



Received: 2025/08/14  
Revised: 2025/08/25  
Accepted: 2025/09/23  
Published: 2025/09/30

**\*Corresponding Author:**

**Geonwoo Kim**

Future Warfare Integrated Product Support  
R&D(Aerospace/Unmanned Systems), LIG Nex1  
20 Daewangpangyo-ro 851beon-gil, Sujeong-gu,  
Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13449, Republic of Korea  
Tel: +82-31-326-9472  
E-mail: geonwoo.kim@lignex1.com

# VR 기반의 유도탄 및 수중탄 과학화 정비교육체계 설계 및 성능 검증 방안 연구

## Designing and Verifying a VR-based Training System for Guided Missile and Torpedo Maintenance

김건우<sup>1\*</sup>, 경수만<sup>2</sup>, 김진홍<sup>1</sup>, 이두열<sup>2</sup>, 이승욱<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 미래전장IPS연구소 선임연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 미래전장IPS연구소 연구원

<sup>3</sup>LIG넥스원 미래전장IPS연구소 수석연구원

Geonwoo Kim<sup>1\*</sup>, Sumin Kyung<sup>2</sup>, Jinhong Kim<sup>1</sup>, Duyeol Lee<sup>2</sup>, Seungwook Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research engineer, Future Warfare Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

<sup>2</sup>Research engineer, Future Warfare Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

<sup>3</sup>Chief research engineer, Future Warfare Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

**Abstract**

VR, AR 기술이 발전함에 따라 가상환경 콘텐츠의 개발 및 적용이 확대되고 있으며, 이를 활용한 효율적인 군 훈련 방안들이 개발되고 있다. 본 논문에서는 실감도 높은 VR 훈련 콘텐츠를 제작하기 위한 8가지 정량적 설계 방법을 제시하고 있다. 이를 통하여 군의 전문성과 안정성 및 효율성을 향상하고자 한다.

As VR and AR technologies advance, the development and application of virtual environment content are expanding, leading to the creation of efficient military training methods utilizing these technologies. This paper proposes eight quantitative design methods for producing highly immersive VR training content. Through these methods, the study aims to enhance the professionalism, safety, and efficiency of military training.

**Keywords**

가상현실(Virtual Reality), 전자식교보재(Computer-based Training), 유도탄 및 수중탄(Guided Missile & Underwater Missile), 인간-컴퓨터 상호작용(Human-computer Interaction) 소프트웨어 구성 요소(Computer Software Configuration Item)

**Acknowledgement**

본 연구는 민군협력진흥원의 “민군기술이전사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과이다(과제번호: 23-SN-CV-05, 과제명: VR기반의 유도탄 및 수중탄 과학화 정비교육체계 구현).

## 1. 서론

해군 무기체계의 발전 추세에 따른 다품종 첨단 유도무기체계 및 수중무기체계의 지속적인 도입, 고도화된 무기체계 운용으로 인하여 해군 병기탄약창의 정비요원에게 정비 능력 다양화 및 전문성이 요구되고 있다. 현재의 정비기술 습득 방식은 개발기관에서 만든 기술교범이나 CBT 교재를 활용하여 이론 지식을 습득한 후 숙련된 정비요원에게서 훈련받는 도제식 교육 형태로서 고장추적 및 정비 가능 수준에 도달하기까지는 최소 5년 이상이 소요된다. 또한, 폭발물, 추진기관, 추진연료, 민감한 전자장비가 탑재된 유도탄을 교육 목적으로 매년 분해·조립하는 것은 안전성과 유도탄 성능 유지를 고려할 때 비효율적이며, 실제 유도탄 정비 시 교육이 동시에 실시되므로 교육이 연속적이지 못하고, 충분한 반복 숙달을 하지 못하여 교육효과가 떨어지는 실정이다.

