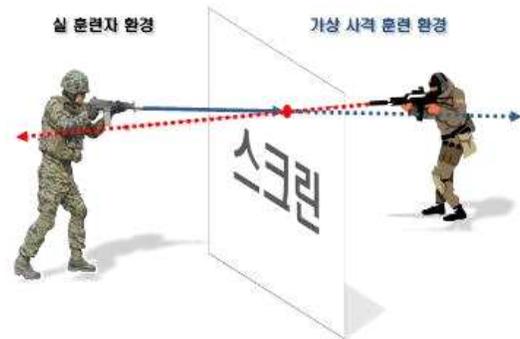
(그림 1) 영상사격 조준선 정렬 왜곡

(그림 1)은 사수 위치 또는 시점 변경에 따른 조준선 변화를 보여준다. 사수가 실내 영상 사격장에서 직선 거리 5m 전방 스크린상 표적에 25m 영점사격을 실시한다고 가정해보자. 사수가 최초 위치①에서 위치②로 사로를 변경하여 같은 표적 ①에 대해 사격을 실시할 경우, 위치②에서 조준선 정렬은 최초 표적 ①을 벗어나 가상공간 붉은 점선 조준선 상 표적 ②를 지향하게 된다. 다시 말해서, 사수가 위치를 변경하면 스크

린상 동일 표적을 지향할지라도 실제로는 다른 표적에 대한 사격훈련을 하는 것이다. 특히, 근접전투(close quarters combat) 훈련과 같이 돌발 이동 표적을 신속하게 제압하기 위해 순발력을 배양해야하는 사수가 이러한 왜곡된 사격훈련에 장시간 노출될 경우 실거리 표적 실사격에 대한 부적응 및 괴리감을 느낄 수밖에 없다. 실사격 훈련과 연계성이 낮은 가상 영상 사격훈련 체계는 비효율적 교육훈련에 따른 보수교육 등 추가 소요가 발생되어 최초 도입 목적에 역행하는 결과를 초래한다.

2.2 양방향 교전 구현 한계

레이저 기반 영상 사격 시뮬레이터는 양방향 교전 및 피격 정보를 정확하게 구현, 제공할 수 없다. IR 카메라는 스크린상 레이저 포인터의 위치(탄착점)만을 인식하기 때문에 사수의 공간 위치 정보를 제공하지 않는다.

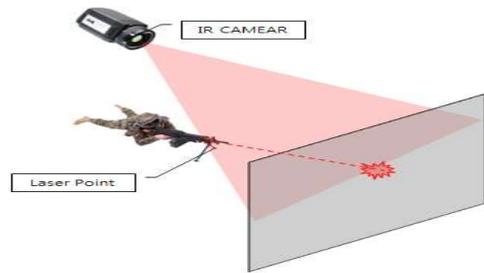


(그림 2) 영상사격 훈련 교전

따라서 훈련자가 옆드려 쏘 자세로 가상 AI(artificial intelligence) 적군을 조준 사격할 경우, 스크린상 가상의 적은 훈련자의 위치와 기술적 사격자세(서서 쏘, 옆드려쏘, 앉아 쏘 등)를 인식하지 못하고 레이저 포인터의 탄착점 중심으로 사격한다. 따라서 레이저 기반 영상 사격 시뮬레이터에서 양방향 교전간 획득된 data는 사격훈련평가와 feedback 참고 자료로 활용할 수는 있으나 훈련자의 객관적인 교육성과 및 결과를 반영하지 않는다.

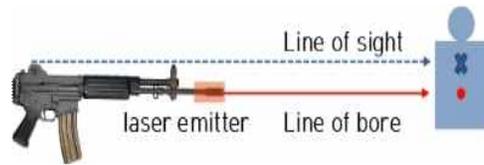
2.3 회전 강체 탄도곡선 부재

일반적으로, 총신을 떠난 탄자(강체)는 자전하는 지구상에서 대기 중에 비행하는 동안 지구중력의 영향뿐만 아니라 공기의 저항력을 받게 된다. 대기 밀도는 탄자 운동에 영향을 미쳐 진공상태에 비해 탄자의 운동속도와 비행거리를 감소시킨다. 또한 탄자 대칭축을 중심으로 회전하는 탄자는 전도(tumbling) 현상을 최소화하고 안정한 비행궤도를 유지하면서 진행 수평면상에 편류(drift)를 경험하게 된다. 따라서 사수는 사격 훈련간 조준선 정렬시 탄종별 탄도곡선을 이해하고 조준점과 탄착점 불일치에 따른 사거리별 오조준(predicted aim)을 통해 정확한 사격을 실시해야 한다.



