

## Multisensory based AR System for Education of Cultural Heritage

Eunsol Jeong\*, Jeong-eun Oh\*, Haeyeon Won\*, Jeongmin Yu\*

- \*Student, Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, Koea
- \*Student, Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, Korea
- \*Student, Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, Korea
- \*Professor, Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, Korea

### [Abstract]

In this paper, we propose a multisensory(i.e., visual-auditory-tactile) based AR system for the education of cultural heritage. The proposed system provides a multisensory interaction by designing a user to experience with a 3D printed artifact which is mapped by a virtual 3D content of digital heritage. Compared with the existing systems of cultural heritage education based on augmented reality(AR) technology, this system focused on not only providing learning experience via a sense of visual and auditory, but also a sense of tactile. Furthermore, since this systems mainly provided the direct interactions using a 3D printed model, it gives a higher degree of realism than existing system that use touch or click motions on a 2D display of mobile phones and tablets. According to a result of user testing, we concluded that the proposed system delivered the excellent presence and learning flow to users. Particularly, from the usability evaluation, a 3D printed target artifact which is similar in shape to original heritage artifact, achieved the highest scores among the various tested targets.

▶ **Key words:** Multisensory, Tactile Interaction, Augmented Reality(AR), Mobile Education, Education of heritage, Interactive Learning Environment

### [요 약]

본 연구에서는 문화유산 교육을 위한 다중 감각 (시각·청각·촉각) 지원 기반 증강현실 시스템을 제안한다. 제안된 시스템에서는 3D프린트 된 유사유물 모델을 AR 타깃으로 활용하고, 증강하는 가상객체에는 실제유물 기반으로 구현된 3D그래픽을 매핑한다. 사용자는 3D프린트 된 모델의 촉감을 느끼면서 AR유물학습을 진행할 수 있어 다중 감각을 통한 상호작용을 경험하게 된다. 기존 문화유산 교육 시스템과 비교했을 때 본 시스템은 시각 및 청각뿐만 아니라 촉각을 제공하는데 중점을 두고 설계되었다. 또한 이 시스템은 3D모델을 사용하여 직접적인 상호작용을 제공하여, 주로 휴대전화와 태블릿의 2D 디스플레이에 터치 또는 클릭 모션으로 상호작용하는 기존 시스템 보다 훨씬 사실적인 경험을 주도록 구성되었다. 사용자 테스트 결과에 따르면 본 유물교육시스템은 사용자에게 우수한 현존감 및 학습 몰입감을 제공하였으며, 타깃의 사용성 평가에서는 본래 유물과 모양이 유사한 3D 프린트 된 타깃의 사용성이 가장 좋게 평가되었다.

▶ **주제어:** 다중감각, 촉지적 상호작용, 증강현실, 모바일 학습, 문화유산 교육, 상호작용 학습 환경

- First Author: Eunsol Jeong, Corresponding Author: Jeongmin Yu
- \*Eunsol Jeong (solsolssi@nuch.ac.kr), Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage
- \*Jeong-eun Oh (jyoon878@naver.com), Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage
- \*Haeyeon Won (haeyeonw@gmail.com), Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage
- \*Jeongmin Yu (jmyu@nuch.ac.kr), Dept. of Cultural Heritage industry, Korea National University of Cultural Heritage
- Received: 2019. 10. 25, Revised: 2019. 11. 19, Accepted: 2019. 11. 20.

## I. Introduction

박물관은 학습자에게 실물 기반의 학습 기회를 제공한다. 인터넷을 통해 유물의 이미지와 정보에 대한 접근성이 증대되었지만 여전히 크기와 질감 등, 소장품의 실제적인 물질성을 직접 대하는 데서 오는 공감각적 경험을 대체할 수는 없기 때문이다. 한편, 근래 확장되는 '신 박물관학(New Museology)' 개념은 박물관과 관람객과의 상호작용을 증대시켜 다양한 시도를 하도록 유도한다. 박물관은 이런 흐름에 맞추어 관람객의 교육적 욕구에 부응하기 위해 소장품을 활용한 다양한 체험형 전시와 교육 프로그램을 제공하기도 한다[1]. 하지만 국내 박물관에서 실시되고 있는 프로그램 중 시각적 감상 외에 실물 유물을 가까이서 접하고 체험할 수 있는 예는 극히 드물다. 소장품을 체험용으로 사용하는 것은 훼손의 우려가 있고 박물관이 유물을 보존해야 한다는 목적에 부합하지 않기 때문이다[2].

이러한 문제점을 해결방안으로 최근 박물관에서는 증강현실과 같은 디지털기술을 이용하여 소장품을 공개하고 활용하는 움직임을 보이고 있다. 그래픽으로 형성된 가상 유물을 활용하는 디지털 전시는 소장품 훼손에 대한 우려를 종식시키면서 관람객과의 상호작용을 증진할 수 있는 방안이 될 수 있기 때문이다. 또한 실물 유물에 설명 정보를 제공하는 증강현실 기술은 사용자가 유물 맥락을 더 잘 이해할 수 있게 하여 학습효과를 강화한다. 실제로 국립중앙박물관과 한성백제 박물관에서는 증강현실 기술을 활용한 모바일 애플리케이션을 활용하여 관람객과 실시간·비정형적으로 상호작용한다. 그리고 증강현실 기술을 통해 유물과 연계된 가상의 부가정보를 함께 증강하여 관람객의 교육적 욕구를 충족한다[3].