이에 대한 대안으로 가상현실(VR) 구현을 통해 실제 유도·수중 무기를 정비하는 것과 같은 효율적인 정비 교육 개념이 도입되어야 기술력 향상에 필요한 시간 절약 및 기술 발전이 이루어질 것으로

판단된다[1]. 일례로 미 공군은 C-130 수송기 정비 교육에 VR 기반 정비 교육을 도입하였다. 항공기 구성 요소 및 작동 원리에 대한 이해와 항공기 전원 켜기/끄기, 보조동력장치(APU) 작동, 브레이크 탈착 및 설치 등 반복작업을 훈련생들이 원하는 때에 연습할 수 있도록 했다[2]. 또한, 미 공군과 T3(Tech Training Transformation) 팀은 기존 시스템의 교육 시간에 비해 46% 빠르게 교육을 완료함으로써 VR 기반 교육 훈련시스템의 우수함을 보였다[3]. 이러한 사례를 통해 군의 VR 교육훈련시스템이 교육 시간 단축, 안정성 확보, 비용 절감, 반복 학습 용이성 등에서 큰 이점을 지니고 있음을 알 수 있다. 본 연구는 VR 유도탄 및 수중탄 교육훈련시스템의 콘텐츠 구조, 구현 방법, 정량적 목표 성능지표 및 검증 방안을 제시한다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 하드웨어(HW) 구성

본 연구의 VR 교육훈련시스템은 훈련상황 전시장비, 교관 훈련 통제장비, 교육생 훈련장비 등의 하드웨어로 구성된다(Fig. 1, Table 1 참조). 훈련상황 전시장비는 훈련상황 전시 기능 수행을 위하여 전자칠판, 훈련자 상황 전시 TV, 통제상황 전시 TV로 구성된다. 교관훈련 통제장비는 훈련지도 모니터링 기능 수행을 위하여 통제용 PC, 콘텐츠서버용 PC, 스위칭 허브, 영상분배기로 구성된다. 마지막으로 교육생 훈련장비는 실습훈련 기능 수행을 위하여 VR-HMD와 훈련용 PC를 동시에 사용할 수 있는 VR Station XO로 구성된다.

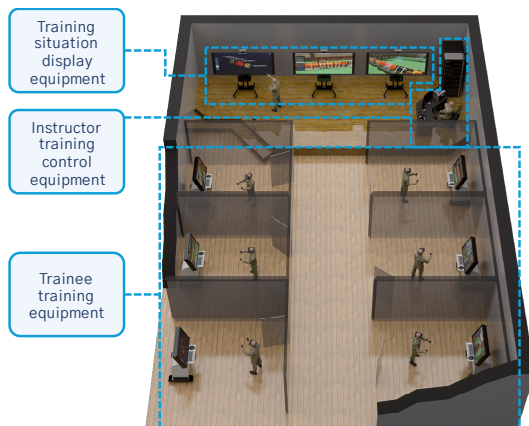


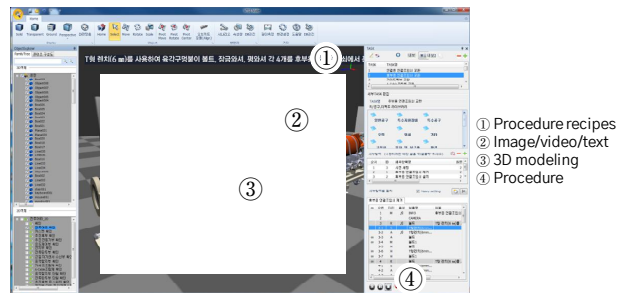
Fig. 1. HW components

Table 1. Training equipment overview

Category	Device	Model/brand
Electronics whiteboard		
Training environment display	Monitoring display (instructor view)	LG Electronics 86TR3DK (86-inch)
	Monitoring display (trainee view)	
Instructor control equipment	Control PC	IMXR INSTRUCTION
	Content server PC	HPE Server DL380
	Switching hub	Pumpkin Networks P5000 L3
	Video distributor	NETmate HX-2488 (HMDI 8:8)
Trainee equipment	VR-HMD	VR Station XO (PC & VR Integrated)
	Training PC	

### 2.2 소프트웨어(SW) 구성

본 연구의 적용 소프트웨어는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 가상훈련지원장비, VTSE(virtual training support equipment)로 저작 CSCI(computer software configuration item), 관리 CSCI, 전시 CSCI로 기능을 나눌 수 있다.



