

VR 시뮬레이션 기반 손동작 인터페이스를 활용한 도자기 보존처리 교육 시스템 개발

권 오 양¹ · 권 승 준² · 유 정 민^{3*}

¹한국전통문화대학교 디지털헤리티지학과 박사과정

²한국전통문화대학교 디지털헤리티지학과 석사과정

³한국전통문화대학교 디지털헤리티지학과 교수

Development of a VR Simulation-based Hand Gesture Interface System for Ceramic Conservation Treatment Education

Oh-Yang Kwon¹ · Seung-Joon Kwon² · Jeong-Min Yu^{3*}

¹Doctoral Course, Department of Digital Heritage, Korea National University of Heritage, Buyeo 33115, Korea

²Master's Course, Department of Digital Heritage, Korea National University of Heritage, Buyeo 33115, Korea

³Professor, Department of Digital Heritage, Korea National University of Heritage, Buyeo 33115, Korea

[요 약]

본 연구는 훼손 도자기의 보존처리를 위한 가상현실(VR; Virtual Reality) 시뮬레이션 기반 교육 시스템을 제안한다. 기존의 문화유산 보존처리 교육은 학습용 영상이나 제한적인 실습 체험에 의존해, 실제 도구와 재료 사용 경험 및 보존처리 전반에 대한 몰입감을 제공하는 데 한계가 있었다. 본 연구는 머리 착용형 디스플레이(HMD; Head Mounted Display) 기반 VR 환경에서 직관적 맨손 상호작용을 통해 보존처리 도구와 재료를 직접 다루며 각 단계를 학습할 수 있는 시스템을 개발하였다. 영상 기반 학습과 비교한 결과, 실제감, 흥미도, 학습성, 인식변화에서 유의미한 차이를 보여 대중의 이해와 관심을 효과적으로 높이는 동시에, 두 학습방법이 상호보완적으로 활용될 수 있는 잠재력을 확인하였다. 향후 이 시스템은 박물관과 교육기관에서 문화유산의 보존과 복원을 위한 효과적인 교육 플랫폼으로 활용될 수 있다.

[Abstract]

This study proposes a VR simulation-based educational system for the conservation of fragmented ceramics. Traditional cultural heritage conservation education relies on video-based learning or limited hands-on experiences, which lack immersive engagement and direct use of tools and materials. To address these limitations, this study introduces an HMD-based VR system that allows intuitive hand-based interactions, enabling learners to handle conservation tools and materials while performing each step of the restoration process. Compared to video-based learning, the proposed system demonstrated significant advantages in terms of presence, interest, learning quality, and awareness change. It effectively enhances public understanding and interest while showcasing the potential for complementary use of both learning methods. This system could serve as an effective educational platform for cultural heritage conservation and restoration in museums and educational institutions.

색인어 : 도자기 복원, 문화유산 보존, 교육 시뮬레이션, 손동작 인터페이스, 가상현실

Keyword : Ceramic Restoration, Cultural Heritage Conservation, Educational Simulation, Hand Gesture Interface, Virtual Reality

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.12.3693>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 26 November 2024; **Revised** 13 December 2024

Accepted 13 December 2024

***Corresponding Author, Jeong-Min Yu**

Tel: +82-41-830-4755

E-mail: jmyu@knuh.ac.kr

I. 서론

문화유산은 사회의 역사적, 문화적 정체성을 보존하는 중요한 역할을 하며, 후대에 전승해야 할 소중한 자산이다. 특히 출토된 도자기와 같은 문화유산은 복원과 보존처리를 통해 그 가치를 유지할 수 있다. 그러나 보존처리 과정은 전문 지식과 기술이 요구되는 복잡한 작업으로, 일반 대중에게는 생소하고 접근이 어려운 분야로 인식되고 있다. 이러한 거리감은 문화유산 보존처리의 중요성에 대한 대중적 관심 부족으로 이어질 수 있다.

최근 VR 기술은 군사훈련, 의료 교육, 엔지니어링 시뮬레이션 등 다양한 분야에서 활용되며 학습 및 훈련의 효과성을 증명해왔다. 특히 VR 기술은 몰입감과 상호작용을 통해 학습자의 주의를 집중시키고, 현실에서 구현하기 어려운 상황을 안전하고 효율적으로 재현할 수 있는 강점을 가진다. 그러나 문화유산 보존 분야에서 VR 기술을 활용한 교육적 접근은 여전히 초기 단계에 머물러 있으며, 보존처리 과정을 효과적으로 전달할 수 있는 체계적인 시도가 부족한 실정이다. 기존 교육은 주로 학습용 영상이나 제한적인 실습 체험에 의존하고 있으며, 이러한 방법은 실제 도구와 재료 사용 경험이나 몰입감을 제공하는 데 한계가 있다.

이에 본 연구는 VR 기반 교육 시스템을 통해 일반인들이 보존처리 과정을 보다 쉽고 흥미롭게 체험할 수 있도록 지원하고자 한다. 제안된 시스템은 HMD 기반의 몰입형 환경에서 직관적인 손동작 인터페이스를 활용해 보존처리 도구와 재료를 실제처럼 조작하며 학습할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 학습자는 단계별 작업을 자연스럽게 이해하고 수행할 수 있으며, 보존처리의 복잡한 과정을 짧은 시간 내에 경험할 수 있다. 제안하는 시스템의 교육적 효과를 실증적으로 제시하기 위해 기존 방식인 영상 기반 학습과의 차이 분석을 통해 각각의 강점과 한계를 분석한다. 이러한 시도는 보존처리 교육의 대중화를 위한 새로운 접근을 제안하는 동시에, 문화유산 보존의 중요성을 널리 알리고 교육적 가치를 확산시키는 데 기여할 것으로 기대된다.

II. 관련연구

2-1 VR 기술의 교육적 활용 사례

VR 기술은 몰입형 학습 환경을 제공하여 다양한 교육 및 훈련 분야에서 점점 더 중요한 역할을 하고 있다. 군사훈련 [1]-[4]에서는 고도의 실무 경험이 필요한 직무에 현실적인 시뮬레이션을 통해 안전하게 훈련할 수 있도록 지원하며, 소방·구급 분야에서는 화재 진압[5]-[7], 화학사고 대응[8], 인명 구조[9],[10] 등 다양한 재난 상황을 체험하게 하여 대처 능력과 신속성을 크게 향상시킨다. 산업 분야에서는 전기

위험 인지 교육[11], 차량 도색[12], 용접[13], 엔진 정비 [14], 부품 조립[15] 등 세부 기술 훈련에 VR을 도입해 작업자의 기술력과 안전성을 강화하고 반복적인 학습을 통해 자신감을 높인다. 광업[16]과 같은 고위험 산업에서도 현실에서 실행하기 어려운 재해 탈출 등의 훈련을 VR로 안전하게 시뮬레이션하여 작업자의 대응 능력을 향상시킨다. 의료 [17],[18] 분야에서는 인체 해부와 수술 기법 연습을 통해 의료진의 기술적 역량을 강화하고, 공공 안전 교육에서는 테러대응[19]이나 교통안전[20] 시뮬레이션을 통해 위기 관리 능력을 키운다. 이처럼 VR은 다양한 직무와 산업에서 실질적인 학습 도구로 자리 잡아, 학습자가 이론적 지식을 넘어서 실제적인 경험을 쌓고 문제 해결 능력을 강화하는 데 기여하고 있다.

VR 기술은 직무 훈련뿐만 아니라 일반인들이 다양한 직업을 체험하고 특정 분야에 대한 이해를 높이는 데 효과적으로 활용되고 있다. 예를 들어, CareProfSys Profiler[21] 시스템은 VR을 통해 사용자가 컴퓨터 네트워크 전문가, 토목 엔지니어, 웹 및 멀티미디어 개발자, 화학 엔지니어, 프로젝트 관리자, 대학 교수 등 다양한 직업의 활동을 가상으로 체험할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 사용자들은 해당 직업의 실제 업무를 경험하고, 자신의 적성에 맞는지 판단할 수 있다. 또한 VRChances[22] 프로젝트는 청소년들이 VR을 통해 다양한 직업을 탐색하고, 진로 결정에 도움을 주는 몰입형 경험을 제공하며, 이외에도 유사한 연구들[23]-[24]이 진행되고 있다. OECD에서 개발한 Jexplore[25] 플랫폼과 더불어 Transfr[26], CareerLabsVR[27] 등의 VR 직업 탐색 플랫폼도 서비스되고 있다. 이러한 VR 기반 체험은 일반 대중의 특정 직업 및 전문 분야에 대한 현실적인 인식을 형성하고, 관심과 이해도를 증진시켜 사회 전반의 지식 확산과 직업적 인식 제고에 기여하고 있다.

