Check for updates

Journal of KIIT. Vol. 23, No. 12, pp. 289-299, Dec. 31, 2025. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571
http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2025.23.12.289

VR 기반 회전익 항공기 운용 절차 훈련시스템 구현 연구

이승원*, 이란희**, 배기태***

Design and Implementation of a VR-based Training System for Rotary-Wing Aircraft Operation Procedures

Seung-Won Lee*, Ran-Hee Lee**, and Ki-Tae Bae***

본 연구는 2024년도 DMC산학진흥재단의 지원을 받아 수행되었습니다

요 약

본 논문은 UH-60P 회전익 항공기의 운용 절차 중 비행 전 점검과 시동/정지 절차를 대상으로 한 VR기반 훈련시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 3D 가상환경, 시뮬레이터 동기화 모듈, 다중 사용자 협업, 통합 관리시스템으로 구성되며, 실제 조종석 장비와의 실시간 연동, 체크리스트 기반 절차 학습, 조종사·부조종사 협업, 교관용 관리 기능을 지원한다. 훈련생은 시나리오 기반 반복 학습을 통해 운용 절차의 세부 단계와 체크리스트를 체계적으로 숙달할 수 있다. 또한 교관은 훈련 과정을 실시간으로 모니터링하고 수행기록을 분석하여 개별 학습자의 오류 패턴과 숙련도에 따라 맞춤형 피드백과 보완 전략을 제공할 수 있다. 향후 연구에서는 디지털 트윈과 AI 기반 학습 분석 기법을 접목하여 다양한 항공 훈련 환경으로의 적용 가능성을 확대할 것으로 기대된다.

Abstract

This paper proposes a VR-based training system focused on the pre-flight inspection and engine start/stop procedures of the UH-60P rotary-wing aircraft. The system consists of a 3D virtual environment, a simulator synchronization module, multi-user collaboration, and an integrated management system. It supports real-time integration with cockpit equipment, checklist-based training, pilot–copilot collaboration, and instructor management. Trainees can systematically master operational procedures and checklists through scenario-based learning. Instructors can monitor the training process in real time and analyze performance data to provide personalized feedback and supplementary strategies based on individual error patterns and proficiency. Future research will integrate Digital Twin technology and AI-based analytics to further expand the system's applicability to aviation training.

Keywords

virtual reality, rotary-wing aircraft, operation procedure, training simulator, multi-user collaboration

* 서울미디어대학원대학교 미디어비즈니스학과 석사과정
- ORCID: https://orcid.org/0009-0001-6690-8690
** 서울미디어대학원대학교 산학협력교수
- ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7079-9723
*** 서울미디어대학원대학교 미디어비즈니스학과 교수(교신저자)
- ORCID: https://orcid.org/0009-0008-2414-497X

· Received: Sep. 11, 2025, Revised: Oct. 15, 2025, Accepted: Oct. 18, 2025
· Corresponding Author: KiTae Bae
Dept. of Media Business, 99 Hwagok-ro 61 gil, Gangseo-gu, Korea
Tel.: +82-6393-3227, Email: ktbae@smit.ac.kr

Ⅰ. 서 론

항공기 비행 전 점검 및 시동/정지 절차는 안전한 운항을 위해 반드시 수행되어야 하는 핵심 과정으로, 조종사의 숙련도를 높이는 데 중요한 역할을 한다. 그러나 기존 훈련 방식은 높은 비용과 공간 제약, 접근성 부족 등의 한계로 충분한 실습 기회를 제공하기 어렵다. 실제 항공기나 고가 시뮬레이터를 활용한 훈련은 현실감을 제공하지만 운영 비용이 높고 활용 가능한 시간과 장소가 제한된다. 반면 컴퓨터 기반 훈련(CBT, Computer Based Training)이나 동영상 학습 방식은 비용 절감 효과는 있지만, 상호작용이 부족해 실제 조종 환경과 차이가 크다. 이러한 문제를 보완하기 위한 대안으로 VR 기반 항공기 훈련시스템이 주목받고 있다[1]. VR은 고화질 그래픽과 몰입형 환경을 통해 실제 비행 조건을 재현할 수 있으며, 간략화된 시뮬레이터 장치와의 실시간 동기화를 통해 단순 지식 전달을 넘어 감각적·동작적 경험을 제공한다. 이는 조종사의 절차 숙달을 강화하고 반복 학습 효과를 극대화하는 데 기여한다.

VR 기반 시뮬레이터는 몰입형 환경을 통해 실제 비행 조건을 모방할 수 있으며, 이는 조종사 교육뿐 아니라 항공기 설계·유지보수 분야에서도 활용도가 높아지고 있다. 또한 기존 CBT 대비 교육 효과가 높고 실기 훈련 대비 비용 절감과 접근성 향상이라는 장점을 지닌다[2]. 아울러 군사 및 항공 분야에서 강조되는 AR/VR 기반 교육·훈련 체계 연구는 단순한 보조를 넘어, 훈련 과정의 우선순위 결정 및 AR·VR 기술 적용 수준 설정에 관한 과학적 기준 마련이 필요함을 강조하고 있다[3]. 이는 항공기 훈련시스템에도 적용될 수 있으며, 제한된 예산 내에서 효과성과 효율성을 극대화할 수 있는 체계적 접근을 가능하게 한다.

