

---

# 협동적 문화체험을 위한 탠저블 가상 문화유산 환경 디자인에 관한 연구

박경신\* · 조용주\*\* · 강승묵\*\*\*

Designing a Tangible Virtual Heritage Environment for Collaborative Culture Experience

Kyoung Shin Park\* · Yongjoo Cho\*\* · Seungmook Kang\*\*\*

## 요 약

탠저블 가상 문화유산 환경은 탠저블 인터페이스를 사용하여 사용자 간의 상호작용을 높이고 적극적인 참여를 유도하여 문화유산의 이해를 증진시키는 가상환경이다. 본 연구에서는 가상환경에서 탠저블 블록과 네이게이션 인터페이스를 사용한 축성 쌓기 놀이를 통하여 다수의 사용자들이 적극적으로 고창 문화유적지인 모양성의 문화적 이해와 협동을 배울 수 있도록 한 탠저블 모양성 시스템을 논한다. 본 논문에서 먼저 관련 연구를 살펴보고, 모양성의 역사적, 문화적 배경과 탠저블 모양성 시스템 디자인과 구현을 설명한다. 또한 사용자 관찰을 통하여 나타난 개선점과 향후 연구 방향에 대해 논한다.

## ABSTRACT

The tangible virtual heritage environment employs a tangible interface to increase social interaction and engages user's understanding of cultural heritage with the activities in the virtual environment. Tangible Moyangsung is a tangible virtual heritage environment of a Korean war-defensive castle Moyangsung, and it allows a group of users to collaboratively play the tangible interface for fortifying the broken walls. This paper suggests an overview of cultural meanings behind Moyangsung and represents the details in the design and implementation of the Tangible Moyangsung system. It will also discuss improvements and further research directions.

## 키워드

협동적 문화 체험, 탠저블 인터페이스, 가상현실 문화유산 환경, 게임

## I. 서 론

가상현실 (Virtual Reality)이란 컴퓨터 시스템을 이용하여 인간의 오감을 자극하는 감각기관에 정보를 전달하여 실제와 유사한 공간을 만들어 사용자가 그 공간 안에서 체험 가능한 환경이다. 최근 가상현실 기술이 발달하

면서 실제와 근접한 가상환경 설정이 가능해졌고, 사용자가 체험하는 현실감은 점차 증대되고 있다. 이러한 가상현실의 상호작용, 존재감, 몰입감등의 장점을 살려, 최근 가상현실 문화유산 체험 시스템이 많이 개발되었다. 박물관도 단순한 나열식 유물 전시에서 벗어나, 사용자가 보다 적극적으로 체험할 수 있도록 가상현실 같은 상호작용

---

\* 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소

접수일자 : 2006. 8. 25

\*\* 상명대학교 미디어학부

\*\*\* 전주대학교 정보기술공학부

적인 기술들을 활용하여 전시나 공연 행사를 제공하기도 한다.

가상현실 문화유산 환경 (Virtual Heritage Environment) 은 가상현실 기술을 사용하여 문화유적지 혹은 문화재를 그대로 복원하거나 관람자들로 하여금 역사 속의 과거 시대로 돌아가 체험을 할 수 있도록 구성한 시스템이다. 가상현실 문화유산 환경은 실제로 현존하고 있는 유적지는 물론이고, 지금은 많이 손상되었거나 아예 자취조차 남아 있지 않는 문화유산을 관련 자료를 토대로 가상현실로 복원 또는 재현할 수 있다.

기존의 가상현실 문화유산 환경은 대체적으로 역사과 증에 근거한 3차원적인 문화재 복원 연구가 주류를 형성하고 있고 [1,2], 그 외에는 문화유적 학습을 도와주는 가상 캐릭터 (Virtual Character) 개발이나 문화유적지를 배경으로 한 게임 개발이 진행되고 있다 [3,4,5,6,7,8,9,10]. 그러나 가상현실로 복원된 건축물을 관람하는 것으로는 사용자의 적극적인 참여를 기대하기 힘들고 장시간의 시각적 자극은 긴장감 유지가 어려워 학습효과가 떨어진다.