문화유산 보존·복원 분야에서도 VR 기술을 통해 일반인들이 보존처리 과정의 복잡성과 중요성을 직관적으로 학습할 수 있는 기회 제공이 필요하다. 특히 문화유산은 국민 전체의 역사와 정체성을 담고 있는 소중한 자산이기 때문에 문화유산의 보존과 복원을 단순히 전문가의 영역으로 한정짓는 것이 아니라, 국민 전체가 가치 있게 여길 수 있도록 돕는 교육적 접근이 강조되어야 한다. 이를 통해 국민 전체의 문화유산에 대한 자부심과 보존 의식이 강화될 수 있다.

2-2 도자기 보존처리 프로세스 및 VR 콘텐츠

훼손 도자기 보존처리의 주요 과정은 보존처리 계획 수립, 세척, 접합, 복원, 색맞춤의 단계로 이루어진다[28].

- 보존처리 계획 수립: 도자기의 보존 상태를 파악하고, 제원, 표면 상태, 내부 구조 등을 조사한다. 태토, 오염물, 복원제 분석을 포함하여 철저한 검토를 거쳐 보존처리 전략을 수립하고, 필요한 도구와 재료를 준비한다.

- 세척: 도자기의 본래 조직과 다른 오염물질을 물리적 및 화학적 방법으로 제거한다. 사전 실험을 통해 적합한 세척용제 및 방법을 확인하고 세척을 실시한다.
- 접합: 접합 과정에서 발생할 수 있는 오류를 최소화하기 위해 파손된 도자기 편을 나열하고 접합 우선순위에 따라 넘버링하여 가접합을 실시한 후, 접착제를 사용해 본 접합을 완료한다.
- 복원: 결손부를 복원하여 도자기의 원형을 완성한다. 복원제를 선정하고 복원 부위를 모델링한 후 틸메우법, 성형법, 형틀 복원 등을 사용해 복원을 실시한다.
- 색맞춤: 복원된 부분이 기존 도자기와 조화를 이루도록 색감과 질감을 복원한다. 기본색을 채색하고 옅은 색에서 진한 색으로 채색하며, 붓칠법, 분사법, 터치법 등을 사용해 질감을 표현한다.

각 단계는 고도의 정밀성과 기술을 요구하며, 재질의 분석과 적합한 처리 방법 선택 등 세부적인 과정이 포함된다. 이러한 복잡한 작업은 도자기의 손상 정도와 특성에 따라 달라지며, 단계마다 많은 시간과 노력이 필요하다. 실제로 이러한 보존처리를 5년 이상의 경력을 가진 전문 작업자가 수행할 경우 평균적으로 약 60일 정도의 시간이 소요된다. 이렇듯 전문성과 시간이 요구되는 보존처리 과정은 일반인들에게는 매우 생소하고 이해하기 어려운 분야로 느껴질 수밖에 없다. 이로 인해 대중은 문화유산 보존과 복원 과정의 중요성과 그 가치를 충분히 인식하지 못할 가능성이 크다. 보존처리 이론 및 실습 교육의 경우 주로 전문 교육 과정에서 이루어지기 때문에, 일반인이 이러한 과정을 체험하거나 이해할 기회가 제한되어있는 만큼, 이러한 거리감을 해소하고 보존처리의 중요성을 전달하기 위한 노력이 필요하다.

기존의 문화유산 보존처리 교육은 주로 학습용 영상이나 제한적인 실습 체험에 의존하고 있다. 여러 기관에서 보존처리 과정을 대중에게 알리기 위해 관련 영상을 제작하고 있으며, 국립문화유산연구원 문화유산보존과학센터에서는 매년 일반인을 대상으로 보존처리 현장을 공개하고 진로체험 프로그램을 제공하는 ‘생생보존처리데이’를 운영하고 있다. 이러한 프로그램은 보존처리에 대한 대중의 관심과 이해를 높이는 데 기여하고 있으나, 운영 횟수와 참여 인원이 제한적이라는 한계가 있다. 따라서 보존처리의 과정을 효과적으로 학습하고 이해할 수 있는 대체 학습방법의 개발이 필요하다.

VR 기술을 이용한 접근 방식은 이러한 한계를 극복할 수 있는 대안이며, 대표적인 두 가지 도자기 보존처리 VR 콘텐츠 사례로는 국립중앙박물관의 디지털 실감 영상관 내 보존과학실VR[29]과 중국의 도자기 복원 e러닝 플랫폼[30]이 있다. 국립중앙박물관 보존과학실VR은 Leap Motion이 부착된 HMD를 사용하여 맨손 기반으로 가마인물형도기 보존처리를 직접 체험해볼 수 있도록 설계되었으며, 유물의 접합과 내부 상세 구조 확인을 위한 CT(Computed Tomography) 촬영을 할 수 있다. 중국의 도자기 복원 e러닝 플랫폼은 도자

기 복원 과정의 이론 지식과 실습 모듈로 구성되어 모니터와 마우스를 이용해 해체, 세척, 접합, 복원, 색맞춤 등의 보존처리 단계를 시뮬레이션할 수 있도록 하였다.

그러나 두 사례를 살펴보면 몇 가지 한계점이 존재한다. 보존과학실VR 사례의 경우 보존처리 과정이 접합 및 CT 촬영에 국한되어 있어 보존처리의 전반적인 단계를 체험할 수 없고, 체험자가 과정 중 상호작용할 수 있는 도구 및 요소가 제한적이며, 보존처리 과정에서 어떤 도구 또는 재료가 사용되는지에 대한 안내가 없다. 도자기 복원 e러닝 플랫폼 사례의 경우 완전 몰입형 VR이 아닌 웹 플랫폼 형태라 몰입성이 부족하고, 마우스 클릭을 통해 작업을 수행하는 방식이 VR 컨트롤러나 맨손 인터페이스에 비해 상호작용 수준이 떨어진다.

이러한 한계점을 극복하기 위해 본 연구에서는 HMD에 Leap Motion을 부착한 완전 몰입형 VR 환경을 기반으로 보존처리 과정이 어떤 순서로 이루어지며, 어떤 도구와 재료가 사용되는지를 자연스럽게 전달할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 사용자는 맨손 기반의 직관적 상호작용을 통해 보존처리의 각 단계를 수행할 수 있으며, 시각적 및 청각적 피드백을 통해 보다 몰입감 있고 효과적인 체험을 할 수 있다. 이를 통해 사용자는 도자기 보존처리에 대한 깊이 있는 이해를 얻고, 실제 보존처리 과정에서 요구되는 지식과 기술을 보다 친숙하게 학습할 수 있다.

표 1. 일반인 대상 문화유산 보존처리 교육 사례

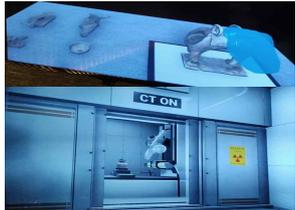
Table 1. Examples of cultural heritage conservation education for the general public

Educational video (Gyeongju National Research Institute of Cultural Heritage)	Opening of the conservation science lab and provision of hands-on programs (Cultural Heritage Conservation Science Center)
	

*The video's subtitles are written in Korean.