본 연구에서는 UH-60P 회전익 항공기를 대상으로, 비행 전 점검 및 시동/정지 절차 훈련을 지원하는 VR 기반 훈련시스템을 설계·구현하였다. 제안된 시스템은 3D 가상환경과 조종석 시뮬레이터를 통합하여 실제 훈련과 유사한 수준의 상호작용과 몰입형 경험을 제공하며, 표준 점검 절차를 체계적으로 반영한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 선행 연구를 통해 VR 기반 항공기 훈련시스템의 최신 동향을 분석하고, 3장에서 제안하는 VR 훈련시스템의 설계 개념을 제시한다. 4장에서는 시스템 모듈별 구현 내용을 상세히 설명하며, 5장에서 결론과 향후 연구 방향을 제안한다.

Ⅱ. 관련 연구

최근 항공 분야에서는 VR기반 훈련시스템이 빠르게 확산되고 있으며, 이는 기존 고비용·고위험 훈련 방식을 보완하는 효과적인 대안으로 자리 잡고 있다. 이 시스템은 훈련 목표에 맞춘 시나리오 기반 단계적 교육을 제공하며, 훈련생이 몰입형 환경에서 반복적으로 절차를 숙지할 수 있도록 지원한다. 대표적인 해외 사례로 미국 육군의 STE(Synthetic Training Environment) 프로젝트를 들 수 있다. STE는 항공기·헬기·무인기 운용을 포함한 가상 전장 훈련 환경을 구축해 실제 환경(Live), 가상환경(Virtual), 합성 환경(Constructive)을 결합한 통합 훈련체계를 지향한다. 이를 통해 조종사는 실제 전투 상황과 유사한 임무를 수행하며 상황 인식 능력과 협업 능력을 동시에 향상시킬 수 있다[4]. 2021년 국내에서 개발된 항공기 정비 점검 교육 플랫폼은 HMD를 활용하여 몰입형 가상환경에서 점검 과정을 실습할 수 있도록 설계되었다. 해당 시스템은 사용자 관리와 학습 이력 추적, 데이터 관리 및 교육 운영 기능을 하나의 통합 프레임워크로 제공하며, 훈련 제어·감독 모듈과 상황 분석 도구를 통해 교관이 훈련 과정을 체계적으로 관리하고 평가할 수 있는 환경을 지원한다. 장소 제약 없이 교육을 수행할 수 있다는 장점이 있으나, 항공기 진동이나 실제 조종 장치 조작감 등 물리적 피드백 반영에는 한계가 있다[5].

최근에는 단순한 시뮬레이션 수준을 넘어, 혼합현실과 디지털 트윈 기술을 결합하는 방향으로 발전하고 있다. Varjo는 고해상도 혼합현실 기술을 적용한 RVCT Air Program을 통해 Apache, Chinook, Blackhawk 헬기 훈련 환경을 구현하였으며, 물리적 조작 장치와 실시간 상호작용이 가능한 완전 몰입

형 훈련을 지원한다[6]. 또한 Booz Allen은 5G 기반 무선 XR 훈련시스템을 개발하여, 훈련생이 장소에 구애받지 않고 XR 콘텐츠를 활용할 수 있게 하였으며, 생체 데이터와 무기 센서 데이터를 활용한 고밀도 훈련 분석 기능을 제공한다[7]. 학습자의 역량 차이를 실시간으로 분석하고 강화학습, 연합학습, 지식그래프 기반 커리큘럼 모델을 통합하여 개인화 학습 경로를 제공하는 디지털 트레이닝 트윈(DTT, Digital Training Twin) 개념이 새롭게 제안되었다[8]. 그리고 학습자의 동기 부여와 참여도를 높이는 게이미피케이션 요소를 포함하여 실제 공항 정비 환경을 디지털로 복제하여 학습자가 반복적이고 안전하게 정비 절차를 연습할 수 있도록 하는 연구도 진행되고 있다[9]. 그리고 AI 기반 분석과 실시간 데이터 연동을 활용하여, 훈련생 숙련도 평가, 개인화 피드백, 다분야 적용 가능성이 확대되고 있다[10][11]. 이러한 흐름은 군사 항공뿐 아니라 민간 항공, 응급 구조, 무인기 운용 등 다양한 분야로 확대될 것으로 전망된다.

III. VR 기반 훈련시스템 개요

3.1 체크리스트 기반 점검 훈련시나리오

항공기의 비행 전 점검과 시동/정지 절차는 항공 안전을 보장하는 핵심 과정으로, 조종사와 부조종사가 반드시 수행해야 한다. 이러한 절차는 비행 준비 단계뿐만 아니라 비행 후 정비 과정에서도 잠재적 위험을 예방한다. 이를 위해 항공기 운용 매뉴얼에는 내·외부 점검 및 시동/정지 절차가 체계적인 체크리스트 형태로 제시되며, 훈련 과정에서도 이를 기반으로 설계된다. 훈련시나리오는 외부 점검, 내부 점검, 엔진 시동 전 검사, 엔진 시동 및 시험 운전, 계류 및 엔진 정지 단계로 구성된다. 예를 들어, 외부 점검은 항공기 전방에서 후방으로 이동하며 기체 외관과 주요 부품 손상 여부, 연료 상태 등을 확인하는 절차다. 내부 점검은 조종석 내 항법 장비, 조종 장치, 계기류와 전자 장비의 정상 작동 여부를 검증한다. 엔진 관련 절차에는 연료 공급 상태, 계기 수치, 엔진 가동 및 시험 운전, 정지 후 점검이 포함된다. 이처럼 각 항공기의 구성과 특성에 따라 항목별 체크리스트가 제공되며, 표 1은 UH-60P 기종의 외부 점검 항목 사례로 VR 환경 설계에 적용 가능한 기준을 보여준다[12]. 이러한 과정은 훈련생이 절차를 반복적으로 익히고 숙련도를 높일 수 있도록 체크리스트 기반의 표준화된 시나리오로 구성되며, VR 환경 설계 기준으로 활용된다.