(a) Authoring SW



(b) Maintenance training SW

Fig. 2. Authoring tool and maintenance training system SW (demo)

먼저, 저작 CSCI는 운용/정비 교육훈련 콘텐츠를 저작(authoring)하는 도구로서 가상환경구성 기능, 콘텐츠 저작 기능으로 구성된다. 관리 CSCI는 저작 CSCI에서 생성된 파일을 등록하고 서비스할 콘텐츠를 생성/관리하는 기능이다. 저작 CSCI를 통해 생성된 파일을 task(가장 작은 업무) 단위로 등록하고 task 조합을 통해 새로운 훈련 콘텐츠 시나리오를 생성할 수 있다. 마지막으로 전시 CSCI는 관리 CSCI로 등록된 교육들을 서비스하는 기능이다. 서비스 방법은 탁상형(키보드 및 마우스), VR용(HMD 및 컨트롤러), 전자칠판용(터치스크린) 형식으로 이루어지고, 모든 콘텐츠는 Fig. 3와 같이 3가지의 크로스 플랫폼을 활용하여 적절하게 사용될 수 있다[4].

### 3. VR 유도무기체계 교육훈련시스템 설계 목표 및 검증 방안

본 장에서는 VR 유도무기체계 교육훈련시스템 개발 시 수행한 설계 상의 고려 및 검증 방안에 대하여 기술한다.

#### 3.1 정량적 목표

VR 유도무기체계 교육훈련시스템의 교육효과를 최대화하기 위하여 달성해야 하는 정량적 목표는 모두 8가지이다(Table 2 참조)[5].

Table 2. Quantitative target dimensions

Core technical/ product parameters	Target goal	World class
Target weapons	○ weapon types	-
3D content Implementation scope	Provided military maintenance data	-
Max. number of collaborative users	Up to ○○ people	40 people
Accuracy of collaborative user location (%)	Up to ○○	90
Accuracy of virtual objects (%)	Up to ○○	95
Frames per second (FPS)	Up to ○○	90
Motion-to-photon latency (MTPL)	Up to ○○	18 ms
Image quality	Up to ○○○○x○○○○	3,664x1,920

#### 3.2 대상무기 및 3D 콘텐츠 구현범위

본 연구의 유도탄 및 수중탄을 대상으로 콘텐츠 개발을 수행하였으며 콘텐츠 유형은 Fig. 4와 같이 형상교육과 절차교육으로 구성된다.