표 2. 도자기 보존처리 VR 콘텐츠 사례

Table 2. Ceramic conservation treatment VR content cases

Conservation science lab VR	Virtual e-learning platform on ceramic restoration
	

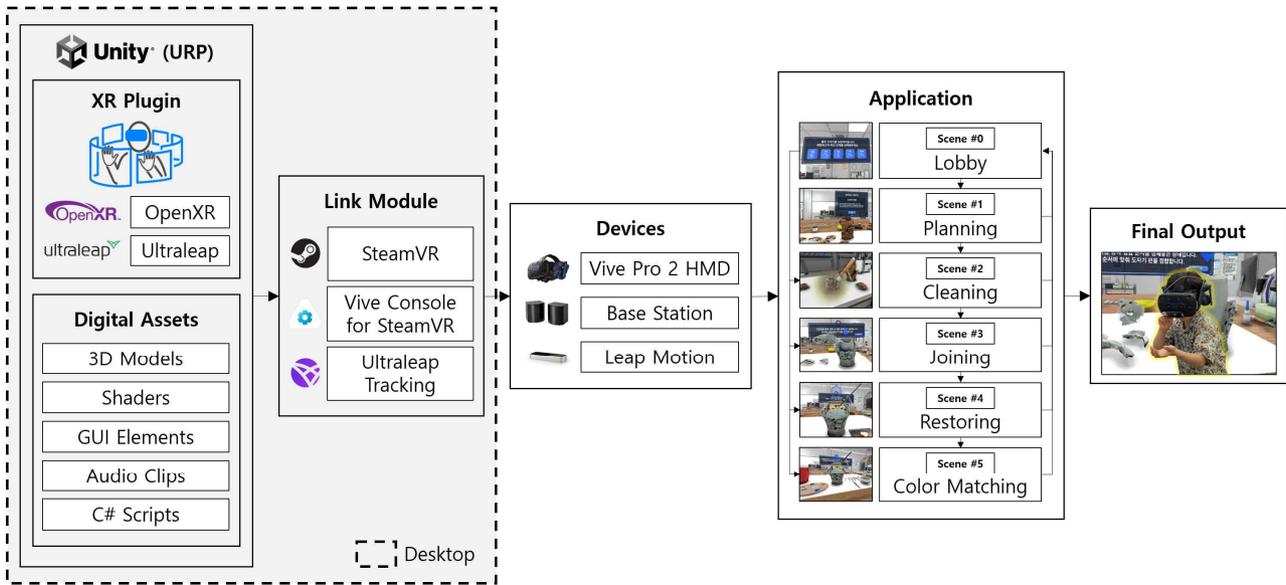


그림 1. 시스템 개요
Fig. 1. System overview

표 3. Leap Motion 기반 손동작 추적
Table 3. Leap Motion based hand gesture tracking

Open palm	Pinch	Grab

III. 시스템 설계 및 구현

3-1 체험 시나리오 기획

도자기 보존처리의 핵심 과정은 보존처리 계획 수립, 세척, 접합, 복원, 색맞춤의 단계로 구성되며, 각 단계는 장면별로 구분하여 순차적으로 각 보존처리 단계가 끝날 때마다 다음 장면으로 넘어가도록 설계되었다. 이 과정에서 사용자는 단계마다 필요한 도구를 선택하고, 보존처리 방법을 수행하면서 UI 및 효과음 등의 시각적 및 청각적 피드백을 받는다. 사용자는 단계별로 활성화되는 UI패널 및 음성 안내에 따라 작업을 수행하며, Pinch 동작을 통해 버튼을 클릭하여 UI패널과 상호작용하고, Grab 동작을 통해 도구를 질 수 있다.

체험 시작 전 로비(Lobby) 장면에서는 안전수칙 확인 및 안전용품 착용 후 체험하고자 하는 단계를 선택한다. 보존처리 계획 수립을 포함한 모든 단계에서는 보존처리 기록카드에 보존처리 계획 및 처리내용을 기록해둔다. 세척 단계에서는 이물질이 공기 중에 날리지 않도록 집진기를 켜 후 붓을 사용해 건식 세척하고, 스팀 세척기를 사용해 습식 세척하여 이물질을 제거한다. 접합 단계에서는 가접합을 통해 접합 순

서를 정해놓은 도자기 편을 접합한다. 복원 단계에서는 모델링 왁스를 뜨거운 물에 이완시켜 결손부에 접착시켜 굳힌 후 조각칼과 예폭시 수지로 결손부를 복원하고 표면을 사포로 다듬어준다. 색맞춤 단계에서는 아크릴 물감으로 복원부의 색을 주변부와 유사하게 맞춰주고, 글로스 바니쉬(Gloss Varnish)를 발라 유약 효과를 낸다. 특히 색맞춤 단계에서는 검정, 하양, 빨강, 노랑, 파랑의 5가지 물감만으로 복원부의 색을 제조함을 안내한다. 이러한 설계를 통해 사용자는 전체 과정을 자연스럽게 이해하고, 단계별 지식을 습득할 수 있다.

사용자 동선은 VR 멀미를 최소화하기 위해 작업할 위치를 고정시키고 사용할 도구들을 사용자 손이 닿을 수 있는 범위 내로 설정하여, 시점 이동을 최소화하고 안정적인 VR 체험을 보장하도록 설계되었다. 세척 단계의 경우 맥락에 맞게 사용자 위치를 개수대 앞으로 설정하였고, 나머지 단계들은 작업대 앞으로 설정하였다. 또한 맨손 기반으로 오브젝트 조작 시 손을 놓으면 오브젝트가 바닥으로 떨어지는 것이 아니라, 원래 있던 위치로 돌아가게끔 구현하였다. 이를 통해 사용자들은 맥락에 맞는 보존처리 과정을 방해감 없이 학습할 수 있으며, 불필요한 이동으로 인한 멀미를 방지할 수 있다.

보존처리 대상 도자기는 18세기 후반의 작품으로 추정되는 백자청화투각모란당초문항아리(국립중앙박물관 소장)로, 조선시대 관영사기소인 경기도 광주의 분원 가마에서 생산된 것으로 추정되는 국가지정문화유산(보물)이다. 조선 후기 도자문화를 잘 보여주는 대표적인 유물이라는 점과 가상환경에서 맨손 기반 상호작용으로 보존처리 체험을 하기에 너무 크지도 작지도 않은 적절한 크기(높이 26.7cm, 구연부 지름 14.25cm)라는 점, 국립중앙박물관에서 홈페이지를 통해 3D 데이터를 개방하고 있다는 점 등을 고려하여 선정하였다.

표 4. 시스템 개발 환경

Table 4. System development environment

Distinction		Specification	
Hard ware	Desktop	OS	Windows 10 Pro
		Processor	11th Gen Intel(R) Core(TM) i9-11900K
		RAM	128GB
	VR device	Vive Pro 2 HMD (with base stations)	
	Hand tracking sensor	Leap Motion	
Soft ware	Game engine	Unity 2021.3.34f1 (URP)	
	XR plugin	OpenXR	
		Ultraleap	
	Link module	SteamVR	
		Vive Console for SteamVR	
Ultraleap Tracking			

3-2 시스템 개발 환경

시스템은 Windows 10 Pro 데스크톱 환경에서 Unity 2021.3.34f1 버전으로 개발되었으며, XR 기능 구현에는 OpenXR 플러그인, 손동작 추적에는 Ultraleap 플러그인이 사용되었다. 보존처리 과정 중 도자기 3D데이터의 머티리얼을 다양한 느낌으로 표현할 수 있도록 Shader Graph 사용을 계획하였으며, 이를 위해 URP(Universal Render Pipeline) 환경에서 개발을 진행하였다.

Unity에서 개발한 시스템은 SteamVR, Vive Console for SteamVR, Ultraleap Tracking 등의 모듈을 통해 사용 장치와 연동하였다.

주요 사용 장치는 PC 연결형 VR 장치인 Vive Pro 2 HMD로 설정하였다. 5K 해상도, 120° FoV, 120Hz 주사율을 가졌다. PC와 유선으로 연결되어 있어 사용자 동선에 제약이 있지만, PC의 컴퓨팅 성능을 사용하기 때문에 독립형 VR 장치에 비해 높은 퍼포먼스를 낼 수 있고, 본 시스템에서는 사용자 위치가 고정되어 있기 때문에 동선 제약도 큰 문제가 되지 않는 점을 고려하였다. 추가적인 장치로는 Vive Pro 2 HMD의 위치 및 회전을 추적하기 위한 Base Station과 손동작 추적을 위해 HMD 앞에 부착한 Leap Motion이 있다.