표 1. 항공기 외부 점검 항목 사례
Table 1. Example of aircraft exterior inspection items

Operated object	Procedure
Publications-check -required forms & publications	1) Operation method • Pilot visual check - Manuals(flight control, equipment) - Availability of aeronautical information publications(AIP) and navigation charts - Aircraft logbook verification (maintenance remaining time, deferred defects) 2) Result and response • Inspection of onboard aeronautical publications
Helicopter covers locking device tie downs (removed&secured)	1) Operation method • Remove protective cover and mooring from the helicopter (disconnect grounding wire) • Remove or release all tie-down restraints. 2) Result and response • From the front of the aircraft, check counterclockwise for the removal of tie-downs and grounding wires
Fuel sample-check a. For contamination before first flight of the day b. For contamination after adequate settling time after cold refueling c. If the fuel source is suspected to be contaminated	1) Operation method • Visually inspect the dropped fuel sample from the helicopter • Check for impurities(water droplets may appear on the surface of the fuel) - When contamination of the fuel source is suspected after the first flight of the day or after refueling and sufficient settling time 2) Result and response • Check the fuel sample(verify if water droplets form on the surface of the fuel)

3.2 시스템 설계

본 연구에서 제안하는 VR 기반 회전익 항공기 훈련시스템은 UH-60P 회전익 항공기의 운용 절차를 충실히 반영하여 설계되었다. 시스템 설계의 기본 방향은 실제 훈련 환경과 유사한 몰입형 경험을 제공하고, 기존 훈련 방식의 제약을 보완하며, 조종사·부조종사 간 협업 절차를 지원하고, 기종 및 절차 확장성과 재사용성을 확보하는 데 중점을 두었다. 이를 위해 실제 항공기 도면을 기반으로 3차원 가상환경을 구축하고, 물리적 조종석 장치와 가상 객체가 실시간 동기화되도록 제어 시스템을 적용하였다. 이러한 설계를 통해 훈련생의 물리적 조작은 지연 없이 가상환경에 반영되며, 현실감 있는 조작 경험을 제공한다. 또한 조종사와 부조종사의 위치 추적 정확도와 조작 정밀도를 높여 동시에 참여할 수 있는 다중 사용자 협업 기능을 구현함으로써, 실제 운용에서 요구되는 협력적 점검 절차를 효과적으로 훈련할 수 있도록 하였다. 교관은 통합 관리시스템을 통해 훈련 과정을 통제하고, 학습자의 수행 데이터를 기록·분석하여 데이터 기반의 피드백을 제공할 수 있다. 본 시스템은 모듈형 데이터 구조를 기반으로 개발되어 향후 기종 확장이나 새로운 훈련 절차 적용에도 유연하게 대응할 수 있는 구조적 확장성을 확보하였다.

3.3 주요 구성요소 및 기능 정의

VR 기반 훈련시스템은 그림 1과 같이 시동/정지 절차 및 외부 점검 훈련 모듈, 훈련 조종석 시뮬레이터, 통합 관리시스템으로 구성된다. 훈련 모듈과 시뮬레이터는 항공기 조종석 및 외부 점검 환경을 구현한 3D 가상환경, 실제 조종석 장치와 가상환경을 실시간으로 연동하는 제어 동기화 시스템, 터치 및 모션 인식을 지원하는 사용자 인터랙션 모듈로 구성된다. 또한 학습자의 조작 및 오류 데이터를 기록하고 분석하여 훈련 성과를 피드백하는 데이터 관리 기능을 포함한다. 훈련 조종석 시뮬레이터는 진동 장치가 장착된 조종석과 부조종석으로 구성되며, 컨트롤 레버(Control lever), 사이클릭·콜렉티브 장치(Cyclic & Collective device), 페달(Pedal) 등 실제 항공기와 동일한 조작 장치를 제공한다. 스피커를 통해 소음과 음향 효과를 구현하여 훈련 환경의 사실성을 높였으며, 모든 장치는 가상환경과 실시간으로 연동되어 훈련생의 물리적 조작이 그대로 반영된다. 이를 통해 훈련생은 진동, 음향, 조작 감각이 결합된 환경에서 실제 훈련에 가까운 몰입형 경험을 얻을 수 있다.