먼저 형상교육(Fig. 5 참조)은 유도탄 및 수중탄의 주요 구성품 형상 및 기능에 대한 기초단계 훈련 기능

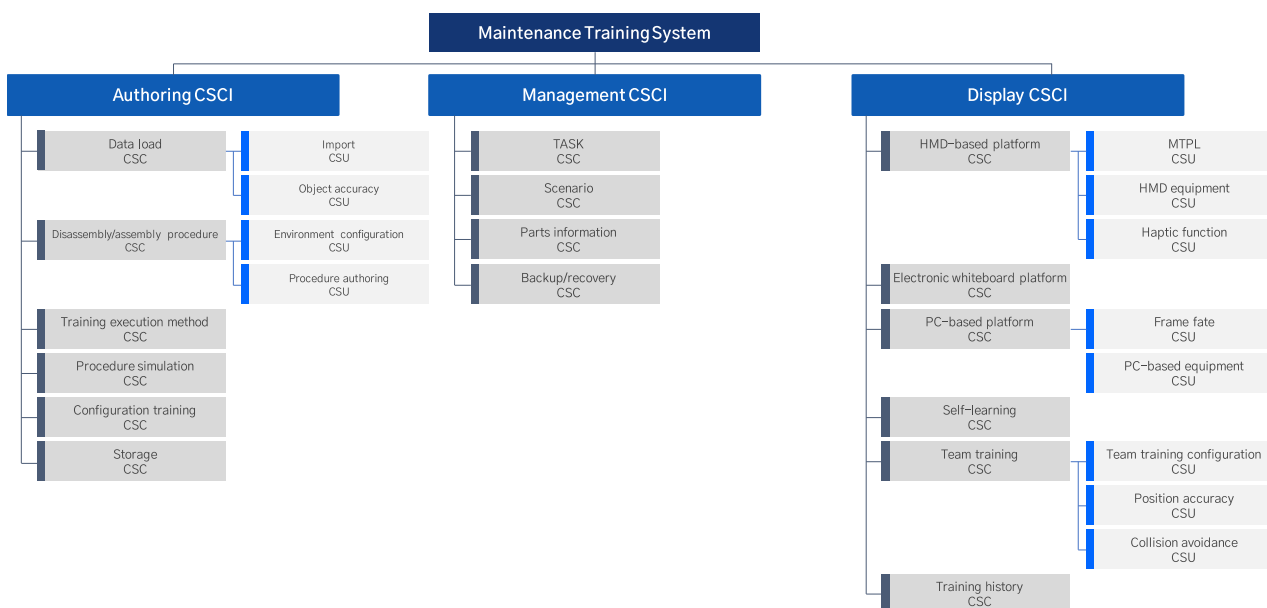


Fig. 3. SW hierarchy

을 수행한다. 각 무기체계의 형상은 3D 데이터를 기반으로 실제 사이즈와 동일한 크기의 디지털 모형으로 생성되었으며 장비의 형상, 위치, 구조 확인 및 구성품 제원을 이해하기 위한 콘텐츠이다.

절차교육(Fig. 6 참조)은 분해 및 조립 절차의 반복 실습 훈련 기능을 수행한다. 관련 기능으로 정비절차, 구성품 교환절차, 정기검사절차를 갖추고 있다.



Fig. 4. Selection of configuration and procedure training



Fig. 5. Configuration training

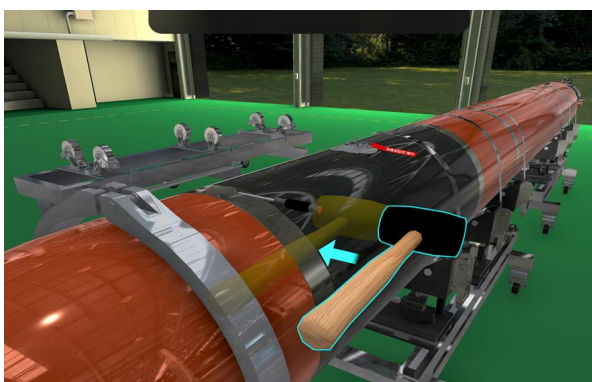


Fig. 6. Procedure training

본 VR 정비교육 훈련 체계는 기술교범 및 표준작업절차서(standard operation procedure, SOP) 등

군 자료 기반으로 콘텐츠를 Table 3와 같이 구성하고, 절차 및 이미지, 문자, 소음 등을 실제 환경과 동일한 개념으로 구현하여 체험을 통한 능동적 이해, 실제와 유사한 촉각(touch)을 위한 햅틱 기능을 제공한다.

Table 3. Quantitative target dimensions

Weapons	Contents development scope
○○○	- Configuration training: ○○○ - Maintenance procedure: ○○○ - Inspection procedure : ○○○
○○○	- Configuration training: ○○○ - Maintenance procedure: ○○○ - Component replacement procedure: ○○○
⋮	⋮

### 3.3 최대 협업인원 수

최대 협업인원 수는 콘텐츠에 협업하여 참여할 수 있는 최대 동시접속자 숫자를 의미한다. 팀 훈련 참여 인원은 통제자와 훈련자로 구분하고 그에 따라 로컬 LAN 네트워크망(최소 1 Gbps 이상급 고속처리 구성), VR용 장비, 통제용 장비, 콘텐츠 서버 그리고 형상교육용장비로 구성한다. Fig. 7은 망 구성 시 훈련자와 통제자 간의 훈련통제/훈련설정/모니터링 등을 수행할 수 있는 예시화면을 나타낸다.

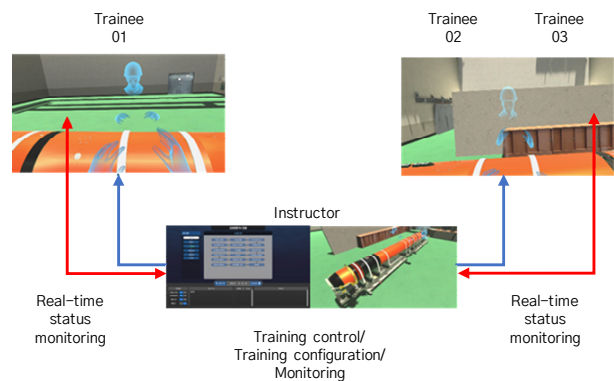


Fig. 7. Conceptual diagram of training control, configuration and monitoring

통제자는 ‘통제화면 훈련생 목록’에서 참여자 수를 확인할 수 있으며 검증을 수행할 때는 Fig. 8의 순서도를 따라 검증 방안을 제안한다.