3-3 가상환경 구성 및 오브젝트 배치

현실적인 체험을 제공하기 위해 실제 도자기 보존처리실 사전 답사를 통해 실제 도자기 보존처리실의 작업 영역별 주요 장비 및 물품을 정리한 후 가상환경 구성 및 오브젝트 배치를 진행하였다. 주요 작업 영역인 작업대의 경우 잘 깨지는 도자기의 특성을 고려하여 철제 테이블보다 상대적으로 충격을 잘 흡수하는 나무 테이블이 사용되는 점을 반영하였으며, 작업대 위에 조명과 함께 환기 및 이물질 흡수를 위한 집진기를 배치하였다. 주변에는 현미경, 폼후드, 시약장, 소도구보관장, 배합용 용기, 비울측정기, PH측정기, 데시케이터, 각종 소모품(빳

드, 비커, 티슈 등) 등을 배치하였고, 세척 영역에는 개수대, 스팀세척기, 초음파세척기, 증류수 등을 배치하였다. 또한 바닥에 안전 표시선을 배치하고 안전 스티커 및 위험 표식, 포스터 등을 곳곳에 배치하여 가상환경의 사실성을 극대화하고, 복도에서 작업 상황을 바로 확인 가능하도록 투시창을 벽면에 설치하였다. 사용자가 사용할 도구 및 재료의 경우 각 단계에 필요한 것을 선별하여 장면별 사용자 위치 앞에 배치하였다.

또한, 보존처리 과정에서 사용되는 보존처리 기록카드도 배치함으로써 실제 작업과의 유사성을 높이고 정확한 진행을 도울 수 있도록 하였다. 사용자는 보존처리 기록카드를 터치하면 나타나는 UI패널을 통해 각 단계의 진행 상황과 주요 정보를 확인할 수 있으며, 이를 통해 학습과 체험의 몰입도를 높이고자 하였다.

오브젝트 중 가장 중요하다고 할 수 있는 도자기 편의 경우 국립중앙박물관 홈페이지의 백자청화투각모란당초문항아리 3D 데이터를 바탕으로 지브러쉬(ZBrush)를 활용해 따로 제작하였다. 먼저 Dynamesh 기능을 통해 폴리곤 개수를 늘린 상태에서 마스크를 통해 조각낼 부분을 폴리그룹으로 나누어 GroupSplit을 통해 파편으로 분리하고, Zmodeler에서 각 파편마다 비어있는 파단면 부분을 만든 후 Decimate 기능을 통해 폴리곤 개수를 다시 줄이는 과정을 거쳤다. 그 후 UV를 Unwrap하고 텍스처 베이킹하여 도자기 편의 최종적으로 완성하였다.

표 5. 가상환경 구성 순서

Table 5. Virtual environment configuration order



*All safety signs placed on the system are written in Korean.

표 6. 도자기 3D 모델 현황 및 파편

Table 6. Complete and fragmented 3D models of ceramic

Complete model	Fragmented model
	



*All UI panels displayed on the system are written in Korean.

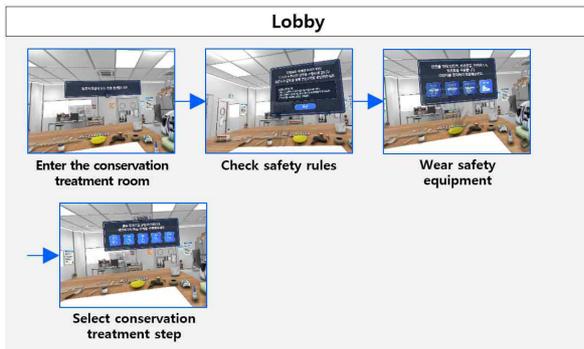
그림 2. UI 패널 및 UI 피드백 예시

Fig. 2. UI panel and UI feedback examples

3-4 UI 설계

UI 패널은 보존처리 과정에서 필요한 안전 수칙, 주의사항, 도구와 재료를 명확히 안내하는 텍스트 정보를 포함하도록 설계되었다. 사용자의 시선 중앙부에 위치시켜 시각적 부담을 줄이고, 버튼 상호작용을 용이하게 하기 위해 충분한 크기로 설정하였다. 모든 UI 패널에는 음성 안내가 적용되어 사용자가 지시사항을 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 상호작용 수행 시 효과음과 UI 피드백을 제공하여 작업 완료를 명확히 알리고 학습과 체험의 질을 높였다. 디자인은 남색 계열의 심플한 형태와 통일성을 유지하며, 가상환경을 가리지 않도록 UI를 반투명하게 설정해 시각적 피로를 최소화하였다. 이러한 설계는 사용자에게 직관적이고 몰입감 있는 학습 환경을 제공하며, 단계별 작업 과정을 명확히 인지할 수 있도록 돕는다.

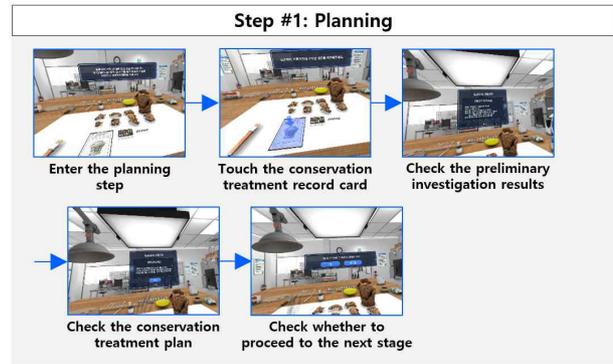
3-5 최종 결과물



*All UI panels displayed on the system are written in Korean.

그림 3. 로비 장면

Fig. 3. Lobby scene



*All UI panels displayed on the system are written in Korean.

그림 4. 보존처리 계획 장면

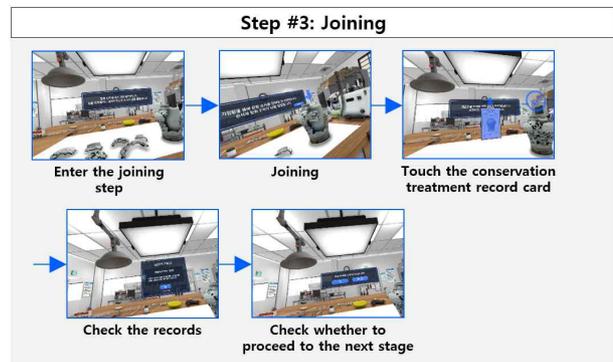
Fig. 4. Conservation treatment planning scene



*All UI panels displayed on the system are written in Korean.

그림 5. 세척 장면

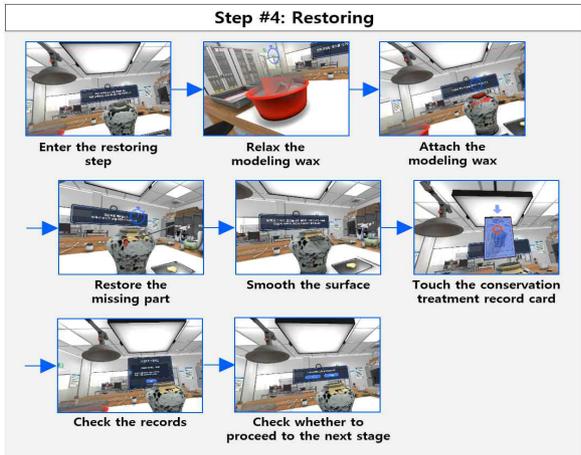
Fig. 5. Cleaning scene



*All UI panels displayed on the system are written in Korean.

그림 6. 접합 장면

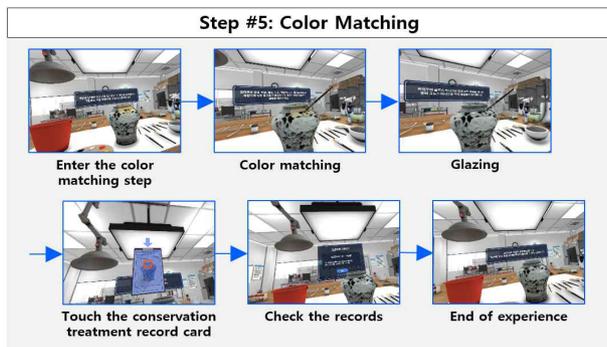
Fig. 6. Joining scene



*All UI panels displayed on the system are written in Korean.