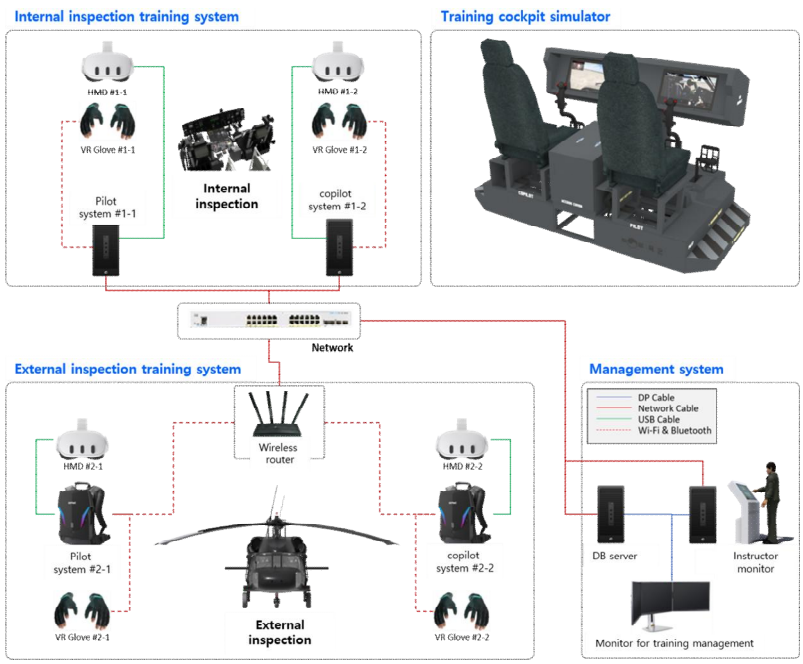

그림 1. VR 기반 훈련시스템
Fig. 1. VR-based training system

훈련시스템의 소프트웨어 구성은 그림 2와 같이 관리자 로그인, 훈련 관리, 교육·통제, 훈련, 모니터링, 분석으로 구분되는 모듈 구조를 기반으로 개발되었다.

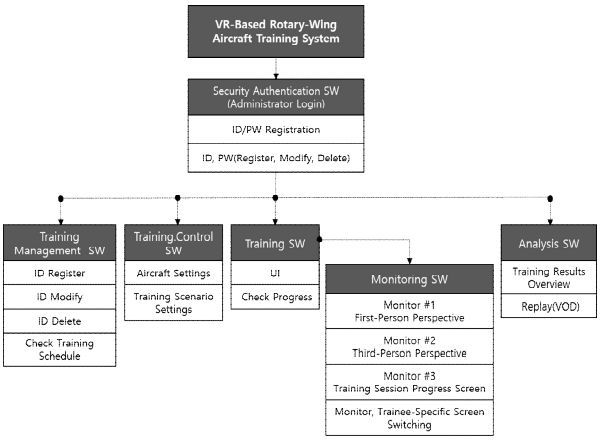

그림 2. VR 훈련시스템 모듈 구성
Fig. 2. Module configuration of a vr training system

각 모듈은 독립적으로 기능을 수행하면서도 상호 연동이 가능하도록 설계되어 유지보수성과 확장성을 보장한다. 이러한 구성은 교관에게 통합적인 훈련 관리·분석 환경을 제공하고, 훈련생에게 체계적이고 피드백 중심의 학습 경험을 제공한다.

Ⅳ. VR 기반 훈련시스템 모듈별 구현

4.1 3D 가상환경 구성

본 연구에서 구축한 3D 가상환경은 회전익 항공기(UH-60P)의 실물 도면을 기반으로 제작되었으며, 항공기 외부 구조와 내부 조종석을 정밀한 3D 모델로 구현하였다. 이를 통해 훈련생은 외부 및 내부 점검을 실제 항공기와 유사한 환경에서 상호작용할 수 있다. 모델링 과정에서는 그림 3과 같이 실제 항공기의 치수, 구조 비율, 표면 질감과 재질 을 반영하여 현실과 유사한 공간적 몰입감을 제공하도록 설계하였다. 또한 실시간 네트워크 동기화를 지원해 조종사와 부조종사가 동일한 가상공간에서 협력 절차를 수행할 수 있도록 구현하였다. 교관은 통합 관리시스템을 통해 학습자의 진행 상황을 모니터링하고, 특정 객체나 시나리오 단계를 제어하거나 재설정할 수 있다. 이러한 구조적 설계를 통해 본 시스템의 3D 가상환경은 단순한 시각적 재현을 넘어 실제 운용 매뉴얼 기반 절차 학습과 상황 대응 훈련을 수행할 수 있는 실습 환경을 제공한다.

3D 공간과 객체는 계층적 모델 구조(Hierarchical model structure)를 기반으로 구성되었다. 항공기를 단일 모델로 구현하는 대신 외부 동체, 주익, 로터, 착륙 장치, 엔진, 계기판, 개별 스위치 및 레버 등으로 세분화하여 계층 구조를 구성하였다. 이러한 계층화는 훈련 과정에서 특정 부품이나 장치의 상태를 독립적으로 제어할 수 있도록 하며, 구조 해석에 필요한 위치 좌표, 동작 범위, 충돌 판정 영역, 손상 여부 등의 속성 정보를 선택적으로 추출하여 프로그램 내에서 활용할 수 있도록 한다. 또한, 훈련시나리오에 정의된 객체의 상태 정보와 설정값을 실시간으로 반영되도록 데이터 연동을 구현하였다. 예를 들어, 엔진 점검 시나리오에서는 연료량, 엔진 온도, 회전 속도와 같은 동적 데이터가 가상환경 내 계기판에 즉시 반영된다. 사용자가 컨트롤 레버나 스위치를 조작하면 해당 입력이 곧바로 가상 객체의 상태 변화로 연결되며, 이를 통해 훈련생은 항공기의 동작 원리를 직관적으로 확인하고 절차 수행에 따른 피드백을 즉시 얻을 수 있다.