(그림 3) 레이저 기반 영상사격훈련 시뮬레이터

그러나 레이저 기반 영상사격훈련장비에는 이러한 공기역학적 저항에 따른 탄종별 탄도곡선이 반영되어 있지 않다. 현재 군에서 사용되고 있는 레이저 기반 영상사격훈련 시뮬레이터는 (그림 3)과 같이 사수가 전방 스크린 영상 표적에 조준 격발시 레이저 포인터의 탄착 위치를 IR 카메라가 인식하여 명중여부를 판별하는 방식으로 구성되어 있다.



(그림 4) 조준점 및 레이저 탄착점

정지 질량이 0인 레이저는 지구 중력, 대기밀도, 그리고 온도에 영향을 받지 않는 직진성이 강한 빛으로서 조준선 정렬간 조준점과 탄착점이 사거리와 상관없이 언제나 동일하므로 레이저 기반 영상 사격 시뮬

레이더는 실전적 정밀사격훈련에 부적합하다.(그림 4) 참고)

3. VR 정밀사격 시뮬레이터 핵심기술

본 연구는 앞서 언급한 레이저 기반 영상사격훈련 시뮬레이터의 기술적 한계를 극복하고 실전적인 정밀 사격훈련환경을 조성하기 위해 다음과 같은 핵심 이 론 및 기술을 제시한다.

3.1 가상공간과 실공간 동기화 기법

훈련자 공간과 가상공간을 동기화하기 위한 경계조 건(boundary condition)은 다음과 같다.

$${}^{[RB]}T_{[RS]} = {}^{[VB]}T_{[VS]} \quad (1)$$

여기서, [RB]는 실공간 기준좌표, [RS]는 실공간 스크린 기준좌표, [VB]는 가상공간 기준좌표, [VS]는 가상공간 스크린 기준좌표, ${}^{[RB]}T_{[RS]}$ 는 실공간의 기준 좌표에서 본 실공간 스크린 기준좌표의 위치벡터(vector) 행렬, 그리고 ${}^{[VB]}T_{[VS]}$ 는 가상공간의 기준좌표에서 본 가상공간 스크린 기준좌표의 위치벡터 행렬을 의미한다. 다시 말해서, 식 (1)에서 좌변의 ${}^{[RB]}T_{[RS]}$ 를 구하게 되면 스크린상 경계조건을 만족하는 우변의 ${}^{[VB]}T_{[VS]}$ 를 산출할 수 있으므로 실제 공간과 동기화 된 가상공간을 구현할 수 있다.

[RB]를 기준으로 측정된 스크린상 위치정보 (${}^{[RB]}P_{MP1}, {}^{[RB]}P_{MP2}, \dots, {}^{[RB]}P_{MPN}$)는 [RS]상에서 N개의 위치정보(${}^{[RS]}P_{P1}, {}^{[RS]}P_{P2}, \dots, {}^{[RS]}P_{PN}$)와 아래와 같이 수식적 관계를 갖는다.

$$\begin{aligned} {}^{[RB]}P_{[MP1]} &= {}^{[RB]}T_{[RS]} \cdot {}^{[RS]}P_{P1} \\ {}^{[RB]}P_{[MP2]} &= {}^{[RB]}T_{[RS]} \cdot {}^{[RS]}P_{P2} \\ &\dots \\ {}^{[RB]}P_{[MPN]} &= {}^{[RB]}T_{[RS]} \cdot {}^{[RS]}P_{PN} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)로부터 $f(x_n)$ 를 다음과 같이 정의하고

$$f(x_n) = {}^{[RB]}T_{[RS]} \cdot {}^{[RS]}P_{Pn} - P_{[MPn]} \quad (3)$$

$n = 1, 2, \dots, N$

식 (3)에 Pseudo inverse⁷⁾를 적용하여 ($N \times 6$) 위치/방향 정보를 포함하고 있는 상수 행렬 \bar{C} 로 표현 하면 아래와 같다.