그림 7. 복원 장면

Fig. 7. Restoring scene



*All UI panels displayed on the system are written in Korean.

그림 8. 색맞춤 장면

Fig. 8. Color matching scene

체험 시나리오 기획안에 따라 가상환경을 구성하고 오브젝트와 UI를 배치한 뒤, C# 스크립트 작성 등 작업을 통해 최종 시스템을 개발하였으며, 전체 체험 과정은 위에 나열된 그림과 같다.

IV. 사용자 평가 방법

4-1 평가 목적 및 대상

표 7. 평가를 위한 학습방법 비교군

Table 7. Comparison of learning methods for evaluation



*The video's subtitles are written in Korean.

일반인을 대상으로 하는 문화유산 보존처리 교육은 실습 체험 기회를 제공하는 ‘생생보존처리데이’와 같은 이벤트가 아니라면, 전통적으로 영상 기반 교육 방법이 사용된다. 그러나 이러한 영상 기반 교육은 몰입감과 상호작용이 부족하여 학습자의 흥미와 관심을 유지하는 데 한계가 있다. 본 논문에서는 기존의 영상 기반 교육과 본 연구에서 제안하는 VR 시뮬레이션 시스템을 비교하여, 일반인들이 도자기 보존처리 과정을 실감나고 흥미있게 학습할 수 있는지, 더 나아가 문화유산 보존·복원에 대한 관심과 중요성을 얼마나 더 깊이 인식하는지를 평가하고자 한다. 영상의 경우 도자기 보존처리 전문가를 섭외하여 깨진 백자병을 보존처리하는 작업 과정을 촬영하고, 핵심 동작 위주로 클립을 편집한 후 음성과 자막을 삽입하여 제작하였다. 평가에서는 일반인을 대상으로 학습을 진행하여, 두 교육 방법의 차이를 분석함으로써 VR 시뮬레이션의 효과를 검증한다.

4-2 평가 항목 및 측정 방법

표 8. 평가 척도 및 문항

Table 8. Evaluation scale and items

Types of evaluation	Evaluation scale	Evaluation items	
Quantitative evaluation	Presence	Sense of presence	
		Environmental interaction	
		Physical response	
		Separation from reality	
	Interest	Enjoyment of content	
		Curiosity stimulation	
		Willingness to participate	
		Prevention of boredom	
	Learning quality	Learning outcome	Content acquisition
			Confidence improvement
			Memory retention
			Application of learning
Learning immersion		Intense concentration	
		Loss of self-consciousness	
		Transformation of time	
Autotelic experience		Autotelic experience	
		Motivation for continued learning	
Learning persistence	Willingness for repetition		
	Post-completion learning continuation		
	Re-engagement desire		
	Interest increase		
Awareness change	Desire for additional information		
	Value recognition		
	Positive shift in perception		
	Satisfactions	-	
Qualitative evaluation	Complaints or suggestions	-	
	Other opinions	-	

본 연구에서는 제안된 전통적인 영상 교육과 VR 시뮬레이션 시스템의 교육적 효과를 비교 평가하기 위해 실재감(Presence), 흥미도(Interest), 학습성과(Learning Outcomes), 학습몰입(Learning Immersion), 학습지속(Learning Persistence), 인식변화(Awareness Change)를 주요 평가 항목으로 설정하였다. 학습성과, 학습몰입, 학습지속은 학습자가 학습 활동 중 경험하는 사항을 다루며, 이는 학습의 전반적인 질을 평가하므로, 모두 학습성(Learning Quality)이라는 큰 항목으로 묶어 분석한다.

실재감[31]-[35]은 VR 및 디지털 학습 환경에서 학습자가 느끼는 해당 환경에서 느끼는 존재감과 현실감을 측정하기 위해 사용된다. 흥미도[36]-[38]는 학습자의 참여와 동기 부여를 촉진하는 중요한 요소로, 학습의 재미와 자발적인 학습 태도에 영향을 미치는 요소로 평가된다. 학습성과[39]-[42]는 교육 방법의 성과를 검증하여 교육 설계의 효과성을 측정하는 데 중점을 둔다. 학습몰입[43]-[45]은 학습자가 깊이 몰입했을 때 학습 경험과 교육 효과에 미치는 영향을 분석하는 데 사용된다. 학습지속[46]-[48]은 학습자가 학습을 지속할 의향과 동기를 측정하는 척도로 사용된다. 인식변화[49]-[52]는 교육 프로그램이 교육적 메시지의 전달과 인식변화를 촉진하는 데 얼마나 효과적인지를 평가한다.

본 연구에서는 이러한 평가 척도를 VR과 영상 기반 교육에 적용하여, 각 교육 방법이 학습자에게 미치는 실재감, 흥미도, 학습성, 인식변화의 다양한 측면을 종합적으로 분석하고자 한다. 척도별 문항은 기존의 선행 연구에서 사용된 척도를 기반으로 연구의 목적과 교육 환경에 맞게 번안하여 사용하였다. 이를 통해 다양한 교육 방법의 학습 효과를 심층적으로 이해하고, 교육 설계의 개선 방향을 제시해보고자 한다.

설문 응답 방식은 5점 리커트(Likert) 척도를 사용하여, 응답자가 1점(전혀 그렇지 않다)에서 5점(매우 그렇다)까지의 범위로 자신의 동의 정도를 표시하도록 하였다. 이를 통해 각 평가 항목의 주관적 경험과 인식을 정량적으로 분석한다. 각 문항의 평균 점수를 통해 평가 항목의 전반적인 결과를 도출하며, 통계 분석을 통해 제안된 VR 학습 시스템의 교육적 효과와 전통적인 영상 교육 방식과의 차이를 비교한다.

정량적 설문 분석에 더해, 각 학습방법의 장점과 단점 및 개선사항을 파악하기 위해 정성적 설문을 추가로 실시한다. 정성적 설문은 열린 질문으로 구성되어, 참가자들이 각 학습방법에서 느낀 장점과 단점, 개선이 필요한 부분을 서술할 수 있도록 한다. 이를 통해 참가자들이 경험한 구체적인 학습 과정의 질적 측면을 탐구하고, 정량적 분석에서 드러나지 않는 정보를 수집한다.

4-3 평가 절차

본 연구의 평가는 2024년 11월 18일부터 22일까지 5일간 진행되었다. 참여자는 표 9에 제시된 바와 같이 총 38명이 모집되었으며, 상당수가 HMD를 착용하고 VR을 체험해본 경험

이 있었다. 평가에 앞서 모든 참여자에게 연구의 목적, 절차, 그리고 유의사항에 대해 설명하였다. 평가 절차는 두 단계로 구성되었다. 첫 번째로, 참여자는 9분 11초 분량의 영상 시청을 통해 학습을 진행하였다. 이후, 맨션 기반 VR 상호작용 시범을 보고 나서 VR 체험을 수행하였다. VR 체험은 참여자에 따라 10~15분 가량이 소요되었다. 모든 학습 활동을 완료한 후, 두 가지 학습방법에 대한 경험을 분석하기 위해 설문조사를 실시하였다. 이러한 절차를 통해 각 학습방법이 학습자에게 미치는 효과를 정량적 및 정성적으로 평가하였다.

표 9. 실험 참여자 구성 및 통계

Table 9. Experimental participant composition and statistics

Distinction		Number of participants (Percentage)
Gender	Male	10 (26.3%)
	Female	28 (73.7%)
Age	20's	35 (92.1%)
	30's	3 (7.9%)
Pre-experience of VR-HMD	O	30 (78.9%)
	X	8 (21.1%)
Pre-experience of cultural heritage conservation treatment	O	22 (57.9%)
	X	16 (42.1%)



*The video's subtitles and the system's UI are in Korean.