그러나 기존 박물관의 증강현실 기술을 활용한 전시와 교육은 사용자에게 직접적인 촉지적 상호작용 경험을 제공하지 못하는 한계가 있다. 박물관의 몰입 이론에 관한 전시연출 연구에 따르면 운동감각과 촉각이 요구되는 체험적 관람은 몰입을 불러오고 이론적 학습내용을 이해하는 데 도움이 된다[4]. 하지만 실제로 대부분의 박물관에서 활용하는 증강현실 시스템은 2D 디스플레이를 통해 시각적·청각적으로 정보를 제공하는 데에 집중되어 있으며, 사용자에게 실물 유물을 만지는 듯한 직접적이고 촉지적인 상호작용 경험 대신 2D 디스플레이상의 터치 혹은 클릭 같은 간접적인 촉지적 상호작용만 경험하게 한다. 그리고 이와 같은 경험은 시스템 사용자의 현실과 가상의 괴리감을 증대시켜 현존감과 몰입을 저해하는 원인으로 작용한다. 또한 사용자가 몰입을 통해 얻을 수 있는 교육적 효과와 흥미를 잃게 만들며, 결과적으로 불만족스러운 사용자 경험을 하게 한다.

이러한 한계를 극복하고자 본 연구에서는 사용자가 타깃 객체(Target Object)를 통해 직접적이고 촉지적인 상호작용을 경험할 수 있는 시각·청각·촉각 기반 유물 교육 증강현실 시스템을 제안한다. 타깃 객체란 그래픽으로 구현된 가상 객체를 증강하기 위해 목적이 되는 추적 객체로, 실제 세계의 2차원 이미지 혹은 3차원 물체가 타깃이 될 수 있다. 본 연구에서 사용하는 타깃 객체는 3D 프린팅을 활용한 유사 3D 매병, 음료 캔, 지폐이며, 사용자는 이들 타깃과 그 위에 매핑된 가상 객체를 통해 유물 학습을 진행하고 현존감, 몰입감, 사용성에 대한 사용자 평가를 진행한다. 본 연구를 통하여 사용자는 시각·청각·촉각을 자유롭게 활용하는 사용자 경험을 할 수 있으며 특히, 직접적인 촉지적 상호작용을 경험할 수 있다. 또한 여러 가지 형태의 타깃에 대한 사용성 평가는 기존 증강현실 유물 교육방식을 개선하고 보다 진전된 학습 구조를 구현하며, 차후 콘텐츠 개발에 산업적으로 활용할 수 있는 결과를 제시할 것으로 보인다.

본 연구는 2장 선행연구, 3장 제안하는 방법, 4장 시스템 구현, 5장 사용자 평가, 6장 결론으로 구성된다. 선행연구 단계에서는 촉지적 상호작용에 주목한 학습 시스템 및 증강현실 연구에 대해 알아본다. 제안하는 방법에서는 실험을 위해 제작하는 학습 콘텐츠의 정보구조와 시스템 구조를 알아본다. 구현 단계에서는 콘텐츠 구성요소에 대한 소개와 상호작용 방법에 대해 알아본다. 마지막으로 사용자 평가 단계에서는 현존감, 몰입감, 사용성을 조사하고 결과를 제시한다.

## II. Related works

증강·가상현실 시스템에 대한 초기 연구는 가상 객체와 가상세계를 시각적으로 현실감 있게 구현하는 데 맞춰져 왔다. 하지만 내부 콘텐츠 구성이 기술적 진보에 못 미치면서 사용자에게 높은 경험적 가치를 제공하고자 하는 사용자 경험 측면의 연구가 요구되고 있다[5]. 특히 시각적 영상을 제공하는 데 국한되지 않고 인체의 다중감각(시각·청각·촉각)을 사용하여 가상 객체를 인지하고 상호작용하는 경험은 사용자의 현존감과 몰입감을 향상시켜 만족스러운 사용자 경험을 제공할 수 있어 주목받고 있다[6].

[7]의 연구에서는 진동으로 촉각을 자극하는 햅틱 학습 시스템을 개발하였고 이를 통해 시각적, 청각적으로 학습하는 것보다 몰입할 수 있는 환경을 구축하여 학습 효과를 높였다. 또한 [8]에서는 충돌 시 진동을 지원하는 몰입형 증강현실 시스템을 구현하여 흥미를 증대하였다. 진동에 의한 촉각에서 더 나아가 펜이나 카드모양으로 제공된 도구를 사용하여

가상 객체를 조작하는 방식으로 상호작용하는 연구도 다양하게 진행되었대[9]. 하지만 이런 방식은 가상현실 이전 매체에서 주로 사용하던 사용자 경험 방식으로, 감각적 몰입에 효과적이지만 동시에 도구를 사용하는 불편함이 있다[10]. 또한 [11]에 따르면 사용자가 콘텐츠를 이용하기 위해 도구의 사용법을 숙지해야 하는 부담도 존재한다. 이를 해결하기 위해 도구 사용의 불편함을 없애면서 촉각을 제공할 수 있는 타깃 자체를 사용하는 방법이 연구되었다. [12]에서는 3D 형태로 제작된 타깃에 비마커(Marker-less) 혹은 마커(Marker) 기반으로 가상 객체를 바로 매핑하여 직접적인 촉지적 상호작용을 구현하였으며, 이와 같은 상호작용은 가상과 현실 간의 괴리감을 줄이고 몰입 향상에 긍정적인 결과를 보였다. [13]에서도 실제 학습자가 조작하는 큐브 모양의 타깃 위로 가상의 객체가 증강되는 공감각적 증강현실 콘텐츠를 구현하여 더 나은 사용자 경험을 지원하였다.

기존 연구에서는 증강현실 콘텐츠에 촉지적 상호작용을 결합하여 사용자의 현존감을 높이고 몰입을 야기하는 모습을 보였다. 또한 학습 효과·흥미·능동적이고 적극적인 참여 등을 유도하였다. 하지만 타깃의 유형별 비교를 통해 어떤 유형의 타깃이 증강현실 콘텐츠와 결합되었을 때 사용자 경험 측면에서 현존감과 몰입을 야기하는지에 대해 연구된 바가 없었다. 또한 타깃의 사용성 비교를 통해 어떤 유형이 만족스러운 사용성을 제공하는지와 같은 사용자 평가를 토대로 한 연구 대체로 부족하였다.