$$\bar{C} \begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ dR_x \\ dR_y \\ dR_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f(x_1) \\ -f(x_2) \\ -f(x_3) \\ \dots \\ \dots \\ -f(x_N) \end{pmatrix} \quad (4)$$

식 (4) 양변에 \bar{C}' 전치행렬과 $(\bar{C}' \cdot \bar{C})^{-1}$ 역행렬을 순서대로 곱해주면 좌변에는 순수하게 위치와 방향 변위만 남게 되어 $\Delta X(dx, dy, dz, dR_x, dR_y, dR_z)$ 를 식 (5)와 같이 정리 할 수 있다.

$$\Delta X = (\bar{C}' \cdot \bar{C})^{-1} \cdot \bar{C}' \cdot f \quad (5)$$

여기서, x, y, z 는 위치정보, R_x, R_y, R_z 는 회전정보를 의미한다. $X_{i+1} = X_i + \Delta X$ 에서 $\Delta X \leq 10^{-4}$ 가 될 때까지 interaction을 수행하여 ${}^{[RB]}T_{[RS]}$ 를 계산한 후, 가상공간 스크린에서 경계조건을 만족하는 ${}^{[VB]}T_{[VS]}$ 를 산출하여 동기화 되도록 하였다.

훈련자가 스크린 평면상 2차원 가상환경을 3차원 공간으로 인식하도록 구현하기 위해 훈련자의 시점변 화에 따른 실시간 가상 공간변형이 필요하다. 스크린 중앙으로부터 직선거리 d만큼 떨어져 있는 곳에 훈련 자가 서 있다면 훈련자와 스크린 양쪽 끝점을 잇는 이등변 삼각형을 구성할 수 있다. 훈련자가 최초 위치 O 에서 O'로 이동한다면 고정된 스크린에서는 훈련 자의 시점에서 변형된 이미지를 반영해줘야 한다. 즉, 훈련자가 바라보는 방향으로 가상평면 S'를 구성하고 그 위에 반영된 이미지를 고정된 스크린 평면상 S에

투영하면 고정된 스크린에서 훈련자의 관점으로 변형된 이미지를 관찰할 수 있게 된다. 따라서 S'평면상 위치좌표 P'(x',y')를 S평면상 P(U,V) 좌표로 치환하는 식은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$U = \frac{1}{2} + \frac{x'W'}{W} \tag{6}$$

$$V = \frac{1}{2} + \frac{y'H'}{H} \tag{7}$$

여기서, W는 S평면의 너비, W'은 S'평면의 너비, H는 S평면의 높이, 그리고 H'은 S'평면의 높이를 나타낸다. 이러한 방식을 통해 훈련자의 위치 이동에 따른 스크린 상에 2차원 영상을 왜곡시켜 3차원적인 시각적 효과를 구현 하였다.

3.2 소구경탄 4자유도 운동 방정식

자전하는 지구 지표면상에서 비행하는 강체의 운동 방정식은 다음과 같은 수식으로 나타낸다.⁸⁾

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \sum \vec{F} + \vec{F}_g + \vec{F}_c \tag{8}$$

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \sum \vec{M} \tag{9}$$

이때, m은 강체 질량, $\sum \vec{F}$ 는 강체에 작용하는 공기력(aerodynamic force)의 합력, \vec{F}_g 는 중력, \vec{F}_c 는 지구자전에 의한 전향력, \vec{H} 는 강체의 총 각운동량, 그리고 $\sum \vec{M}$ 은 공기역학적 모멘트 합을 의미한다. 사거리 500m 미만(중거리)에서 우회강선 직사화기에 의해 발사된 소구경탄자에 작용하는 전향력(Coriolis force) 및 Magnus 등과 같은 효과는 지구 중력 및 공기 저항력에 비해 매우 작다.⁹⁾ 따라서 수정질점해석 기법을 적용한 직사화기 소구경탄 운동방정식을 세우기 위해 다음과 같이 가정한다. ① 지구 자전효과는 무시한다. ② 지표면은 평탄하다. ③ 지구 중력가속도는 모든 위치에서 일정하다. ④ 소구경 탄자의 질량 중심과 압력중심은 일치한다. ⑤ 질량중심에 작용하는 주