그림 3. UH-60P 외형과 조종석 3D 모델링
Fig. 3. 3D modeling of UH-60P exterior & cockpit

4.2 제어장치 동기화를 위한 연동 시스템

본 연구에서 제안하는 VR 기반 훈련시스템은 시뮬레이터 내 조종석 장치 조작을 가상환경에 실시간 반영하기 위해 물리적 인터페이스와 가상 인터페이스 간 데이터 동기화 시스템을 설계하였다. 이를 위해 훈련용 실감 조작 컨트롤러(스위치, 버튼, 컨트롤 레버, 사이클릭·콜렉티브, 페달)와 VR 공간의 가상 Controller object를 매핑하고, 조종사의 물리적 입력이 지연 없이 가상 객체 동작으로 반영되도록 했다. 초기 보정 단계에서 각 장치의 입력 범위를 측정해 가상 객체 동작 범위와 일치시킨 후, 사용자의 조작 입력이 센서 신호로 변환되어 VR 엔진에 전달된다. 이 신호는 실시간으로 가상환경 내 객체의 위치·회전·상태 변화를 제어하며, ±0.1초 이내의 동기화 지연을 유지해 실제 조작과 가상 반응 차이를 최소화했다. 또한 각 조작 항목과 구성품에는 훈련 절차별 동작 규칙이 정의되어 있다. 예를 들어, 엔진 시동 전 점검 시 연료 밸브를 열지 않으면 엔진 시동 버튼 입력이 무효가 되도록 설계해 실제 운용 절차와 동일한 조건부 로직을 구현하였다. 이를 통해 훈련생은 단순히 장치를 조작하는 수준을 넘어 절차적 순서와 조건 충족 여부를 고려한 훈련을 수행할 수 있다. 조작이 정확히 이루어진 경우 긍정적 피드백을 제공하며, 잘못된 조작이나 누락이 발생하면 경고 피드백을 준다. 이러한 피드백은 훈련생의 학습 효과를 강화할 뿐만 아니라, 교관이 훈련 과정을 분석하는 근거 자료로 활용된다.

본 제어장치 연동 시스템은 비행 전 점검과 시동/정지 절차 전반에 적용되었으며, 표 2와 표 3에 제시된 바와 같이 각 점검 기능별 상호작용 규칙을 정의해 구현하였다.

이를 통해 훈련생은 물리적 장치와 가상환경을 통합적으로 활용하면서 실제와 유사한 상호작용 경험을 얻고 절차 수행 능력과 숙련도를 효과적으로 향상시킬 수 있다.

표 2. 비행전 점검 절차 인터렉션
Table 2. Pre-flight inspection interaction

Function	Interaction
Look_at	Visual inspection procedures and target sight line
GrabAuto	Activated when the trainee grabs it (grabbing it releases the rope)
GrabPushMove	Performed by grasping and pushing with the hand (grasp the cabin door and push it open)
TouchPushAuto	Activated by pressing with the fingertip (pressing the lock release button causes the latch to pop out)
GrabRotateMove	Performed by grasping and turning with the hand (grasp the handle and rotate it)
TouchRotateAuto	Activated by grasping and turning (grasp the fuel cap and rotate it)
GrabRotateMove	Activated by grasping and turning, operating in conjunction with another mechanism (when the tail rotor is rotated by hand, the main rotor rotates simultaneously)
Mount	Grasp the structure and step up onto it (climb onto the upper part of the aircraft)

표 3. 시동/정지 절차 인터렉션
Table 3. Engine start/stop procedure interaction

Function	Interaction
Look_at	Visual inspection procedures and target sight line
GrabPushMove	Performed by grasping and pushing with the hand (push the control lever forward).
GrabRotateAuto	Performed by grasping and turning (rotating the dial button activates the function)
Toggle	Switch operation
TouchPushAuto	Press the button to execute the function
Input:CO	Synchronization between the physical collective lever rotation and the virtual collective rotation value
Input:T	Synchronization between the physical collective switch operation and the virtual collective switch operation
Input:CY	Synchronization between the physical cyclic rotation and the virtual cyclic rotation value
Input:C	Synchronization between the physical cyclic switch operation and the virtual cyclic switch operation

4.3 다중 사용자 협업 기능

시스템은 조종사와 부조종사의 실시간 협력, 훈련생과 교관 간 양방향 소통을 지원하는 다중 사용자 협업 기능을 제공한다. 훈련생은 HMD 착용 상태에서 현실 공간의 위치와 가상환경 내 아바타 위치가 정밀하게 매핑되며, 이를 통해 훈련 환경과 절차별 정보가 정확히 시각화된다. 비행 전 점검 협업에서는 그림 4와 같이 조종사와 부조종사가 항공기 외부를 함께 이동하며 점검을 수행한다. 이 과정에서 훈련생의 실제 이동 경로는 가상공간에 동기화되고, 손동작 추적과 실시간 음성 통신이 결합하여 협업 동작이 자연스럽게 이루어진다.