### III. The Proposed Method



#### 1. Selection of contents of heritage

본 증강현실 시스템은 유물 교육 콘텐츠를 제공하는 데 초점을 맞춘다. 대상 유물 선정은 학습자 연령에 따른 교육 과정을 고려하고, 교육내용은 국가지정문화재 지정명칭으로 제시하는 요소를 학습하도록 설계한다. 또한 사용자에게 유물과 직접적인 상호작용을 하는 듯한 사용자 경험을 주기 위해 타깃 객체 위에 가상 객체를 매핑하여 증강한다. 이를 통해 사용자와 타깃 객체 간 직접적인 촉지적 상호작용을 구성한다.

먼저, 인증된 교육교재를 기반으로 대상 유물을 선정하는 작업을 진행하였다. 이런 과정은 인증되지 않은 비교육적 내용을 담은 콘텐츠가 범람하는 문제를 해결하고 학습 대상 혹은 연령을 확정할 수 있다는 장점이 있다 [14]. 대상 유물을 선정하고 학습연령을 확정하기 위하여 초·중등 교육기관에서 학습하는 사회·역사 교육과정에 포함되어 있는 유물을 조사하였다.

조사 결과, 교육부 인증 교과서인 초등학교 고학년 사회 교과서(지학사 5-2)와 중학교 역사 교과서(지학사)에서 공통적으로 청자매병에 대한 내용이 확인되었다. 또한 문화재청에서 중학교 1학년의 교육과정인 자유학기제를 지원하기 위해 배포하는 교재 ‘꿈과 끼를 찾아 떠나는 문화유산 여행’ 교재에서도 대상 유물에 대한 단원 ‘신안해저유물, 마도 2호

Table 1. Introduction of heritage artifacts

Name of heritage artifact	Picture of heritage artifact	Division	Explanation
Treasure No.1783 Celadon Prunus Vase with Inlaid Chrysanthemum, Peony, Willow, Heron, and Bamboo Design and Bamboo Strip		Manufacture method	The inlaid design on the surface includes white and black patterns is made through two steps of engraving. At first, engrave and apply white soil and then scrape it. And second, engrave and apply red soil, and scrape it again. Finally, bake twice and then it completes the elaborate inlaid design.
		Symbols of patterns	Inlaid Chrysanthemum, Peony, Willow, Heron, and Bamboo and huangchoggyu patterns were arranged on six sides. This means success, wealthy, noble and longevity.
		Use case	It was revealed that the bottle was a container containing sesame oil by the bamboo strip found together.
Treasure No.1784 Celadon Prunus Vase with Incised Lotus and Branch Design and Bamboo Strip		Manufacture method	The overall pattern was highlighted by using thick and deep intaglio lines, while the detailed expression was expressed by thin and thin intaglio lines.
		Symbols of patterns	There is an Anaruddha pattern at the top of the body, a lightning-shaped pattern at the bottom surface of the body, and incised lotus and branch patterns at the center of the body. Lotus means honest spirit and longevity.
		Use case	It was revealed that the bottle was a container containing honey by the bamboo strip found together.

선 매병(준) 이 확인되었다. 그리고 2015년 발행된 문화유산 교육 수업 안 개발 지원 사업의 결과물에서도 초등학교 5~6학년 사회 과목에서 고려청자와 관련된 교육과정을 확인할 수 있었다. 위와 같은 과정을 통해 보물 제1783호 청자 상감 국화모란유료죽문 매병 및 죽찰과 보물 제1784호 청자 음각 연화절지문 매병 및 죽찰이 대상 유물로 선정되었다. 해당 유물은 고려 1213년 난파한 것으로 추정되는 마도 2호선에서 발굴된 2점의 청자 매병으로, 화물 운송 표 역할을 하는 '죽찰(竹札)'과 함께 발견되었고 역사적 가치를 인정받아 2012년 보물로 인정된 바 있다.

위 조사 결과 학습대상 연령은 초등학교 고학년에서 중학교 1학년까지의 나이인 12세~14세를 목표로 설계되었다. 또한 학습 내용은 유물의 지정 명칭에 포함된 요소인 제작 기법, 문양 그리고 용도에 대해 다루었다. 해당 범주에 대한 상세 설명은 발굴기관에서 발행한 조사 보고서[15]와 논문[16][17] 그리고 고려청자 박물관 도록[18]을 통하여 조사되었다. Table 1에서는 최종 선정된 유물과 학습내용을 보여준다.

시스템에서 사용하는 교육방식은 국가지정문화재 지정 명칭 요소를 통해 유물의 특징을 학습하도록 설계하였다. 지정명칭은 유물의 종류, 특기사항, 문양, 형태, 기종 등 유물의 특징을 나열하여 구성된다. 지정명칭은 이전부터 한자어와 국어가 병용된 긴 지정명칭, 유형 분류 오류와 일관성 없는 순서로 명명된 지정명칭은 문화재 학습자에게 혼란을 초래하는 요소로 작용하였다[19]. 하지만 2003년부터 문화재청과 문화재위원회에서는 지정명칭의 오류를 바로잡고 일정한 순서와 원칙에 따라 문화재 명칭을 제정하는 움직임을 보이고 있다[20]. 따라서 명칭 제정 원리를 통해 유물을 학습하는 것은 학습자가 유물의 특징을 빠르게 습득하면서 일관성 있는 학습을 할 수 있게 한다. 이와 같이 지정명칭을 통해 유물을 학습하는 접근법은 세종학당 교육 영상[21]에서도 확인할 수 있다.

## 2. Design of system structures

### 2.1 Design of informational structure

시스템의 정보구조는 사용자 경험 요소(User Experience, UX)와 사용자 인터페이스 요소(User Interface, UI)를 결합하여 설계한다. 먼저, UX는 사용자에게 가상 객체(그래픽 객체)와 직접적인 상호작용을 하는 듯한 최적의 경험을 주기 위해 타깃 객체(Target Object)를 이용한다. 타깃 객체란, 그래픽으로 구현된 가상 객체를 증강하기 위한 타깃이 되는 객체로, 실제 세계의 2차원 이미지 혹은 3차원 물체가 타깃이 될 수 있다. 본 연구에서는 사용자에게 직관적이고 직접적인 촉지적 상호작용

경험을 선사하고자 타깃 객체에 바로 가상 객체를 매핑한다. 이를 통해 사용자는 타깃 객체를 손으로 직접 만지면서 가상 객체를 움직이는 직접적인 상호작용을 할 수 있고, 시·청각적 요소에 촉각적 요소를 더한 사용자 경험을 할 수 있다.