그림 9. 참여자의 실험 평가 활동

Fig. 9. Experimental evaluation activities of participants

V. 평가 결과 및 분석

5-1 상관관계 및 신뢰도 분석

분석을 진행하기에 앞서 학습성을 구성하는 학습성과, 학습몰입, 학습지속의 상대적 영향력을 파악하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하여 세 요인간의 상관관계를 알아보았다. 그 결과, 영상 학습방법에서는 학습성과와 학습지속간의 상관관계가 $r=0.771, p=0.000$ 으로 가장 높은 정(+)적 상관관계를

나타내, 정보 전달과 학습지속성 간의 밀접한 연관성을 시사하였다. 학습몰입과 학습지속은 $r=0.769$, $p=0.000$ 으로, 학습성과와 학습몰입은 $r=0.649$, $p=0.000$ 으로 정(+)적 상관관계를 나타냈다. VR 학습방법에서는 학습성과와 학습몰입 간의 상관관계가 $r=0.679$, $p=0.000$ 으로 가장 높은 정(+)적 상관관계를 나타내 VR이 제공하는 몰입형 경험이 학습성과에 강하게 기여함을 확인하였다. 학습몰입과 학습지속은 $r=0.576$, $p=0.000$ 으로, 학습성과와 학습지속은 $r=0.511$, $p=0.001$ 로 정(+)적 상관관계를 나타냈다. 따라서 영상과 VR 학습방법 모두에서 학습성을 구성하는 세 요인이 모두 정(+)적 상관관계를 나타냄을 알 수 있었다.

각 학습방법의 평가 요인이 내적일관성신뢰도(Internal Consistency Reliability)를 갖는지 알아보려고 분석에 사용된 문항들의 신뢰도 분석을 실시하였다. 검정 결과, 영상 학습방법의 신뢰도 계수(Cronbach's Alpha)는 실제감 0.890, 흥미도 0.895, 학습성 0.943, 인식변화 0.828로 나타났다. VR 학습방법의 신뢰도 계수는 실제감 0.804, 흥미도 0.796, 학습성 0.905, 인식변화 0.753으로 나타났다. 일반적으로 신뢰도 계수가 0.60 이상이면 내적 일관성이 있다고 할 수 있으므로 두 학습방법 모두에서 비교적 높은 신뢰도를 확보하였다.

5-2 정량적 분석

영상과 VR 학습방법의 실제감, 흥미도, 학습성, 인식변화 차이를 알아보기 위해 대응표본 t검정을 실시하였다. 평가 요인별 평균은 실제감의 경우 영상 2.06, VR 4.32, 흥미도의 경우 영상 3.14, VR 4.63, 학습성의 경우 영상 2.68, VR 4.02, 인식변화의 경우 영상 3.67, VR 4.28로 나타나 모든 요인에서 영상보다 VR 학습방법의 평균이 높게 나타났다. 평균 차이의 유의수준은 실제감 $t=-13.356$, $p=0.000$, 흥미도 $t=-8.911$, $p=0.000$, 학습성 $t=-8.654$, $p=0.000$, 인식변화 $t=-5.981$, $p=0.000$ 으로 유의수준 0.001을 기준으로 통계적으로 유의하게 나타났다. 문화유산 보존처리 사전경험이 있는 집단과 없는 집단 간 차이도 분석하였으나, 두 집단 모두에서 영상보다 VR 학습방법이 모든 요인에서 유의한 수준으로 긍정적인 평가를 받았다.

표 10. 정량적 분석 결과

Table 10. Quantitative analysis results

Distinction	Descriptive Statistics			t(p)	
		N	M		SD
Presence	Video	38	2.06	0.93	-13.356 (0.000)***
	VR	38	4.32	0.57	
Interest	Video	38	3.14	0.98	-8.911 (0.000)***
	VR	38	4.63	0.45	
Learning Quality	Video	38	2.68	0.81	-8.654 (0.000)***
	VR	38	4.02	0.65	
Awareness Change	Video	38	3.67	0.69	-5.981 (0.000)***
	VR	38	4.28	0.53	

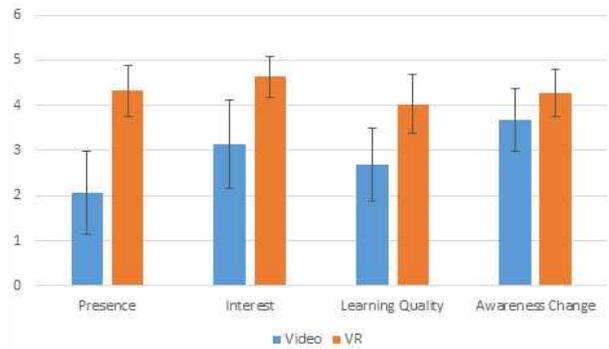


그림 10. 정량적 분석 결과 그래프

Fig. 10. Graph of quantitative analysis results

5-3 정성적 분석

각 학습방법의 정성적 문항에 대한 참여자들의 응답은 공통적인 의견을 중심으로 정리하였다. 영상 학습의 장점으로는 “많은 정보를 상세하고 구체적으로 전달 가능하다”는 의견이 가장 많았으며, “시각적·청각적으로 사실적이어서 실제 과정을 있는 그대로 볼 수 있다”와 “전문가의 시연 및 설명을 통해 전문성과 신뢰감을 느낄 수 있다”는 의견이 뒤를 이었다. 이외에도 “이해하기 쉽다”, “익숙한 방식이라 어려움이 없다”, “원하는 지점을 다시 볼 수 있다”는 의견도 제시되었다. VR 학습의 경우, “능동적인 상호작용으로 직접 체험할 수 있다”는 의견이 가장 많았으며, “재미와 흥미를 느낄 수 있다”, “몰입 및 집중할 수 있다”는 의견이 뒤를 이었다. 또한, “가상 환경과 물체가 실감나고 현장감이 있다”, “기억에 오래 남는다”, “전문 영역을 간접적으로 체험 가능하다”, “처리 과정이 시각화되어 이해하기 쉽다”는 의견도 자주 언급되었다.

단점 및 개선사항으로, 영상 학습의 경우 “지루함을 느껴 집중력을 잃기 쉽다”는 의견이 가장 많았으며, “일방적인 정보 전달로 인해 학습이 피상적·단편적으로 이루어진다”는 지적이 있었다. VR 학습의 경우, “센서 기반 맨손 조작이 생소하다”는 의견과 “VR 기기 착용 시 초점 조정과 어지러움 등 불편함이 있다”는 의견이 다수 제기되었다. 또한, “상호작용이 실제보다 단순화되어 세밀한 부분이 생략되거나 현실감이 떨어진다”는 의견도 있었다.

기타 의견으로는 “두 학습방법이 서로 보완되어 병행하면 좋을 것 같다”는 의견이 가장 많았으며, “도자기 외에 금속, 목재 등 다양한 보존처리 상황에서도 VR 체험이 가능하면 좋겠다”는 의견이 뒤를 이었다. 또한, “NPC 인물들과의 대화형 진행으로 학습에 재미를 더하면 좋겠다”와 “박물관이나 미술관에서 VR 보존처리 체험 기구로 활용하거나 상용 VR 서비스로 출시되면 좋겠다”는 의견도 제시되었다. 이외에도 “VR을 단순 놀이가 아닌 전문 학습에 활용하는 것이 의미 있다”, “문화유산 보존에 관심 있는 학생들에게 VR 체험을 제공하면 좋겠다”, “VR 체험이 일반인의 문화유산 보존처리에 대한 흥미를 높일 수 있을 것 같다”는 의견이 있었다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 연구는 전문 영역인 문화유산 보존처리를 접할 기회가 제한된 일반인들을 대상으로 문화유산 보존과 복원의 가치와 중요성을 인식할 수 있도록 VR 시뮬레이션 기반 손동작 인터페이스를 활용한 훼손 도자기 보존처리 교육 시스템을 개발하고, VR 학습방법과 영상 학습방법이 실재감, 흥미도, 학습성, 그리고 인식변화에 미치는 영향을 비교함으로써 각 학습방법의 차이를 비교하고 장점과 한계를 조명하고자 하였다.