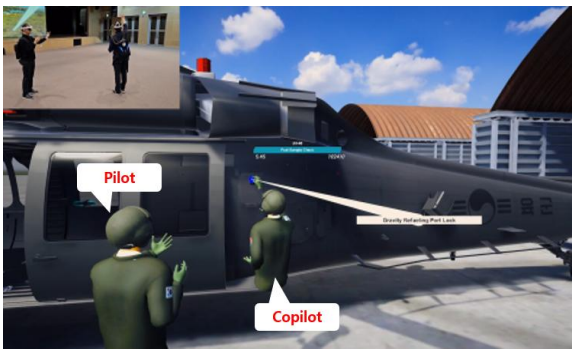

그림 4. 비행전 점검 협업
Fig. 4. Pre-flight inspection collaboration

이를 통해 점검 과정의 역할 분담과 상호 확인 절차가 강화된다. 시동/정지 절차 훈련은 그림 5와 같이 조종사와 부조종사가 시뮬레이터 좌석에서 수행된다. 이때 훈련생의 손동작 이벤트가 실시간 감지되어 가상 조작 객체에 반영되며, 두 사용자의 작업 순서와 상호 동작은 협업 동기화 모듈이 제어한다. 각 화면에는 절차별 점검 항목이 단계적으로 표시되고, 진행 상황은 실시간으로 동기화되어 공동 흐름이 유지된다. 교관은 통합 관리시스템으로 협업 상태를 모니터링하며, 필요시 특정 절차를 제어하거나 개입할 수 있다. 다중 사용자 협업 기능은 실제 항공기 운용에서 요구되는 팀워크 기반 훈련을 효과적으로 지원하는 핵심 요소다.

4.4 통합 관리시스템

그림 6은 교관이 사용하는 훈련 통합 관리시스템의 구성요소와 기능 흐름을 나타낸 것이다. 본 시스템은 장치제어시스템(Device control system), 강평시스템(Review system), 자료관리시스템(Data management system)으로 구성되며, 교관(관리) 프로그램과 서버, 중앙 데이터베이스, 훈련자 프로그램 간의 유·무선 네트워크를 통해 유기적으로 연동된다. 이를 통해 훈련 접속, 실시간 진행 상황 관리, 훈련 결과 분석까지 전 과정을 중앙 DB에서 통합적으로 관리할 수 있도록 설계되었다.

통합 관리시스템은 교관에게 통합적이고 효율적인 관리 환경을 제공하는 것을 목표로 하며, 주요 특징은 다음과 같다.

그림 5. 시동/정지절차 협업
Fig. 5. Engine start/stop procedure collaboration

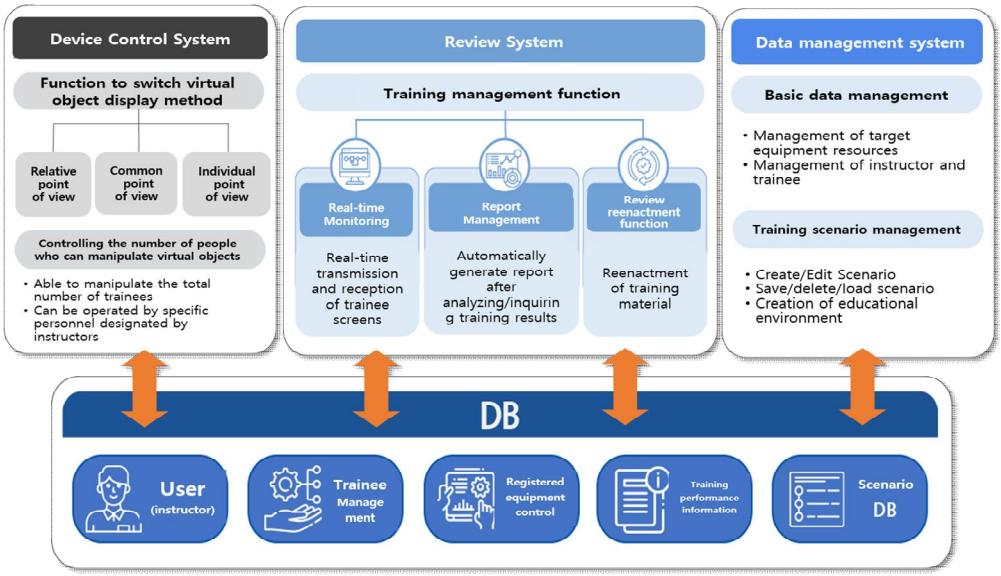

그림 6. 통합 관리시스템 구성도
Fig. 6. Integrated management system configuration diagram

첫째, 훈련 과정을 실시간으로 제어해 상황 변화에 즉각 대응할 수 있다. 둘째, 훈련 중 훈련생의 HMD 화면을 실시간 모니터링하고, 종료 후 학습 결과를 정량적으로 분석·시각화할 수 있다. 셋째, 시나리오 생성·편집·저장 기능을 통해 교관은 맞춤형 훈련을 설계하고 다양한 조건에 맞춰 시나리오를 유연하게 관리·재사용할 수 있다. 넷째, 본 시스템은 기종 확장이나 새로운 절차 적용에도 쉽게 대응할 수 있도록 구조적 확장성을 보장한다. 이러한 특징은 교관에게 체계적 훈련 관리 도구를, 훈련생에게는 맞춤형 피드백 기반 학습 환경을 제공한다.

4.4.1 장치제어시스템

장치 제어 시스템은 교관이 훈련 과정을 직접 제어할 수 있는 핵심 모듈이다. 교관은 이를 통해 훈련정보의 실시간 표시, 관제 화면 제어, 훈련 공간의 구역 구분, 점검 절차 리스트 확인 등의 기능을 수행할 수 있다. 또한 가상 객체의 디스플레이 방식을 제어하거나 훈련생의 시점을 변경할 수 있어, 훈련상황을 다양한 관점에서 지도할 수 있다. 아울러 특정 훈련생에게만 가상 객체 조작 권한을 부여하거나 제한함으로써 상황별 맞춤형 훈련 제어도 가능하다.