Table 2에서 보이는 것처럼 타깃 객체는 세 가지 모델로 구성되었다. 제1 타깃은 시스템에서 학습하는 유물과 형태적으로 유사한 '프린트된 3D 매병'을 사용한다. 프린트된 3D 매병의 제작은 실제 유물의 3D 스캔 데이터를 사용하여 3D 프린팅 모델을 출력하고 패턴 구분을 위한 에지·점·선·면을 표면에 생성한다. 제2 타깃은 학습 유물과 시대적·형태적 맥락이 맞지 않지만 액체를 담는 용기의 속성을 가진 '음료 캔'으로 선정한다. 마지막으로 제3 타깃은 학습 유물과 역사적·환경적 맥락이 전혀 관계되지 않지만 사용자의 접근성이 높은 물체인 '지폐'로 선정한다.

UI는 그래픽적 요소로 시스템을 구성하는 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface, GUI) 방식으로 구현한다. 타깃과 인터랙션 하며 학습하는 사용자의 편의를 위하여 나머지 한 손만으로 GUI 버튼 클릭이 자유롭도록 와이어 프레임 레이아웃을 설계한다. 그리고 색, 폰트 등의 이미지 무드 보드를 사용하여 구체적인 그래픽 작업을 실시한다. 마지막으로 사용자 경험 요소와 사용자 인터페이스를 토대로 정보를 구조화한 정보 구조도를 확정한다. Fig.1은 각 정보의 구조 및 순서 그리고 타깃 객체와 사용자가 상호작용하는 부분(AR 모드)을 명확하게 보여준다.

Table 2. Target tracking objects

First target	Second target	Third target
		
Printed 3D artifact	Drink can	Paper money

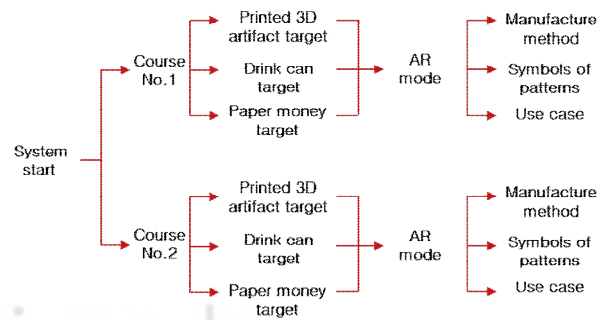


Fig. 1. Informational structure

2.2 Design of technical structure

시스템을 구현하기 위해 사용한 기술은 3D 모델링 및 증강 현실 기술이다. 먼저 3차원으로 정밀 스캔 된 유물의 3D 스캔 데이터를 획득한 후 3D 모델링을 실시한다. 3D스캔 데이터는 문화재청에서 진행한 「2012년 문화유산 3D DB 구축 사업」에서 구축된 공공데이터를 활용한다. 해당 3D 스캔 데이터는 3D 모델링 작업을 거쳐 가상 객체(Virtual) 데이터와 3D프린트된 매병(Printed 3D model)으로 후처리된다. 이 과정에서 가상 객체의 사실성을 높이기 위한 노이즈 제거 작업과 콘텐츠용으로 활용하기 위한 고품질의 메시 모델로부터 삼각형 수를 줄이는 작업(Decimate)도 함께 실시한다.

증강현실 시스템은 Vuforia SDK와 Unity3D를 통해 구현한다. Fig. 2는 Vuforia SDK와 Unity3D를 사용한 증강현실 저작기술과 통합 개발 구조를 보여준다. Vuforia SDK는 PTC 사에서 제공하는 AR개발을 위한 소프트웨어 개발 키트다. 본 증강현실 시스템에서는 영상처리와 마커·비마커 기반 트래킹을 위해 특징점을 추출하는 과정에서 Vuforia SDK를 사용한다. 프린트된 3D 매병 타깃은 ‘객체 스캔(Object Scan)’방법을 통해 특징점을 추출한다. 음료 캔과 지폐 모델은 2D 이미지를 저장하는 방법을 통해 ‘이미지 타깃(Image Target)’으로 특징점을 추출한다. Unity 3D는 게임 개발을 위한 게임엔진으로 2D·3D 모델과 물리 시스템·그래픽스·오디오·GUI·게임 로직 등을 통합하여 콘텐츠를 제작하는 통합 개발을 지원하는 소프트웨어다. Unity 3D는 Vuforia SDK를 통해 구현되는 증강현실을 가상 객체(Virtual Model)·GUI·오디오·그래픽스·물리시스템 등과 통합하여 구현한다.

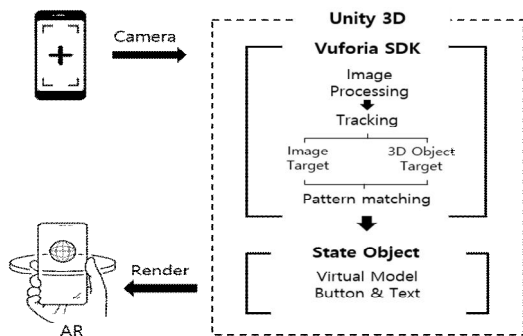


Fig. 2. Technical structure

IV. Implementations

본 연구에서 구현한 교육 시스템은 모바일용으로 제작된 청자매병 증강현실 학습 시스템이다. 영상 입력도구인 카메라 역할과 영상 출력 도구인 디스플레이 역할은 안드로이드 기반 스마트폰으로 구현되었다. Table 3은 시스템 구성 환경이다.