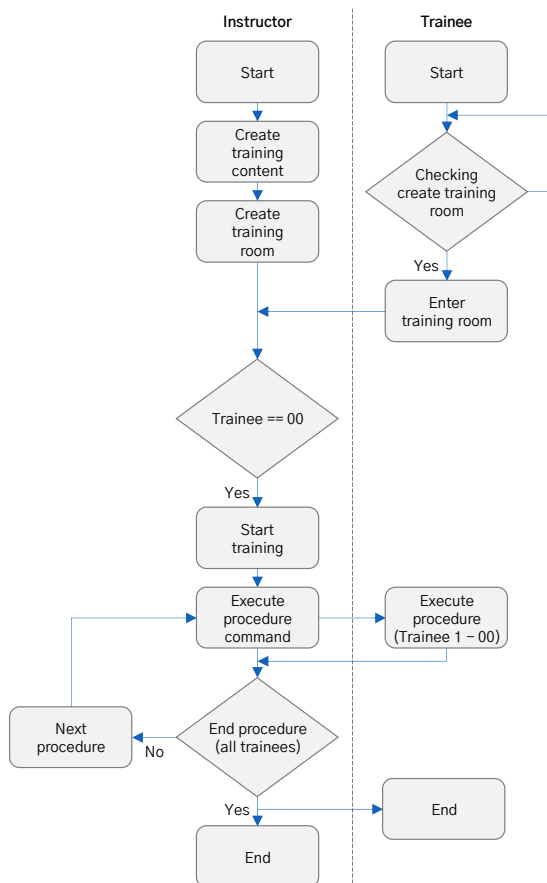


Fig. 8. Max collaborator validation

3.4 훈련(협업)원 위치 정확도(%)

훈련(협업)원 위치 정확도는 각 훈련원의 위치가 통제자에서 인식하는 좌표와 동일한지 여부를 나타낸다. Fig. 9은 각 훈련자의 위치정보를 통제자로 통합시키고 서로의 가상위치를 공유하여 정확도를 처리하는 작업을 통해 최적화시킬 수 있음을 보여준다. SW에서 공장 천장의 가상카메라를 통하여 동시 캡처함으로써 이미지를 저장하고 두 이미지를 비교하

여 훈련원의 위치를 비교하여 검증한다. 해당 위치 정확도는 식 (1), 식 (2)와 같이 산출한다

$$\text{위치정확도}(\%) = \left( 1 - \frac{\text{오차거리}}{d_{\max}(\text{오차허용거리})} \right) \times 100 \quad (1)$$

여기서, 오차거리는 A 훈련자의 위치와 B 훈련자가 바라본 A의 위치의 오차거리를 뜻한다. 그리고, 허용 오차거리는 시스템요구기능 중 기능적 허용범위로 MetaQuest에서 룸 스케일 모드를 사용하는 데 필요한 권장 공간으로 최소 2 m로 산정한다[6].

$$\text{오차거리(A 훈련자 기준)} = \sqrt{(A'_x - A_x)^2 + (A'_y - A_y)^2 + (A'_z - A_z)^2} \quad (2)$$

Table 4는 A 훈련자와 B 훈련자가 특정 위치에 있을 때 각 위치정보를 검증한 내용이다.