요 힘은 지구 중력, 항력, 양력이며 전복모멘트 이외에 모멘트는 무시한다. ⑥ 탄자는 직사화기 강선과 전진폐쇄(forward obturation)기능이 완전하여 균일한 추진압력을 받아 공기역학적 도약(aerodynamic jump)은 없다. 이러한 조건에서 바람이 없는 대기에서 소구경탄자 질량중심에 작용하는 항력, 양력, 중력과 탄자의 회전을 고려한 4자유도 운동방정식은 다음과 같다.¹⁰⁾¹¹⁾

$$\vec{F} = -\frac{QSC_{D_a}}{V} \vec{V} + QSC_{L_a} [\hat{V} \times (\hat{i} \times \hat{V})] + m\vec{g} \tag{10}$$

$$\vec{\alpha} = -\frac{QSt^2 C_{I_p}}{2IV} \vec{w} \tag{11}$$

여기서,

$$Q = \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$I = \begin{pmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{zx} & -I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix}$$

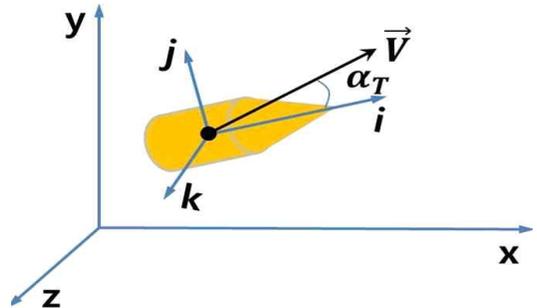
$$C_{D_a} = (C_{D0} + C_{D\alpha^2} \alpha^2)$$

$$C_{L_a} = (C_{L0} + C_{L\alpha^2} \alpha^2)$$

$$C_{M_a} = (C_{M0} + C_{M\alpha^2} \alpha^2)$$

$$\hat{V} = \frac{\vec{V}}{V}, \quad V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

로 나타낸다.



(그림 5) 4자유도 좌표계

탄도고·사거리·편류(drift)에 영향을 주는 편주각(α_R)

은 직사화기에서 발사된 소구경탄의 경우 탄자의 운동방향(\vec{V})과 탄자 대칭축(\hat{i}) 사이각인 총 받음각($\alpha_T \ll 1$)은 식 (13)과 같이 수식적 관계가 성립된다.

$$\vec{\alpha}_R = \frac{2I_{xx}w}{\rho SdV^4 C_{M_s}} \left(\frac{d\vec{V}}{dt} \times \vec{V} \right) \quad (12)$$

$$\alpha_R = \sin \alpha_T \approx \alpha_T \quad (13)$$

그리고 편주각에 따라 값이 변하는 비선형적 항력·양력·전복 모멘트 계수도 선형적 계수($C_{D_n} \approx C_{D_0}$, $C_{L_n} \approx C_{L_0}$, $C_{M_n} \approx C_{M_0}$)로 간략하게 표현된다.

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{2m} \rho S C_{D_n} \vec{V} \vec{V} + \frac{1}{2m} \rho S C_{L_n} \vec{\alpha}_T + \vec{g} \quad (14)$$

미소각 근사(small angle approximation)를 적용한 수정질점해석기법(MPMTS)기반 직사화기 소구경탄 운동방정식인의 해는 식 (14)에 식 (11)을 대입하고 고정좌표계에 대해 decoupled 시간의 함수로 전개한 후 MATLAB을 이용하여 획득하였다.

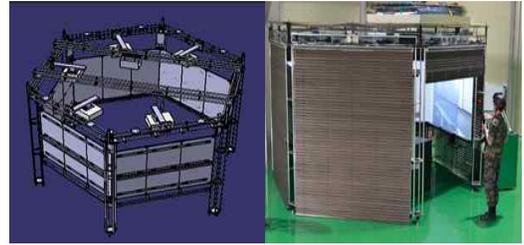
m : 탄두 질량, d : 탄두 지름, S : 탄두 단면적
 V : 탄두 속도, α : 탄두 각가속도, w : 탄두 각속도
 ρ : 공기밀도, I : 탄두 관성 텐서, \vec{g} : 중력 가속도
 Q : 동압력, C_D : 항력 계수, C_{L_n} : 양력 계수
 C_{M_n} : 전복모멘트 계수 C_{l_p} : 회전감쇄 모멘트 계수

4. 적용 및 검증결과

본 연구를 위해, 과학기술정보통신부 지원('17.7~'18.12)을 받아 육군사관학교(Korea Military Academy) 연구개발팀은 (그림 6)과 같이 훈련자가 실제 또는 가상공간의 주변 지형지물(은폐물)과 상호 반응하며 사실적인 정밀사격훈련을 수행할

수 있는 가상현실 기반 정밀사격훈련 시뮬레이터, MARS(Medium range Assault rifle shooting simulator)를 자체 개발하였다.