이에 본 연구에서는 가상현실 문화유산 환경에 직접 손으로 사물을 만지고 움직여 가상환경에서 반응을 체험할 수 있는 탠저블 인터페이스 (Tangible Interface)를 제공하여, 관람자들의 상호작용 (Interactivity)을 높여주고 문화적 체험에 적극적 참여와 몰입을 유도하고자 하였다. 탠저블 인터페이스는 가상 환경 속의 사물을 실세계의 물체를 사용하여 조작할 수 있는 인터페이스이다. 기존의 가상현실 시스템의 일반적 인터페이스인 wand (Wand: 일종의 3차원 마우스)에 비해 탠저블 인터페이스는 손으로 사물을 직접 조작한다는 느낌을 줄 수 있고 사용이 매우 용이하며 여러 사용자들이 동시에 사용가능하다.

본 논문에서는 전라북도 고창의 문화유적지인 모양성의 역사와 문화적 의미를 보다 효과적으로 전달하기 위해서, 탠저블 인터페이스를 사용해 다수 사용자들의 적극적인 참여를 유도하는 가상현실 문화유산 환경 탠저블 모양성 (Tangible Moyangsung) 시스템을 개발했다. 그림 1의 왼쪽 그림은 탠저블 모양성을 전주대학교 영상제에서 시연한 모습을 보여주고 있다. 정면에 가상현실 디스플레이, 테이블 왼쪽에 탠저블 보드 인터페이스 (Tangible Block Interface), 가운데 조그 다이얼 맷돌 인터페이스 (Jog Dial Maedol Interface), 그리고 오른쪽에 터치스크린을 이용한 인터랙티브 지도 인터페이스 (Interactive Map Interface)를 보여주고 있다.

탠저블 모양성에서는 조그 다이얼 맷돌 인터페이스와 인터랙티브 지도 인터페이스를 이용해서 사용자들이 가상환경을 자유롭게 혹은 지정된 경로를 따라서 탐색하는 것이 가능토록 하였다. 그림 1의 오른쪽에 탠저블 보드 인터페이스 (Tangible Board Interface)에서는 사용자가 손으로 탠저블 블록 (Tangible Block)을 올려놓고 있는 모습을 보여주고 있다. 이렇게 보드 위에 나타난 패턴 위에 탠저블 블록을 올려놓으면 가상환경에서 부서진 모양성 성곽의 수리, 보수가 가능하도록 설계되었다.

본 논문은 가상현실 문화유산 환경에 디지털 복원, 캐릭터, 게임요소, 탠저블 인터페이스 관련 연구를 먼저 살펴보고, 탠저블 모양성 시스템 설계와 구조를 설명한다. 또한 실제 사용자 관찰을 통하여 발견된 시스템 유용성과 문제점을 토론하고 향후 연구 방향에 대해 논한다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 문화재 디지털 복원

문화재 디지털화를 통한 3차원적인 문화재 복원 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 디지털로 복원된 데이터들은 디지털 문화재 데이터베이스로 구축되어 실질적으로 문화재 복원할 때 사용하기도 하고, 교육 혹은 사이버 박물관 문화재 전시장 등과 같은 다양한 방향으로 활용되고 있다. 문화재 디지털복원 연구 사례는 3차원 스캔 (3D Scan)을 통한 정교한 디지털 복원 기술에 중점을 두거나 가상현실 기술을 이용해 체험적 환경을 구축하는 것으로 나뉜다.

‘미켈란젤로 프로젝트’는 1997년 미국과 이태리 간의 협력 과제로, 컴퓨터 기술은 미국이 제공하였고 원형의 다비드상 조각상은 이태리 정부가 제공하는 식으로 진행되었다. 이 프로젝트에서는 스캐닝 대상의 수밀리미터 이하 끝 자국까지도 스캐닝하기 위해 정밀 계측기술을 사용하였으며 3D 스캐닝 하드웨어와 소프트웨어를 개발하여 미켈란젤로의 10개의 조각상과 다비드 상을 디지털로 복원하였다[2].