Table 4. Accuracy of training site location

Comparison criteria	Trainee A (personal assessment)	Trainee B (personal assessment)
Personal location (x, y, z)	(3.342, 1.543, 6.324)	(3.235, 1.541, 6.325)
Perceived location of others	(3.235, 1.541, 6.325)	(1.969, 1.565, 6.328)
Error distance (m)	0.1	0.0
Maximum allowed error distance (m)	2	2
Location accuracy (%)	95	100
Average location accuracy (%)	97.6	

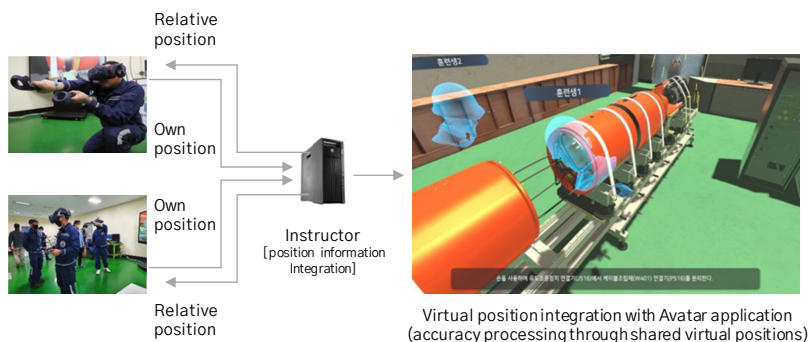


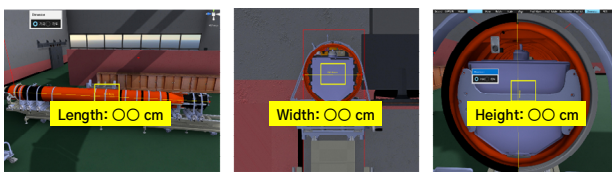
Fig. 9. Concept of location accuracy

### 3.5 가상객체 정확도

가상객체 정확도란 가상환경 내 객체가 실제 모델 또는 설계 기준과 형상 등에서 얼마나 정합성 있게 구현되어 있는지를 나타내는 지표로 나타낸다. 실제 모델과 가상객체는 Table 5와 같이 측정할 수 있다. 콘텐츠 저작도구에서 지원하는 줄자(dimension) 기능을 통하여 가상객체의 형상 제원을 Fig. 10과 같이 측정할 수 있다.

**Table 5.** Size measurement methods for real/virtual object

Category	Configuration training content items	Tools
Real object	3D CAD drawings	Specification
Virtual object	Contents creation SW (VTSE MAKE)	



**Fig. 10.** Measurement of virtual object

가상객체 크기를 측정하고 가상객체의 정확도는 Table 6와 같이 결과를 도출할 수 있다.

**Table 6.** Virtual object measurement(subsystems, tools)

Subsystem/tool	Size	Standard value (mm)	Measured value (mm)	Virtual object accuracy (%)
X subsystem	Length	0,000	0,000	99.99
	Height	000	000	99.99
	Width	000	000	99.99
Y subsystem	Length	0,000	0,000	95.55
	Height	000	000	99.70
	Width	000	000	99.70
Z tool	Length	000	000	99.24
	Height	000	000	99.70
	Width	000	000	99.70
Average virtual object accuracy				98.16

### 3.6 초당 프레임 수(FPS)

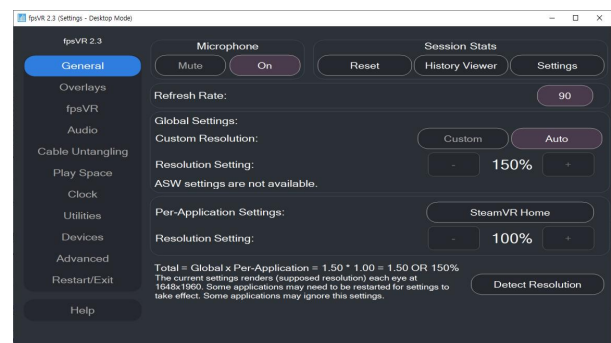
FPS(frames per second)는 초당 프레임 수로 화면에 출력되는 내용을 얼마나 빠르게 렌더링할 수 있는지 나타내는 지표이다. 렌더링 성능 최적화 능력은 리소스 최적화(모델링 경량화), 처리 성능 최적화(코드 최적화, 리팩토링), 성능 개선 관련 기술 적용(LOD, 그래픽 파이프라인 등)을 통하여 개선할 수 있다[7].

FPS 측정을 위해 다음과 같이 기준으로 검증 절차를 수행하였다. 먼저 관련 장비 제원의 주사율을 확인하였으며, 본 연구에 사용된 그래픽카드와 HMD (Meta Quest 3)의 주사율은 Table 7과 같이 120 Hz로 나타난다[6].