MARS는 다중 스크린(300°-5면) 상부에 위치한 광센서들이 훈련자의 방탄모와 총기에 부착된 장치로부터 광신호를 감지하여 훈련자의 움직임과 총기 위치와 방향을 추적(tracking)하도록 설계 및 제작되었다.



(그림 6) MARS 구조 및 외형

MARS에 적용된 공간동기화 기법은 레이저 영상사격장비의 기술적 문제점을 해결하고 스크린 기반 MR(Mixed Reality) 방식의 실전적 사격훈련환경을 구현하기 위한 핵심 기술이다. 이를 입증하기 위해, 조준선 정렬·훈련자의 전술적 사격 자세에 의한 가상공간 변화, 실제 및 가상공간 은폐물 활용한 피탄 실험, 그리고 소구경탄 탄도곡선 적용에 따른 사격결과를 레이저 기반 영상사격결과와 비교 실험하였다.

4.1 Mixed Reality 사격훈련 환경 구현

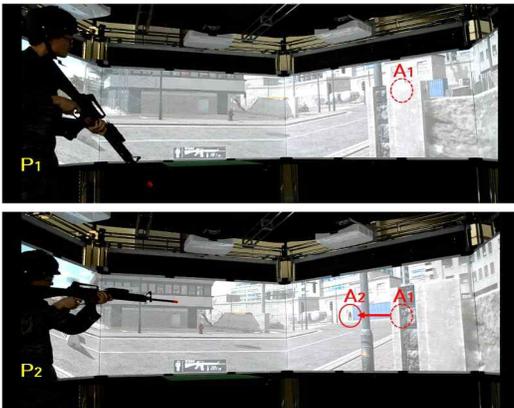
(그림 7)은 MARS 내부에서 훈련자의 전술적 사격 자세에 따른 시가전(urban warfare)을 묘사한 가상공간의 동기화를 보여준다. 사수의 전방·우측·좌측 pointed quick fire 자세에 따라 훈련자 관점으로 가상공간이 동기화되어 있음을 확인하였다. 이를 통해 전방, 좌우측방 지향사격 및 사주 경계 자세 자유도를 향상시키고 사격훈련 몰입감을 높일 수 있었다.

(그림 8)은 훈련자 위치 이동에 따른 조준점 변화를 보여준다. MARS 내부 실공간 P1에 위치한 사수가 가상공간상 회색 벽 후방 은폐된 표적(적

색 점선 타원형)에 대해 P2로 이동하였을 경우, 사수의 조준점은 표적의 최초 위치 A1에서 A2(적색 점선 타원형)가 된다. 이는 훈련자의 위치나 시점에 상관없이 스크린상 고정표적에 대한 기존 영상사격훈련 환경과 확연히 다른 결과로써 공간동기화 기법을 통해 조준선 왜곡현상을 개선하고 실전적 사격훈련환경을 조성할 수 있었다.



(그림 7) 시점 및 위치 변화에 따른 공간동기화



(그림 8) 위치이동에 따른 조준점 변화

(그림 9)는 훈련자가 주변 지형지물 활용 및 위치 이동에 따른 피탄정도와 가상적군의 조준사격 여부를 검증한 결과를 보여준다. 훈련자가 실공간 차폐물(검정색 상자)과 가상 장애물(회색 벽) 후방에 각각 앉아좌 자세로 은폐한 경우, 가상적군의 공격으로부터 모두 방호(적색 실선 타원형)되었다. 또한 훈련자가 은폐물 후방에서 좌우로 위치 이동을 하였을 때, 가상적군은 훈련자의 위치를 추적하며 조준 및 지향 사격을 실시하였다. 특히, 훈련자가 착용한 haptic vest는 적으로부터 피격여부를 가시화시켜주는 자체 개발한 장비로써, 피격부분이 청색으로 발광(LED)되며, 동시에 피탄결과를 data화하여 훈련자에게 제공한다. 따라서 haptic vest를 착용한 훈련자는 공간 동기화된 MR 환경에서 실적전인 양방향 교전훈련과 가상 및 실제 은폐물을 이용하여 적의 공격으로부터 방호 및 회피하는 전술적 사격훈련을 수행할 수 있었다.