Table 3. System configurations

Development Environment	Window10 pro (64x, v1803) CPU: Intel(R) Core(TM) i9-7900X Graphics: NVIDIA GeForce GTX 1080Ti RAM: 48GB
Tools	Unity 3D 5.50f3 Visual Studio2015 Vuforia Engine v7.2 Android Studio
Performance Environment	MobilePhone(LG-F700S) Resolution: 5.3" QHD(2560 X 1440) CPU: Qualcomm Snapdragon 820 quad Core 2.15GHz + 1.6GHz
Core Technology	3D modelling, Image target detection, AR

증강현실 기술을 사용하여 그래픽으로 구현된 청자매병 유물을 실제로 만져볼 수 있는 타깃 객체를 사용하여 조작 하면서 시청각 학습과 촉각 상호작용을 연계하여 학습한다. 사용자는 타깃 객체를 만지고 회전시키고 스마트폰 가까이 줌인·아웃 하면서 유물을 살펴보고 기존에 박물관에서 거리를 두고 감상했던 유물을 가까이서 직조작하는 직접적인 촉지적 상호작용이라는 사용자 경험을 하게 된다. 이런 상호작용은 학습자가 조작법을 배울 필요 없이 직관적으로 움직일 수 있게 하여 기존 애플리케이션보다 더 높은 자유도를 제공하고 몰입을 유발한다.

Fig. 3은 프린트된 3D 타깃을 통해 가상 객체와 상호작용하는 장면이다. 일련의 과정을 거쳐 스마트폰 디스플레이를 통해 증강된 가상 객체는 타깃 객체와 카메라 사이의 거리에 따라 자연스럽게 축소 및 확대된다. 또한 타깃 객체를 회전하면 360도로 관람이 가능하도록 구성되었다. 하단의 GUI 버튼은 상세 학습을 위해 텍스트와 이미지로 구성된 학습 장면으로 이동하기 위하여 가상 객체와 함께 화면 내에 배치되었다. 본 시스템에서 구성된 타깃은 유물과 유사한 객체인 프린트된 3D 매병 타깃 2종, 음료 캔 타깃 1종, 지폐 타깃 1종이다. 구성된 타깃의 형태는 Fig. 4의 그림을 통해 확인할 수 있다.

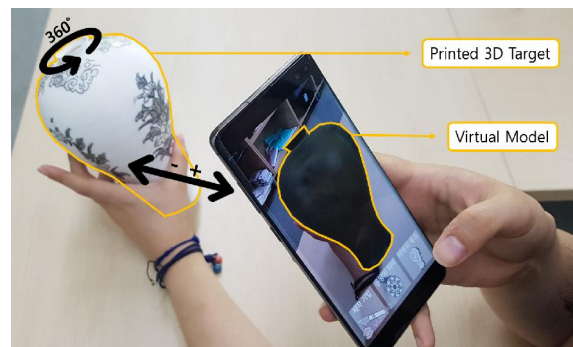


Fig. 3. Interaction with a printed 3D target



Fig. 4. Target objects

## V. Experimental Results

### 1. Outline of user testing

사용자 평가는 촉진적 상호작용성을 지닌 증강현실 애플리케이션을 사용해 본 사용자의 객체 현존감(Object Presence)과 학습 몰입감(Learning Flow)을 조사하고 애플리케이션 구성요소인 타깃 객체 간의 사용성(Usability)을 비교하는 것을 목적으로 한다. 사용자는 애플리케이션을 사용하여 학습한 후에 자기 기입방식으로 설문지를 작성한다.

구현된 증강현실 애플리케이션은 자기주도 학습을 기반으로 학습하도록 구성되었기 때문에 기존 집단교육체제의 수동적 교육방식과 차별성이 있다. 또한 촉감을 느낄 수 없는 기존의 증강현실 콘텐츠와 달리 본 연구에서는 만져 볼 수 있는 사물을 이용하여 공감각적 경험을 제공하기 때문에 사용자별로 다양한 평가가 나올 것으로 판단된다. 따라서 시범적 운용을 통하여 사용자 평가를 실시하고 현존감, 몰입감, 사용성 결과를 분석하여 향후 연구에 반영할 필요가 있다.

사용자 평가 대상은 교수자와 학습자로 구분하였다. 먼저 교수자용 사용자 평가는 문화재 분야 관계자를 대상으로 수행되었다. 평가 시기는 2018년 9월이며 평가 장소는 '2018 국제 문화재산업전' 현장이었다. 사용자 평가는 설문지에 의한 자기기입방식으로 조사되었으며, 설문 응답이 어려운 일부 비전문가를 제외하고 총 11명이 작성하였다. 학습자용 사용자 평가는 사회 시간에 유물에 대해 학습하는 교과과정인 있는 초등학교 5학년 학생을 대상으로 수행되었다. 평가 시기는 2018년 11월이며 평가 장소는 초등학교 5학년 교실이었다. 교실 앞 편에 스마트폰과 타깃 객체를 전시하였고 학생들은 각자 자유롭게 증강현실 시스템을 이용해 보는 시간을 가졌다. 사용자 평가는 설문지에 의한 자기기입방식에 의해 조사되었으며, 일부 항목에 응답하지 않은 무응답자를 제외하고 총 15명이 작성하였다.

## 2. Configurations of questionnaires

### 2.1 Configurations of presence and learning flow evaluation

학습자의 교육적 효과를 조사하기 위하여 실시한 사용자 평가 설문지의 항목은 '현존감'과 '몰입감'으로 구분할 수 있다. 먼저 현존감은 자신이 가상세계에 속해있을 때 그곳을 실제처럼 느끼는 '현존감'과 자신의 세계에 가상 객체가 실제처럼 존재한다고 인식하는 '객체 현존감'으로 나눌 수 있다[24]. 현존감이 높을수록 사용자는 가상세계에 몰입하게 되고, 객체 현존감이 높을수록 사용자는 자신의 실제 환경에서 가상 객체를 받아들이고 실제처럼 느끼며 활용할 수 있다. Table 4의 (a)는 현존감에 대한 질문으로, 사용자의 가상세계 몰입 정도를 묻는다. Table 4의 (b)는 객체 현존감에 대한 질문으로 가상 객체가 실제처럼 존재한다고 느꼈는지를 묻는다.