**Table 7.** Specifications and measurement of training equipment (GPU/HMD)

Item	Specification	Remarks
Graphics card	RTX 4070Ti	120 Hz HDR (Check refresh rate at 4K)
HMD	Meta Quest 3	120 Hz (Check screen refresh rate)
Test contents	○ types	Configuration training, Procedure training
Test mode	VR mode	-
Measurement time	1 min	-

Fig. 11과 같이 steamVR을 기반으로 동작하는 애플리케이션 성능측정 SW로 fpsVR을 사용하여 FPS를 측정한다. fpsVR이 저장한 로그파일의 FPS 값을 활용하여 산술 평균으로 산출한다. 최종적으로 평균 FPS 값은 106.86으로 목표치를 Table 8과 같이 검증할 수 있다.



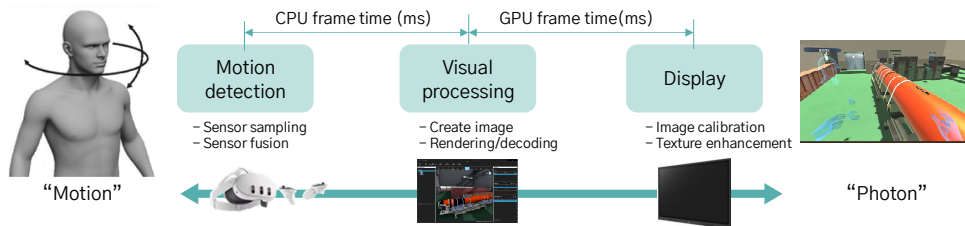
**Fig. 11.** Screen of fpsVR v2.3

**Table 8.** FPS measurement results

Time	FPS (measurement value)	Average FPS
1 s	114.25	106.86
2 s	128.32	
3 s	100.96	
⋮	⋮	
60 s	87.71	

3.7 MTPL(모션 투 포토 지연)

MTPL(motion-to-photon latency, 모션 투 포토 지연)은 착용자의 움직임이 발생한 시점부터 움직임이 반영된 콘텐츠가 디스플레이로 출력되는 시점까지 걸리는 시간을 의미한다[8]. Fig. 12는 MTPL의 개념도를 나타낸 것으로 HMD(머리)나 controller(손)을 통한 입력이 디스플레이에 반영되기까지의 시간을 MTPL로 측정하며 몰입도 있는 가상 구현을 위해 〇〇 ms 이하로 구현한다. MTPL 샘플 데이터 수집



**Fig. 12.** Methods of screen processing in a virtual environment

**Table 9.** Criteria for validating motion-to-photon delay

Category	Specification	Remarks
Scenario	〇 types	- Maintenance procedure - Inspection procedure - Component exchange procedure
Test mode	VR mode	-
Measurement time	3 min.	-
Measurement SW	fpsVR v2.3	- Performance measurement tool operating on the SteamVR platform
MTPL	HMD IMU sampling rate + CPU frame time + GPU frame time + avg. display refresh rate	- HMD IMU sampling rate: 1,000 Hz - Display refresh rate: 120 Hz

을 위해 ‘fpsVR’ 도구를 활용하며, fpsVR logging 기능을 통해 csv 파일 형식으로 기록할 수 있고 Table 9 과 같이 검증기준을 나타낸다.

앞서 언급했듯이 MTPL은 움직임이 디스플레이로 표현되기까지의 시간으로 나타낼 수 있다. 이를 나타내는 방법으로 4가지를 제안한다. 첫 번째로 HMD IMU sampling rate는 가속도계 센서가 데이터를 얼마나 자주 ‘캡처’하는지를 나타내는 것으로, 높을수록 더 자주 측정을 수행하므로 움직임의 변화를 더 정밀하게 포착할 수 있다. HMD IMU sampling은 자이로스코프의 sampling rate인 1,000 Hz[9]를 기준으로 샘플링의 불확실성을 고려하여 2 ms로 계산한다. 두 번째는 렌더링을 위하여 프레임을 준비하는 시간(CPU frame time)이다. 세 번째는 GPU가 프레임을 렌더링하고 화면에 표시하는 시간(GPU frame time)이다. 네 번째는 디스플레이의 지연시간으로, HMD 및 모니터의 주사율이 120 Hz이므로 이는 8.3 ms의 지연시간이 발생한다고 가정할 수 있다. Table 10은 MTPL을 참고할 수 있는 지표를 산출한 표이다.