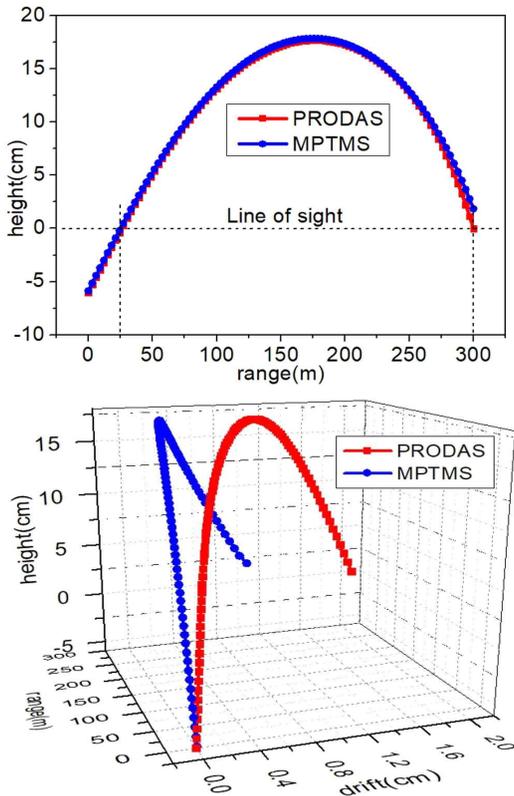


(그림 9) 실제(좌상) 및 가상(우상)은폐물 이용 피탄실험/훈련자 위치 변화에 따른 피탄방향(하)

4.2 소구경 탄도궤도 적용결과

공간동기화 기법은 MR환경에서 실제 소구경탄 비행궤도를 구현할 수 있는 핵심 해법이다. 현재 한국군 동원예비군 사격훈련간 사용되는 개인화기 소총중 하나인 M16A1/M16A2(미군 M계열 돌격소총)의 전투가능자를 획득하기 위해서는 표준 사

거리 250/300미터에 대해 사거리 25미터 영점사격을 실시한다. M계열 개인화기는 가늠자와 가늠쇠를 통한 조준선(line of sight)과 총구 중심축선(line of bore)이 평행하지 않으며 두 교차선의 사이각이 $\theta(\ll 1^\circ)$ 가 되도록 제작되어있다. 따라서 지구 지표면 대기 중에 비행하는 탄자의 이상적인 곡선 궤도는 탄종별로 약간의 차이가 있지만 사거리 25미터와 250/300미터 조준점과 탄착점이 일치한다. MPTMS 기반으로 계산된 직사화기 탄도곡선의 신뢰도를 검증하기 위해 PRODAS S/W (Arrow Tech Associate, 1999)의 결과 값과 비교하였다.



(그림 10) M855 사거리 vs 탄도고 그래프(상)/3D 탄도궤도(하): 6DOF-PRODAS(적색 직사화기-실선), MPTMS(청색 원형-실선)

(그림 10)은 ISA(International Standard Atmosphere) 표준조건(해수면, 15°C, 공기밀도 1.225kg/m³)에서 표준사거리 300미터에 대해 6조 우선 강