다음으로, 학습 몰입감은 학습수행, 성취도, 상호작용과 관련이 높은 변인이며 [22]의 몰입 이론에 따르면 학습이 너무 쉽거나 어렵지 않아서 학습자 능력과 과제의 도전감이 균형을 이룰 때 몰입이 발생한다. 또한 몰입의 결과로서 과제에 대한 집중·왜곡된 시간 감각·자의식 상실·자기만족적 경험이 나타나게 된다. 따라서 학습자의 몰입감을 판단하기 위한 설문 항목은 Table 4에서 보이는 것처럼 학습의 목표를 알고 도전과 능력이 일치하는지 여부를 확인하는 사전 질문 항목 (c), (d)와 학습 이후의 결과에 대해 물어보는 항목 (e), (f), (g), (h), (i), (j)를 포함하여 총 13문항이 구성되었다. 문항은 [23]의 논문에서 정의한 항목별 의미를 기반으로 작성되었고 문항은 5단계로 구분된 리컬트(Likert) 척도를 사용하여 조사되었다.

Table 4. Questionnaires of presence and learning flow evaluation

Variable	Division	No.	Definition
Presence	(a) Immersion of virtual world	1	The degree of focusing on the realistic contents mixed with virtual and real-world
	(b) Reality of virtual object	1	The degree of judging the actuality of the virtual object
Learning flow	(c) Perception of the goal	2	The degree to which the learner knows exactly what he or she is doing.
	(d) Balance of challenge and personal ability	3	The degree of Balance of learner's ability and challenge level

(e) Integration of behavior and consciousness	2	The degree of voluntary do without a conscious effort
(f) Control	2	The degree of own behavior control
(g) Focus	1	The degree of user fully concentrate
(h) Distorted time sense	1	The feeling of fast or slow passing of time unusually
(i) Loss of self-consciousness	1	The degree of ignoring surroundings while in an activity
(j)self-satisfaction on experience	1	The degree of pleasure of self-satisfaction
Total	15	

2.2 Configurations of usability evaluation

타깃 객체의 사용성과 관련한 사용자 평가는 교수자와 학습자를 대상으로 실시되었다. 사용성 평가는 세 가지 형태로 구성된 타깃 객체에 대한 학습 용이성, 효율성, 조작 용이성, 기능 이해도를 조사하여 학습에 사용하기 가장 좋은 타깃 객체를 판별하도록 한다. 문항은 [23]의 논문에서 정의한 항목별 의미를 기반으로 작성되었으며 총 5문항으로 구성되었다. 설문 척도는 세 가지 타깃 객체 중 가장 사용성이 좋았던 객체를 고르도록 구성하였다.

Table 5. Questionnaire of usability evaluation

Division	No.	Definition
Ease of the learning	1	How easy to use the target object was
Efficiency	1	How efficiently the target object was used
Ease of the operation	1	How easy it is to manipulate the system
Understanding of the function	2	An accurate understanding of the functions of the AR systems and the target objects
Total	5	

3. Analysis of results of questionnaire

3.1 Results of presence and learning flow evaluation

Fig. 5는 증강현실 기반 유물 학습을 수행한 학습자들의 현존감에 대한 결과를 나타낸 것이다. Fig.5을 보면 현존감에 대한 학습자의 인식률은 5점 만점에 평균 3.6점으로 나타났다. 높은 현존감을 보인 항목은 가상 객체의 실제성(Fig.5-(b))이며 평균 점수는 4.4점이었다. 증강현실 학습 기반에서 학습자들은 현실세계에 가상 객체가 있다고 판단하는 객체 현존감이 높았던 것으로 보인다. 반면에

낮은 현존감을 보인 항목은 가상세계에 몰입 정도(Fig.5-(a))이며 평균 점수는 2.9점이었다. 증강현실 기반 학습 환경에서 가상세계에 몰입하는 경험을 얻는 것이 쉽지 않았던 것으로 보인다.

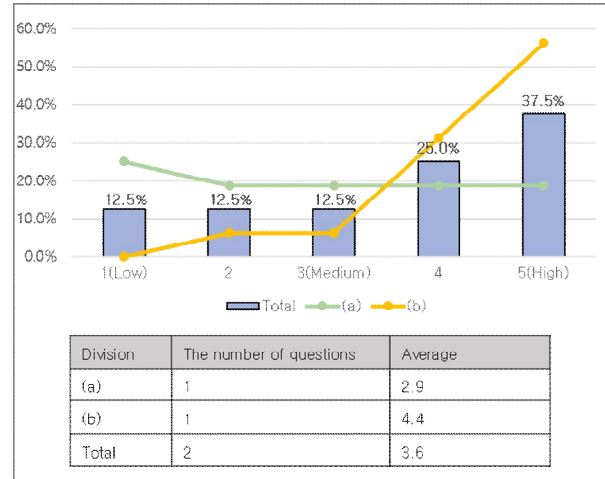


Fig. 5. Results of presence evaluation

Fig. 6은 증강현실 기반 유물 학습을 수행한 학습자들의 학습 몰입감에 대한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 6을 보면 학습 몰입감에 대한 학습자의 인식률은 5점 만점에 평균 4.0점으로 나타났다. 가장 높은 몰입감을 보인 항목은 자의식 상실(Fig. 6-(i))로 평균 4.8점으로 나타났다. 그다음으로 높은 몰입감을 보인 항목은 도전과 능력의 일치(Fig. 6-(d))로 점수는 평균 4.5점으로 나타났다. 위와 같은 결과는 [22]의 몰입 이론에서 말한 내용처럼 촉각을 지원하는 유물 학습용 증강현실 콘텐츠가 학습자의 수준과 비교했을 때 균형이 잡힌 난이도로 설계되어 결과적으로 자의식 상실 면에서 높은 몰입감을 제공하고 있음을 뜻한다. 반면, 전체 평균 4.0점보다 낮은 수치를 기록한 항목은 (c), (e), (f), (h)이며 이 중에서 자신의 하는 학습 수행에 대해 정확히 알고 있는 정도를 물어보는 (c) 지문에 대한 수치가 평균 3.3점으로 가장 낮았다. 본 연구에서 제작한 증강현실 기반 시스템이 교육내용을 반복적으로 전달하지 않았기 때문에 학습자에게 학습목표를 강조하는 데 미흡했던 것으로 보인다.