4.4.2 강평시스템

강평 시스템은 교관이 훈련을 실시간으로 모니터링하고 즉각적인 피드백을 제공할 수 있도록 한다. 훈련 중에는 훈련생의 HMD 화면이 실시간으로 전송되어 교관이 훈련상황을 정확히 파악할 수 있으며, 훈련 종료 후에는 시스템이 자동으로 훈련 데이터를 분석하여 보고서를 생성한다. 보고서에는 훈련 시간, 수행 결과, 점검 항목별 점수 등이 포함되며, 성과는 그래프와 표 형태로 시각화되어 제공된다. 또한 녹화된 훈련 영상은 훈련생의 동작 패턴 분석, 오류 탐지, 반복 훈련 설계 등 사후 강평 자료로 활용된다.

4.4.3 자료관리시스템

자료 관리 시스템은 훈련 대상 장비, 교관·훈련생 정보, 기본 시나리오 데이터를 통합 관리한다. 시나리오의 생성·편집·저장·삭제 기능을 제공해 다양한 훈련 조건을 반영할 수 있으며, 교관은 필요에 따라 특정 점검 절차를 강조하거나 생략하는 맞춤형 시나리오를 작성할 수 있다. 작성된 시나리오는 다른 훈련 세션에서도 재사용할 수 있고, 향후 항공기 기종이 확장될 때도 쉽게 변환·적용할 수 있다. 이러한 기능은 훈련콘텐츠의 유연성과 재사용성을 높여 시스템의 확장성을 보장한다.

그림 7. 훈련 통계
Fig. 7. Training statistics

V. 훈련시스템 사용성 평가

본 연구에서는 개발된 훈련시스템의 사용성 및 사용자 피로도를 정량적으로 분석하기 위해 체험 후 설문조사를 실시하였다. 설문은 시스템을 1회 이상 체험한 학습자 30명을 대상으로 진행되었으며, 시각적 피로, 신체 불편감, 통증 등 다양한 요인을 포함하여 표 4와 같이 총 20문항으로 구성하였다. 각 문항은 '전혀 그렇지 않다(5점)'에서 '매우 그렇다(1점)'까지의 5점 리커트 척도(Likert Scale)로 평가하였고, 항목별 점수를 환산하여 총점 100점 기준으로 분석하였다. 점수가 높을수록 피로도가 낮고 시스템 사용성이 우수함을 의미하도록 설계하였다.

설문 결과, 전체 평균 점수는 96.13점으로 나타났으며, 이는 시스템 사용 중 시각적 피로와 신체 불편감이 매우 낮음을 의미한다. 특히 시각적 피로 항목에서 평균 4.74점 이상으로 디스플레이 밝기, 초점 깊이, 인터페이스 구성 등에서 안정성이 우수하다는 평가를 받았다. 또한 신체 불편 및 통증 항목에서도 응답자 대부분이 '매우 그렇지 않다' 또는 '그렇지 않다'에 응답해 시스템 사용 중 신체 피로가 크지 않은 것으로 분석되었다. 각 점검 항목별 훈련 시간은 약 10분 내외로, 사용자는 단계별 절차에 따라 독립적으로 훈련을 수행할 수 있다. 실험 결과, 훈련 과정 동안 신체 부담은 가벼웠으며, 대부분 참가자는 집중도가 높고 피로감이 적은 상태에서 훈련을 완료하였다. 이러한 결과는 본 연구의 훈련시스템이 사용자 친화적 시각 환경과 직관적 조작 체계를 제공해 학습 과정 전반에서 높은 몰입도와 낮은 피로도를 유지할 수 있음을 보여준다.

표 4. 사용자 피로도 설문항목
Table 4. Questionnaire on user fatigue

Category	No	Statement
Visual fatigue	1	My eyes felt fatigued
	2	My eyes felt sore
	3	I blinked more frequently than usual
	4	I felt tension in my eyes
	5	My eyes felt dry
	6	My eyes felt strained
	7	My eyes became watery
	8	My eyes felt stiff or aching
Body discomfort	9	I felt dizzy
	10	It was difficult to focus on the visuals
	11	Looking downward was uncomfortable
	12	I felt sleepy
	13	I felt chest tightness
	14	Wearing glasses was uncomfortable
	15	I felt nauseous
Physical pain	16	My neck hurt
	17	I had a headache
	18	I felt pain in my temoles
	19	My shoulders felt stiff or sore
	20	My lower back felt stiff or sore

VI. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 UH-60P 회전익 항공기의 비행 전 점검 및 시동/정지 절차를 기반으로 한 VR 훈련시스템을 설계·구현하였다. 제안된 시스템은 3D 가상환경, 제어장치 동기화 모듈, 다중 사용자 협업 기능, 통합 관리시스템으로 구성되며, 실제 훈련과 유사한 수준의 몰입감과 상호작용성을 제공한다. 이를 통해 훈련생은 가상공간에서 실제 운용 절차에 근접한 경험을 반복적으로 습득할 수 있고, 교관은 통합 관리 기능을 활용하여 훈련 과정을 체계적으로 제어·분석하며 맞춤형 피드백을 제공할 수 있다.