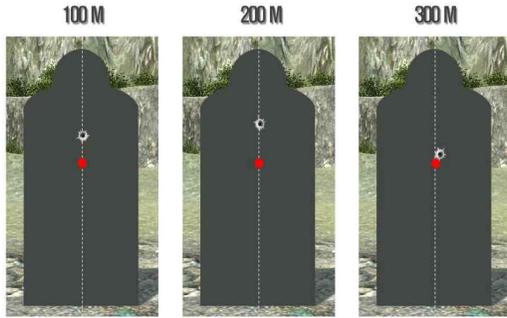
선 M16A2 AR-5.56mm M855탄의 PRODAS(적색 실선-사각형)와 MPTMS(청색 실선-원형)의 사거리-탄도고 그래프 및 3차원 공간에서의 탄도궤도를 나타낸다. ARL 사격제원¹²⁾이 적용된 PRODAS 탄도곡선의 탄착점은 25미터와 표준 사거리 300미터에서 정확히 조준선과 일치한 반면, MPTMS 탄도곡선의 탄착점은 표준 사거리 300미터에서 조준선보다 $\Delta h = +1.85\text{cm}$ 의 차이를 보였다. 대기 중에 탄자의 수평 편류 현상은 MPTMS가 PRODAS의 비해 표준사거리 300미터에서 $\Delta d (= d_{PR} - d_{MP}) = -1.09\text{cm}$ 로 우측편류 정도가 작았다.

<표 1> M16A2 M855 상하편차 및 수평편차

구분	사거리 25/300미터	
	상하편차 Δh (cm)	수평편차 Δd (cm)
MPTMS	+0.13/+1.85	$+8.78 \times 10^{-3} / +1.01$
PRODAS	0.00/0.00	$+7.89 \times 10^{-2} / +2.10$

이는 MPTMS의 미소각 근사를 적용한 4자유도 수정질점해석기법과 PRODAS의 6자유도 강제해석기법의 차이가 탄도궤도 계산결과 탄착점의 수치적 위치차이로 반영된 것이다. 다시 말해서, PRODAS는 MPTMS에 비해 추가적으로 전향력, 감쇄힘, Magnus 효과, 회전모멘트, 감쇄 모멘트, 회전 감쇄모멘트, 비선형적 항력·모멘트 계수, 그리고 탄자 속도에 따른 항력 계수변화 등을 고려하므로 MPTMS보다 이상적인 탄도궤도를 구현한다. 그러나 표준거리 300미터에 대해 M16A2의 상하(탄도고)/좌우(수평편차) 가늠자 조절나사 1 click당 탄착점 위치변화량($\pm 10.5\text{cm} / \pm 3.8\text{cm}$)¹³⁾을 감안해 볼 때, 그 탄착점들의 차이는 가늠자 click 수정없이 사격 가능한 허용 오차내 값들이다.

이러한 MPTMS를 적용한 동기화된 공간 MR환경에서 사거리 100, 200 그리고 300미터 표적에 대한 모의 소총 M16A2로 사격한 결과 (그림 11)과 같이 M855 탄도궤도가 반영된 조준점 기준 탄착점의 위치변화를 확인할 수 있었다.



(그림 11) 사거리별 100, 200, 300미터, MPTMS 적용된 탄도궤도의 조준점 및 탄착점 위치

레이저 기반 스크린 영상사격 시뮬레이터에서는 구현 불가능한 사격결과이나 MARS에서 제공하는 MR환경에서는 실제적인 영점사격과 실거리 정밀 조준 사격을 수행할 수 있게 되었다. 특히, 훈련자가 조준선 정열간 탄종별 탄도곡선을 이해하고 사거리별 표적에 대한 예측사격술을 배양할 수 있도록 획기적인 사격훈련 환경을 조성하였다.

5. 결 론

본 연구에서 기존의 레이저 조준 방식 영상 사격 시뮬레이터의 기술적 한계를 살펴보고 실전적 사격훈련 환경구축에 필요한 핵심 기술들을 소개하였다. 레이저는 지구중력장에 영향을 받지 않는 직진성이 강한 빛으로서 조준선 정열 및 25미터 영점사격훈련에는 유용하나 소구경탄의 탄도곡선을 구현할 수 없으므로 표준사거리 250 또는 300미터이내 표적에 대한 예측 사격 및 전투 가늠자 획득에는 부적합하다. 또한 스크린에 묘사된 가상적군이 훈련자의 전술적 행동이나 사격자세와 무관하게 대응함으로써 훈련자는 실전적인 양방향 교전을 수행하기가 어렵다. 이러한 기술적 문제점들을 극복하고 개선하기 위해 정밀사격훈련 시뮬레이터 MARS를 자체 연구 개발하였다. MARS의 적용된 핵심기술은 공간동기화 기법으로 스크린을 경계로 실공간과 가상공간을 동기화시켜 MR환경을 조성한 기술이다. 따라서 동기화된 공간에서 훈련자는 ① 전술적 행동의 자유도 향상, ② 실사격 훈련과 동