3.2 Results of usability evaluation

Fig. 7은 증강현실 기반 유물 학습 시 타깃 객체(3종)를 사용한 학습자 및 교수자의 사용성 평가 결과를 나타낸 것이다. 가장 좋은 사용성을 보인 객체는 프린트된 3D 타깃으로, 교수자의 74.5%, 학습자의 51.9%가 사용성에 만족하였다.

프린트된 3D 타겟은 학습하는 유물과 가장 형태적·맥락적으로 유사한 모델로, 사용자는 실제 유물과 유사한 형태를 지닌 타겟을 가장 이용하고 싶어 했다는 것을 알 수 있다. 반면, 가장 낮은 사용성을 보인 객체는 음료 캔으로, 교수자의 1.8%, 학습자의 20.3%만이 음료캔 모델의 사용성에 만족하였다. 사용자들은 음료 캔 모델이 학습 맥락을 해치고 유물 학습과 어울리지 않는다는 의견이 주었다. 그 밖에 기타의견으로 지폐 타겟은 쉽게 구할 수 있는 접근성이 장점으로 작용하며 여러 각도로 회전시키면서 관찰하기 편하기 때문에 조작성이 용이하다는 의견이 있었다.

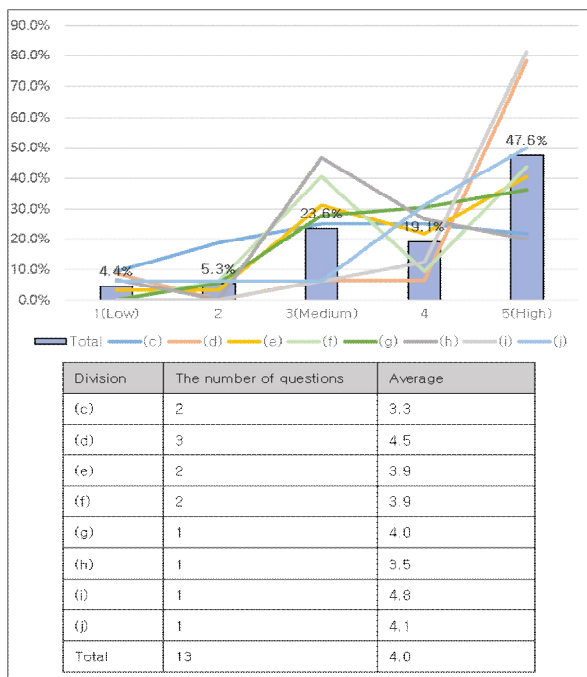


Fig. 6. Results of learning flow evaluation

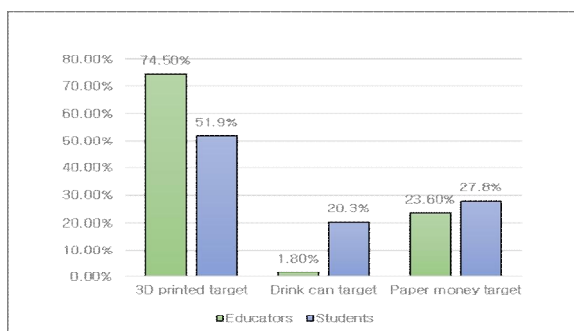


Fig. 7. Results of usability evaluation

### V. Conclusions

본 연구에서는 터치·클릭과 같은 간접적인 상호작용을 제공하는 기존 증강현실 시스템의 한계를 극복하기 위해 학습자가 만질 수 있는 타겟 객체를 제공하는 다중감각 기반 증강

현실 유물 학습 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 현존감 평균 3.6점(5.0만 점), 몰입감 평균 4.0점(5.0만 점)으로 비교적 우수한 평가를 보였다. 또한 타겟 객체 3종의 사용성을 비교한 결과 학습하는 유물과 형태적으로 가장 유사한 모양의 프린트된 3D 매병 타겟이 가장 좋은 평가를 받았다. 이러한 연구 결과는 향후 증강현실 교육방식을 개선하고 보다 진전된 스마트 러닝을 실현하는 데 도움이 될 것이다. 또한 차후 콘텐츠 개발에 산업적으로 활용될 수 있을 것이다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by academic research support project for Korea National University of Cultural Heritage in 2019.

### REFERENCES

- [1] Jiyeon Yang, "Collections Use and the Educational Roles of Open Storage", Korean journal of culture and arts education studies, Vol. 9, No. 4, pp. 1-23, August 2014. DOI: 10.15815/kjcaes.2014.9.4.1
- [2] Jeongeun Lee, and Goun Choi, "A critical review of object-based learning and generic learning outcomes in museum education in Korea", Korean journal of culture and arts education studies, Vol. 9, No. 5, pp. 41-58, December 2014. DOI: 10.15815/kjcaes.2014.9.5.41
- [3] SoYoung Jeong, "Analysis of Augmented Reality-Based Museum APP Contents Types", Korean Society of Basic Design & Art, Vol.20, No. 2, pp.386-396, March 2019.
- [4] Sunae Oh, and Jiyeon Gong, "The Study on the Environmental Elements of Exhibitions Applied the Flow Theory in the Museum - Focused on Visitors of the Experience Exhibitions", Journal of Digital Design, Vol. 11, No. 3, pp.143-152, November 2011. DOI: 10.1728 0/jdd.2011.11.3.014
- [5] Deokman Kim, and Junhong Park, "Vibration Feedback at Virtual Position in a Beam using Wave Propagation Approach", The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 1474-1475, December 2018.
- [6] WooSang Kim, and Ken Nah, "A Study on Contents Design of Virtual and Augmented Reality Reflecting Presence", JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY DESIGN CULTURE, Vol. 23, No. 3, pp.139-153, September 2017. DOI: 10.18208/ksdc.2017.2 3.3.139
- [7] Nayeong Jung, Wonjoo Hwang, Siwoo Kang, Jeongsep Lee, Minho Kyung, "Haptic Intonation learning system for learning Chinese", EXTENDED ABSTRACTS OF HCI KOREA 2016, pp.277-279,

January 2016.