**Table 10.** Results of MTPL measurement and validation

No.	HMD IMU sampling rate (ms)	CPU frame time (ms)	GPU frame time (ms)	Display refresh rate (ms)	Total (ms)
1	2.0	4.5	2.3	8.3	17.1
2	2.0	4.5	2.8	8.3	17.6
3	2.0	4.9	2.9	8.3	18.1
4	2.0	4.4	3.5	8.3	17.1
5	2.0	4.9	2.7	8.3	17.6
6	2.0	4.8	3.4	8.3	18.7
7	2.0	5.5	3.0	8.3	18.2
8	2.0	5.1	3.8	8.3	19.4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1000	2.0	5.3	3.1	8.3	18.7
Average					18.9

### 3.8 화질

교육훈련체계의 HMD, 전자칠판/대형전시기, PC 모니터의 디스플레이 화질은 ○○○(○○○○ × ○○○○)급 이상으로 구현한다. 각 장비의 해상도는 Table 11과 같다.

**Table 11.** Display resolution

Category	Device	Resolution
Training environment display	Electronics whiteboard	3,840 × 2,160
	Monitoring display (instructor view)	-
	Monitoring display (trainee view)	-
Trainee equipment	VR-HMD	2,064 × 2,208
	Training PC	3,840 × 2,160

## 4. 결론

본 논문에서는 VR 기반의 유도탄 및 수중탄 과학화 정비교육체계를 설계·검증하기 위한 방안을 제시하였다. 특히 정량적 목표 8가지를 대상으로 연구를 진행하였으며 가상환경 기반 교육체계의 정확성, 시스템 통일성, 사용자 실감도 향상을 목적으로 교육체계를 고안하였다.

이러한 내용을 통해 군에서 실제로 수행하기 어려운 정비 교육 분야에서 정비요원의 전문성 증대와 장비 성능 유지 향상을 기대한다. 또한 지속적인 시제품 제작과 사용자 기반의 성능 평가, 효율성 검증 등을 통하여 제시한 방법에 대한 유효성을 입증하는 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 참고문헌

- [1] Cheng Shu et al. "Study on Maintenance Training System for Certain Missile Based on Virtual Reality Technology," 2010 International Conference On Computer Design and Applications, Vol. 2, IEEE, 2010.
- [2] Kristine Gruwell, "LRAFB Virtual Reality Maintenance Center to Enhance Airmen's training," <https://www.amc.af.mil/News/Article-Display/Article/2479191/lrafb-virtual-reality-maintenance-center-to-enhance-airmens-training/>
- [3] Miriam A. Thurber, "Tech Training Transformation Modernizes Tech Training with Virtual Reality," <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/2706835/tech-training-transformation-modernizes-tech-training-with-virtual-reality/>
- [4] Dongsik Cho, "A Study of New Training Content Service Platform," Proceedings of the 2025 Summer Conference of the Korean Institute Communications and Information Sciences.
- [5] Seungwook Lee, "A Study on the VR-based Guided Missile and Underwater Torpedo Maintenance Training System and the Method of Performance Evaluation," Proceedings of the 2025 Summer Conference of the Korean Institute Communications and Information Sciences.
- [6] Rory Brown, "Meta Quest 3: Full Specifications - VR Compare," <https://vr-compare.com/headset/metaquest3>
- [7] Ginam Kim, "Researching 3D Data Optimization and Realism Techniques in Virtual Training Systems," Proceedings of the Fall Conferences of the Korean Institute of Defense Technology, 2024, pp. 82-86.
- [8] Song-Woo Choi et al. "Time Sequential Motion-to-photon Latency Measurement System for Virtual Reality Head-mounted Displays," *Electronics* 7.9 (2018): 171.
- [9] Steven M. LaValle, *Virtual Reality* (Cambridge: Cambridge University Press, 2019), <http://lavalle.pl/vr/book.html>