또한 실제 조종석 장비와 가상환경 간 실시간 연

동을 통해 조작감의 사실성을 확보하고, 체크리스트 기반 절차 학습을 적용하여 단계적이고 체계적인 교육이 가능하다. 더불어 모듈형 데이터 구조와 시나리오 관리 기능을 통해 다양한 기종과 훈련상황에 유연하게 대응할 수 있는 확장성을 확보하였다.

그러나 본 연구에는 몇 가지 한계가 있다. 첫째, HMD를 활용한 장시간 훈련 시 시각적 피로가 누적되어 학습 지속성과 몰입도에 영향을 줄 수 있다. 둘째, 대규모 훈련 데이터를 효과적으로 분석하고 학습자 특성에 맞춘 피드백을 제공하기 위해 추가적인 데이터 처리 및 최적화 기법이 필요하다.

향후 연구에서는 디지털 트윈 연계를 통해 실제 운용 데이터와의 실시간 동기화를 강화하고, AR/VR 융합형 인터랙션 기능을 적용하여 다양한 교육 환경에서 활용성을 확대할 계획이다. 또한 AI 기반 자동 학습 시스템을 도입해 학습자의 숙련도와 학습 패턴에 따른 맞춤형 교육 콘텐츠를 제공하고, 정량적 평가 및 피드백 시스템을 고도화해 더욱 지능적이고 효율적인 훈련 환경을 구축하고자 한다. 이러한 발전은 군사 항공뿐만 아니라 민간 항공, 응급 구조, 무인기(UAV) 운용 등 다양한 분야로의 적용 가능성을 제시하며, 향후 통합형 항공 훈련 생태계 구축의 기반이 될 것으로 기대된다.

References

[1] J. H. Ro and C. W. Hong, "Technology Trends of Virtual Augmented Reality and Application to Military Education and Training", Journal of KIIT, Vol. 20, No. 8, pp. 151-164, Aug. 2022. http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.8.151.

[2] R. Y. Jang, J. H. Bae, H. R. Lee, and S. H. Bak, "Design and Implementation of Interworking System for Device Interaction in a Virtual Reality Setting", Journal of Digital Contents Society, Vol. 20, No. 2, pp. 289-295, Feb. 2019. https://doi.org/10.9728/dcs.2019.20.2.289.

[3] M. H. Park, S. S. Lee, K. S. Jeon, and H. J. Seol, "A Study on the Development Direction of Education and Training System based on AR/VR Technology", Journal of the KIMST, Vol. 22, No. 4, pp. 545-554, Aug. 2019. https://doi.org/10.9766/KIMST.2019.22.4.545.

[4] U.S. Army, Synthetic Training Environment (STE): Reality Check. U.S. Army Official Website, https://www.army.mil/article/286728/reality_check. [accessed: Mar. 03, 2025]

[5] S. H. Bak and J. H. Bae, "A Study on the Preventive Maintenance Daily (PMD) Training Method of XR-based Rotary Wing Aircraft", JDCS, Vol. 22, No. 7, pp. 1025-1030, Jul. 2021. http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.7.1025.

[6] Varjo, "Varjo Selected as the Headset Technology Provider for Mixed Reality Military Training Project", https://varjo.com/press-release/varjo-selected-as-the-headset-technology-provider-for-mixed-reality-military-training-project/. [accessed: Feb. 10, 2025]

[7] Booz Allen Hamilton, "Developing a Military First for AR and VR Training", https://www.boozallen.com/insights/defense/developing-a-military-first-for-ar-and-vr-training.html. [accessed: Nov. 20, 2024]

[8] I. Kabashkin, "Development of Digital Training Twins in the Aircraft Maintenance Ecosystem", Algorithms, Vol. 18, No. 7, pp. 411, Jul. 2025. https://doi: 10.3390/a18070411.

[9] A. Gomez-Cambronero, I. Miralles, A. Tonda, and I. Remolar, "Immersive Virtual-Reality System for Aircraft Maintenance Education: A Case Study", Applied Sciences, Vol. 13, No. 8, pp. 5043, Apr. 2023. https://doi: 10.3390/app13085043.

[10] I. Kabashkin, "Digital-Twin-Based Ecosystem for Aviation Maintenance Training", Information, Vol. 16, No. 7, pp. 586, Jul. 2025. https://doi.org/10.3390/info16070586.

[11] Y. Z. Attar, "Smart Aircraft Monitoring Using AI-Driven Digital Twins and IoT-Based Data Acquisition", International Journal for Multidisciplinary Research(IJFMR), Vol. 7, No. 3, pp. 1-10, May-Jun. 2025. https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i03.45022.

[12] Technical Manual, "Operator's Manual for Sikorsky UH-60P Helicopter", 2009.

저자소개

이 승 원 (Seung-Won Lee)

2003년 3월 : 백석대학교 일본어학과(학사)
2020년 3월 ~ 현재 : 서울미디어대학원대학교 미디어비즈니스학과 석사과정
관심분야 : VR, 디지터트윈, 인공지능

이 란 희 (Ran-Hee Lee)

2015년 2월 : 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과(공학박사)
2007년 9월 ~ 2022년 2월 : 서강대학교 게임교육원 교수
2022년 3월 ~ 현재 : 서울미디어대학원대학교 산학협력교수
관심분야 : VR, 메타버스, 게임, 인공지능

배 기 태 (Ki-Tae Bae)

2006년 2월 : 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과(공학박사)
2009년 3월 ~ 현재 : 서울미디어대학원대학교 미디어비즈니스학과 정교수
관심분야 : 인공지능, VR