- [8] Jong-Mun Jeon, and Hyung-Jeong Yang, "Multi-modal Sense based Interface for Augmented Reality in Table Top Display", JOURNAL OF KOREA MULTIMEDIA SOCIETY, Vol.12, No.5, May 2009.
- [9] Junhun Lee, and Taejin Ha, and Jeha Ryu, and Woontack Woo, "Development of Pen-type Haptic User Interface and Haptic Effect Design for Digilog Book Authoring", Proceedings of HCI KOREA 2019, pp.402-405, February 2009.
- [10] Jin-Ok Park, "Subjectivity study on the from of the virtual reality contents user experience", Journal of Digital Contents Society, Vol. 20, No. 2, pp.395-403 February 2019. DOI: 10.9728/dcs.2019.20 .2.395
- [11] Jenifer Tidwell, "Designing Interfaces: Patterns for Effective Interaction Design", O'Reilly book, 2005.
- [12] Taejin Ha, and Yeongmi Kim, and Jeha Ryu, and Woontack Woo, "Methodologies for Enhancing Immersiveness in AR-based Product Design", Journal of the Institute of Electronic Engineers of Korea-CI, Vol. 44, No. 2, pp.37-46, March 2007.
- [13] Miheon Jo, Jeonghye Han, Eunja Hyun "The Development of Robot and Augmented Riality Based Contents and Instructional Model Supporting Childrens' Dramatic Play", Journal of The Korean Association of Information Education Vol. 17, No. 4, December 2013, pp. 421-432. DOI: 10.14352/jkaie.2013.17.4.421
- [14] Junghoon Leem, and Byungro Lim, and Eunmo Sung, "Developmental Study on the Quality Certification Standards of Smart Education Contents", The Journal of Educational Information and Media, Vol 20, No 3, pp.327-353, September 2014. DOI: 10.15833 /KAFEIAM. 20.3.327
- [15] National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, "Taeon Mado Shipwreck No.2 Underwater Excavation", National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, 2011.
- [16] Hyon-jeong An. "A Study on Aesthetics of 'Flower Pattern' in Korean Ceramic History -Focusing on Korean National Treasures", Korea Society of Floral Art &Design, Vol. 30, pp. 133-157, June 2014.
- [17] Sunhee Kim, "A study on the making celadon flower vase-Focused on the celadon design excavated in Gangjin area", DankookUniversity, 2006.
- [18] Goryeo Celadon Museum, <http://www.celadon.go.kr/dorok/board.List.do?menuId=celadon0404010000>
- [19] Seoul Historiography Institute, [https://history.seoul.go.kr/nuri/bbs/bbs.php?sub\\_type=view&b\\_idx=336&didx=125](https://history.seoul.go.kr/nuri/bbs/bbs.php?sub_type=view&b_idx=336&didx=125)
- [20] Eunju Lee, and Sungsil Park. "A Case Study on the Change of Names for Important Folklore Materials and Remains - Based on the Material No. 37, the Excavated Costume from Ihyujeong's Collection in Ulsan-", Journal of the Korean Society of Costume, Vol. 55, No. 6s, pp.107-120, December 2005.
- [21] K-Heritage tv, <http://www.k-heritage.tv/brd/board/229/L/CATE>
- [22] Csikszentmihalyi, M, "Flow: The Psychology of Optimal Experience", Harper and Row, Harper Perennial Modern Classics, 2008.
- [23] Heejeon Seo, "Relationships among Presence, Learning Flow, Attitude toward Usability, and Learning Achievement in an Augmented Reality Interactive Learning Environment", Korean Association For Educational Information and Media, Vol.14, No.3 ,September 2008.

## Authors



Eunsol Jeong received Bachelor's degree in Dept. of Chinese Language and Literature at Dankook University in 2016. Eunsol Jeong is currently in the master's course in the Dept. of Cultural Heritage Industry at Korea

National University of Cultural Heritage(NUCH). She is interested in motion capture of intangible cultural heritage and AR heritage educational contents.



Jeong-eun Oh received Bachelor's degree in Dept. of Traditional Landscape Architecture at Korea National University of Cultural Heritage(NUCH) in 2010. Jeong-eun Oh is currently in the master's course in the Dept.

of Cultural Heritage Industry at Korea National University of Cultural Heritage(NUCH). She is interested in digital cultural heritage documentation and digital data verification.



Haeyeon Won received Bachelor's degree in Dept. of Korean painting at Andong National University, Korea, in 2017. Haeyeon Won is currently in the master's course in the Dept. of Digital Heritage Industry at Korea National

University of Cultural Heritage(NUCH). She is interested in media art and educational digital contents.



JeongMin Yu received the M.S. and Ph.D. degrees from Department of Information and Communications, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), Gwangju, in 2009 and 2014 respectively. Dr. Yu joined the

faculty of the Department of Culture Heritage Industry at Korea National University of Culture Heritage, Bu-yeo, Korea, in 2017. He is currently a assistant Professor in the Department of Culture Heritage Industry at Korea National University of Culture Heritage. He is interested in computer vision, image processing, augmented reality, and digital heritage.