일한 정밀사격, ③ 지형지물을 이용한 전투 사격술, 그리고 ④ 양방향 교전시 실시간 상호작용들이 가능한 실전적인 사격훈련을 경험할 수 있게 되었다. 특히, MPTMS 산출된 미군 M계열 탄종의 탄도곡선은 6자유도 강제해석 기법기반의 PRODAS와 비교하여 볼 때, 표준 사거리 300미터에서 신뢰 높은 결과를 보여 다양한 탄종에 대한 독립적인 탄도궤도 연구기반을 마련하게 되었다. 앞으로 몰입도가 높은 1인용 가상현실 기반 사격시뮬레이터 개발을 넘어 가상공간에서 공용화기 및 곡사화기가 구현된 입체적인 팀단위 훈련이 가능하도록 지속적인 연구개발을 수행할 것이다.

참고문헌

- [1] BBC NEWS, 'More than one in 20 military deaths in training', <https://www.bbc.com/news/uk-352900511>, 2, January 2016.
- [2] Eric Schmitt, 'U.S. Striving to Prevent Friendly Fire'. Middle East: New York Times. 9 December 1991, Retrieved 4 January 2011.
- [3] Clay Wilson, "Avatars, Virtual Reality Technology, and the U.S. Military: Emerging Policy Issues", CRS report for congress, 09 April 2008.
- [4] Dan Robizski, 'The US army is using virtual reality to train their soldiers to navigate real cities', <https://www.weforum.org/agenda/2018/04/soldiers-are-training-in-virtual-environments-generated-from-real-cities>, world economic form, 25 April 2018.
- [5] BBC Radio, 'How can Virtual Reality help transform the military?', <https://www.bbc.co.uk/programmes/p04pq4c9>, 16, January 2017.
- [6] 최진석, '예비군훈련장 개방, 영상 모의사격 체험', 중앙일보, <https://news.joins.com/article/19750245>, 2016. 3. 19.
- [7] Arthur Albert, Regression and the Moore-Penro

se Pseudoinverse, Academic press, 1972.

- [8] R. L. McCoy, Modern Exterior Ballistics. A tglen, PA: Schiffer Publishing. 2012.
- [9] 이홍주, 총과 탄도학, 청문각, 1998.
- [10] R. F. Lieske and M. L. Relter, "Equations of motion for a modified point mass trajectory," Ballistic Research Laboratories, Aberdeen Proving Ground, MD, 1966.
- [11] Donald. E. Carlucci and Sidney. Jacobson, Ballistics: Theory and design of guns and ammunition, CRC Press, 2008.
- [12] Sidra I. Silton, Bradley E. Howell, "Aerodynamic and Flight Dynamic Characteristics of 5.56-mm Ammunition: M855", Army Research Laboratory, 2010.
- [13] Headquarters Department of US Army, Field Manual 3-22.9, 2003.



신 규 용 (Kyuyong Shin)
 1996년 3월 육군사관학교 학사
 2000년 2월 한국과학기술원 석사
 2009년 12월 미노스캐롤라이나 주립대학교 박사
 email : kyshin@kma.ac.kr



김 동 욱 (Dongwook Kim)
 1995년 3월 육군사관학교 학사
 2000년 8월 미플로리다대학교 석사
 2009년 8월 미일리노이대학교 박사
 email : kami64@kma.ac.kr



이 원 우 (Wonwoo Lee)
 1989년 3월 육군사관학교 학사
 1993년 2월 서강대학교 공학석사
 2001년 8월 미시라큐스대학교 박사
 email : wlee01@kma.ac.kr

[저자 소개]



이 병 학 (Byounghwak Lee)
 2002년 3월 육군사관학교 학사
 2006년 2월 연세대학교 석사
 2016년 8월 미오레곤주립대학교 박사
 email : lebaiii@kma.ac.kr



김 남 혁 (Namhyuk Kim)
 2003년 2월 아주대학교 학사
 2005년 2월 아주대학교 석사
 email : nhkim@optimus-sys.com



김 중 환 (Jonghwan Kim)
 2001년 3월 육군사관학교 학사
 2007년 8월 미뉴멕시코주립대학교 석사
 2014년 8월 미버지니아공대학교 박사
 email : jongkim@kma.ac.kr