평가 요인별 차이 분석에서는 모든 요인에서 VR 학습방법의 평균 점수가 영상 학습방법보다 높게 나타났다. 이는 VR이 단순 정보 전달을 넘어 학습자의 능동적 참여와 몰입을 유도하며, 학습 효과와 만족도를 높이는 데 유리함을 나타낸다. 특히, VR 학습방법이 문화유산 보존처리와 같은 특수한 전문 분야에서 대중의 이해와 관심을 높이는 데 강점이 있음을 시사한다.

정성적 분석에서는 두 학습방법 모두 고유한 장점과 단점을 보였다. 영상은 세부 정보를 체계적으로 전달할 수 있는 반면, 몰입도와 흥미 유발 측면에서 한계가 있었다. VR은 사용자의 몰입과 흥미를 극대화하며 학습 과정을 실감나게 체험할 수 있게 해주었지만, 센서 기반 조작과 기기 착용의 불편함, 상호작용에 있어 세밀함의 부족 등 현실적 제약이 존재하였다. 이로부터 두 학습방법이 상호보완적으로 활용될 가능성이 크며, 이를 통해 학습의 효과를 극대화할 수 있음을 확인하였다.

또한, 기타의견에서 나타난 참여자의 제안은 향후 연구와 교육 프로그램 개발에 중요한 시사점을 제공한다. 예를 들어, VR 체험을 금속, 목재 등의 다양한 보존처리 상황에 확대 적용하거나, NPC 캐릭터와의 대화형 상호작용을 추가하여 재미와 흥미를 더욱 강화할 가능성을 모색할 수 있다. 나아가, 박물관 및 미술관에서 VR 체험 기기를 통해 대중에게 보급하거나, 상용 서비스로 개발하여 교육적 가치를 확산시키는 방향도 유의미하다.

결론적으로, 본 연구는 VR이 영상 학습방법보다 효과적임을 실증적으로 보여주었으며, VR과 영상 학습방법을 문화유산 보존처리 교육에서 상호보완하여 활용하는 것도 효과적임을 시사하였다. 향후 연구에서는 이러한 결과를 기반으로 다양한 학습 시나리오와 추가적인 사용자 경험 개선 요소를 통합하여, 더 효과적이고 흥미로운 교육 방식을 설계할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 ‘한국전통문화대학교 대학원 연구개발지원 사업’의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- [1] L. Greunke and A. Sadagic, "Taking Immersive VR Leap in Training of Landing Signal Officers," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 22, No. 4, pp. 1482-1491, April 2016. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2016.2518098>
- [2] A. L. C. Doneda and J. C. de Oliveira, "Helicopter Visual Signaling Simulation: Integrating VR and ML into a Low-Cost Solution to Optimize Brazilian Navy Training," in *Proceedings of the 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, Porto de Galinhas, Brazil, pp. 434-442, November 2020. <https://doi.org/10.1109/svr51698.2020.00071>
- [3] B. J. Geoghegan, *Navigational Heads-Up Display: Will a Shipboard Augmented Electronic Navigation System Sink or Swim?*, Master's Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, March 2015.
- [4] Y. Dalladaku, J. Kelley, B. Lacey, J. Mitchiner, B. Welsh, and M. Beigh, "Assessing the Effectiveness of Virtual Reality in the Training of Army Aviators," in *Proceedings of the 2020 Annual General Donald R. Keith Memorial Capstone Conference*, West Point: NY, pp. 45-50, April 2020.
- [5] J. Heirman, S. Selleri, T. De Vleeschauwer, C. Hamesse, M. Bellemans, E. Schoofs, and R. Haelterman, "Exploring the Possibilities of Extended Reality in the World of Firefighting," in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, Utrecht, Netherlands, pp. 266-273, December 2020. <https://doi.org/10.1109/aivr50618.2020.00055>
- [6] M. Cha, S. Han, J. Lee, and B. Choi, "A Virtual Reality Based Fire Training Simulator Integrated with Fire Dynamics Data," *Fire Safety Journal*, Vol. 50, pp. 12-24, May 2012. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.01.004>
- [7] D. L. Tate, L. Sibert, and T. King, "Virtual Environments for Shipboard Firefighting Training," in *Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*, Albuquerque: NM, pp. 61-68, March 1997. <https://doi.org/10.1109/vrais.1997.583045>
- [8] D. Pinto, B. Peixoto, G. Gonçalves, M. Melo, V. Amorim, and M. Bessa, "Developing Training Applications for Hydrogen Emergency Response Training," in *Proceedings of 2019 International Conference on Graphics and Interaction (ICGI)*, Faro, Portugal, pp. 130-136, November 2019. <https://doi.org/10.1109/icgi47575.2019.8955091>
- [9] G. Koutitas, K. S. Smith, G. Lawrence, V. Metsis, C. Stamper, M. Trahan, and T. Lehr, "A Virtual and

- Augmented Reality Platform for the Training of First Responders of the Ambulance Bus,” in *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '19)*, Rhodes, Greece, pp. 299-302, June 2019. <https://doi.org/10.1145/3316782.3321542>
- [10] A. Mossel, M. Froeschl, C. Schoenauer, A. Peer, J. Goellner, and H. Kaufmann, “VRonSite: Towards Immersive Training of First Responder Squad Leaders in Untethered Virtual Reality,” in *Proceedings of the 2017 IEEE Virtual Reality (VR)*, Los Angeles: CA, pp. 357-358, March 2017. <https://doi.org/10.1109/vr.2017.7892324>
- [11] D. Zhao and J. Lucas, “Virtual Reality Simulation for Construction Safety Promotion,” *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, Vol. 22, No. 1, pp. 57-67, 2015. <https://doi.org/10.1080/17457300.2013.861853>
- [12] SimSpray. Virtual Reality Paint Training Tools and Technology [Internet]. Available: <https://simspray.net/>.
- [13] Lincoln Electric. Welding Solutions and Technology [Internet]. Available: <https://www.lincolnelectric.com>.
- [14] Rolls-Royce. The VR Training Software for US Air Force C-130J Engines [Internet]. Available: <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2020/14-09-2020-rr-launches-virtual-reality-maintenance-training-software-for-us-air-force-c-130j-engines.aspx>.
- [15] E. Yildiz, M. Melo, C. Møller, and M. Bessa, “Designing Collaborative and Coordinated Virtual Reality Training Integrated with Virtual and Physical Factories,” in *Proceedings of the 2019 International Conference on Graphics and Interaction (ICGI)*, Faro, Portugal, pp. 48-55, November 2019. <https://doi.org/10.1109/icgi47575.2019.8955033>
- [16] H. Zhang, “Head-Mounted Display-Based Intuitive Virtual Reality Training System for the Mining Industry,” *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 27, No. 4, pp. 717-722, July 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005>
- [17] Connect the Dots. Educational and Training Solutions [Internet]. Available: <https://www.connectthedots.no/>.
- [18] VRSim. VRNA: Virtual Reality Training Solutions [Internet]. Available: <https://vrsim.com/vrna/>.
- [19] A. Congès, A. Evain, F. Benaben, O. Chabiron, and S. Rebière, “Crisis Management Exercises in Virtual Reality,” in *Proceedings of the 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, Atlanta: GA, pp. 87-92, March 2020. <https://doi.org/10.1109/vrw50115.2020.00022>
- [20] K. Aati, D. Chang, P. Edara, and C. Sun, “Immersive Work Zone Inspection Training Using Virtual Reality,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2674, No. 12, pp. 224-232, December 2020. <https://doi.org/10.1177/0361198120953146>
- [21] M.-I. Dascalu, I.-C. Stanica, I.-A. Bratosin, B.-I. Uta, and C.-N. Bodea, “Virtual Reality for Career Development and Exploration: The CareProfSys Profiler System Case,” *Electronics*, Vol. 13, No. 13, 2629, July 2024. <https://doi.org/10.3390/electronics13132629>
- [22] M. Holly, C. Weichselbraun, F. Wohlmuth, F. Glawogger, M. Seiser, P. Einwallner, and J. Pirker, “VRChances: An Immersive Virtual Reality Experience to Support Teenagers in Their Career Decisions,” *Multimodal Technologies and Interaction*, Vol. 8, No. 9, 78, September 2024. <https://doi.org/10.3390/mti8090078>
- [23] Y. Jiang, V. Popov, Y. Li, P. L. Myers, O. Dalrymple, and J. A. Spencer, ““It’s Like I’m Really There”: Using VR Experiences for STEM Career Development,” *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 30, No. 6, pp. 877-888, December 2021. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09926-z>
- [24] A. A. Rafiq, M. B. Triyono, and I. W. Djatmiko, “Enhancing Student Engagement in Vocational Education by Using Virtual Reality,” *Waikato Journal of Education*, Vol. 27, No. 3, pp. 175-188, December 2022. <https://doi.org/10.15663/wje.v27i3.964>
- [25] Jexplore. Web and VR Platform for Career Exploration [Internet]. Available: <https://www.jexplore.co/solutions/pla-teforme-web-vr>.
- [26] Transfr. Virtual Reality Career Exploration [Internet]. Available: <https://transfrinc.com/products/careerexploration/>.
- [27] CareerLabsVR. Explore Careers with the Power of Virtual Reality [Internet]. Available: <https://careerlabsvr.com/>.
- [28] Cultural Heritage Conservation Science Center, Conservation Processing Guide, Author, Daejeon, 11-1550011-000863-01, November 2018.
- [29] National Museum of Korea. Immersive Digital Gallery 2 - Conservation Science Lab VR [Internet]. Available: https://www.museum.go.kr/site/main/content/digital_realistic_2.
- [30] Y. Ming, R. C. Me, J. K. Chen, and R. W. O. K. Rahmat, “A Systematic Review on Virtual Reality Technology for Ancient Ceramic Restoration,” *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 15, 8991, August 2023. <https://doi.org/10.3390/app13158991>
- [31] M. Slater and S. Wilbur, “A Framework for Immersive

- Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 6, pp. 603-616, December 1997. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603>
- [32] B. G. Witmer and M. J. Singer, “Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 7, No. 3, pp. 225-240, June 1998. <https://doi.org/10.1162/105474698565686>
- [33] M. Slater, “A Note on Presence Terminology,” *Presence Connect*, Vol. 3, No. 3, January 2003.
- [34] M. Lombard and T. Ditton, “At the Heart of It All: The Concept of Presence,” *Journal of Computer-Mediated Communication*, Vol. 3, No. 2, JCMC321, September 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x>
- [35] W. Lin, L. Chen, W. Xiong, K. Ran, and A. Fan, “Measuring the Sense of Presence and Learning Efficacy in Immersive Virtual Assembly Training,” arXiv:2312.10387, December 2023. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2312.10387>
- [36] J. Dewey, *Interest and Effort in Education*, Boston, MA: Houghton Mifflin Company, 1913. <https://doi.org/10.1037/14633-000>
- [37] U. Schiefele, Situational and Individual Interest, in *Handbook of Motivation at School*, New York, NY: Routledge, ch. 10, pp. 197-222, 2009.
- [38] J. Parong and R. E. Mayer, “Learning Science in Immersive Virtual Reality,” *Journal of Educational Psychology*, Vol. 110, No. 6, pp. 785-797, 2018. <https://doi.org/10.1037/edu000241>
- [39] Z. Merchant, E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, and T. J. Davis, “Effectiveness of Virtual Reality-Based Instruction on Students’ Learning Outcomes in K-12 and Higher Education: A Meta-Analysis,” *Computers & Education*, Vol. 70, pp. 29-40, January 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- [40] Y. Lin, G. Wang, and A. Suh, “Exploring the Effects of Immersive Virtual Reality on Learning Outcomes: A Two-Path Model,” in *Proceedings of the 14th International Conference on Augmented Cognition (AC 2020)*, Copenhagen, Denmark, pp. 86-105, July 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50439-7_6
- [41] J. Calvert and M. Hume, “Improving Student Learning Outcomes Using Narrative Virtual Reality as Pre-Training,” *Virtual Reality*, Vol. 27, No. 3, pp. 2633-2648, September 2023. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00830-y>
- [42] T. Xie, Y. Li, and Y. Tang, “Effects of Using Immersive Virtual Reality for Science Education on Learning Outcomes: A Randomized Controlled Pilot Study,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, Vol. 16, No. 6, pp. 1045-1056, December 2023. <https://doi.org/10.1109/ilt.2023.3263587>
- [43] M. Csikszentmihalyi, *Flow: The Psychology of Optimal Experience*, New York, NY: Harper & Row, 1990.
- [44] C. Dede, “Immersive Interfaces for Engagement and Learning,” *Science*, Vol. 323, No. 5910, pp. 66-69, January 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1167311>
- [45] G. Makransky and L. Lilleholt, “A Structural Equation Modeling Investigation of the Emotional Value of Immersive Virtual Reality in Education,” *Educational Technology Research and Development*, Vol. 66, No. 5, pp. 1141-1164, October 2018. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2>
- [46] J.-H. Park and H. J. Choi, “Factors Influencing Adult Learners’ Decision to Drop Out or Persist in Online Learning,” *Educational Technology & Society*, Vol. 12, No. 4, pp. 207-217, October 2009.
- [47] Y. Lee, J. Choi, and T. Kim, “Discriminating Factors between Completers of and Dropouts from Online Learning Courses,” *British Journal of Educational Technology*, Vol. 44, No. 2, pp. 328-337, March 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2012.01306.x>
- [48] J. Yu, C. Huang, Z. Han, T. He, and M. Li, “Investigating the Influence of Interaction on Learning Persistence in Online Settings: Moderation or Mediation of Academic Emotions?,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, No. 7, 2320, March 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072320>
- [49] K. M. Nelson, E. Anggraini, and A. Schlüter, “Virtual Reality as a Tool for Environmental Conservation and Fundraising,” *PLoS ONE*, Vol. 15, No. 4, e0223631, April 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223631>
- [50] Z. Xu, Y. Liang, A. G. Campbell, and S. Dev, “An Explore of Virtual Reality for Awareness of the Climate Change Crisis: A Simulation of Sea Level Rise,” in *Proceedings of the 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, Vienna, Austria, pp. 1-5, May-June 2022. <https://doi.org/10.23919/ilrn55037.2022.9815983>
- [51] J. Rasch, M. J. Zender, S. Sakel, and N. Wagener, “Mind Mansion: Exploring Metaphorical Interactions to Engage with Negative Thoughts in Virtual Reality,” in *Proceedings of the 2024 ACM Designing Interactive Systems*

Conference (DIS '24), Copenhagen, Denmark, pp. 2305-2318, July 2024. <https://doi.org/10.1145/3643834.3661557>

[52] J. Liu and X. Zhang, "Enhancing Environmental Awareness Through Digital Tools in Environmental Education in China," *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, Vol. 9, No. 28, pp. 123-129, March 2024. <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v9i28.5820>



권오양(Oh-Yang Kwon)

2021년 : 한국전통문화대학교
문화유산전문대학원
(공학석사)

2021년~현 재: 한국전통문화대학교 국가유산전문대학원 디
지탈헤리티지학과 박사과정

※ 관심분야 : 디지털 헤리티지(Digital Heritage), 가상증강현
실(Virtual Augmented Reality), HCI 등



권승준(Seung-Joon Kwon)

2023년 : 동국대학교
행정경찰공공학과 (행정학사)

2023년~현 재: 한국전통문화대학교 국가유산전문대학원 디
지탈헤리티지학과 석사과정

※ 관심분야 : 디지털 헤리티지(Digital Heritage), 가상증강현
실(Virtual Augmented Reality), HCI 등



유정민(Jeong-Min Yu)

2009년 : 광주과학기술원
정보기전공학 (공학석사)

2014년 : 광주과학기술원
정보통신공학 (공학박사)

2015년~2017년: 한국과학기술원 문화기술대학원

2017년~현 재: 한국전통문화대학교 국가유산전문대학원 디
지탈헤리티지학과 교수

※ 관심분야 : 디지털 헤리티지(Digital Heritage), 가상증강현
실(Virtual Augmented Reality), HCI 등