‘대부처 프로젝트’에서는 나라 토다이지질 불상을 디지털 아카이브화 (Digital Archive) 하기위한 복원 작업을 하였다. 원형에 가까운 디지털 복원을 중심으로 한 이 프로젝트에서는 3차원 스캐닝을 통한 3차원 모델 구축을 비롯하여 보다 정교한 정합 기술 개발과 효과적인 다수의

카메라로부터 얻어진 이미지와 머징(Merging)을 시도하였다[1].

통일 신라의 도성, 신라왕경인 서라벌 복원 프로젝트에서는 대표적 불교 유적인 석굴암, 불국사, 황룡사, 남산 불상군 등을 가상현실 기술로 제작하여 당시 화려한 문화를 구가했던 신라왕조의 시공간으로 마치 되돌아간 듯 한 느낌을 주었다. ‘서라벌 프로젝트’라 명명된 이 연구를 통하여 1300년 전 서라벌을 그대로 재현하여 경주 세계문화엑스포 2000 주제영상관에서 전시하였다[8].

FHW (Foundation of Hellenic World)에서는 고대 그리스인 헬레닉 시대의 번창했던 문화를 가상현실을 이용해 체험적 문화유산 교육환경을 개발하여 상시 전시하고 있다. 그 예로 지금은 완전히 파괴되어 존재하지 않는 터키 지역의 밀레투스 (Miletus) 도시를 재현하여 관람자로 하여금 당시의 찬란한 문화를 체험할 수 있도록 하였다[4,7]. 이외에도 올림피아의 제우스 신전을 가상현실로 복원 하는 등 다수의 가상현실 문화재 교육 프로그램을 개발하였다.

## 2.2. 버추얼 캐릭터 (Virtual Character)

단순히 복원된 건축물의 관람만이 아니라 가상현실 문화유산 환경 연구에서는 당시 사람들의 모습을 생생하게 재현하거나, 혹은 문화유적지를 자세히 안내해주는 3차원 가상현실 캐릭터 개발 연구가 또한 진행되고 있다. 그 예로 스위스 미라 랩에서는 실시간 가상현실 캐릭터 시뮬레이션을 개발하여 нама즈 기도 (Namaz Pray) 하는 장면을 연출하였다[6].

가상 할렘 (Virtual Harlem)은 미국 문화적 중흥기인 1920년 뉴욕 할렘가를 가상현실로 재현한 것으로, 인문학 생들의 수업 이해를 증진시키기 위하여 상호작용적 경험을 제공한다. 3차원 캐릭터 저작도구인 VR Annotator를 사용하여 이 프로젝트의 제안자인 영문학자 브라이언 카터 (Bryan Carter)의 목소리와 제스처를 담은 캐릭터를 역사적, 문화적으로 중요한 곳에 놓아 사용자들이 근처에 갈 때마다 당시 생활상을 설명해주도록 하였다. 그리고 실제 수업에서 가상 할렘 환경에 VR Annotator를 사용하여 학생들이 능동적으로 직접 본인의 생각을 남기거나 남의 것을 듣게 하였다니 단순히 눈으로 보기만 할 때 보다 수업 내용에 더 많은 관심을 보여주었다[9].

## 2.3. 게임적 가상 문화유산 환경

많은 컴퓨터 사용자들의 게임에 대한 관심이 고조되면서 최근에 상호작용적인 게임 요소를 적용하여 자연스럽게 문화유산 학습을 유도하는 가상현실 문화유산 에듀테인먼트 시스템 제작이 시도되고 있다. ‘디지털 고구려’는 현재 북한에 위치한 안악 3호분 고분을 가상현실을 이용해서 재현한 것으로, 약 1500년 전에 제작된 고분 안에 현재까지도 남아있는 고분 벽화를 통하여 고구려의 문화적 배경과 생활 방식 등을 현대의 사람들에게 알려주기 위해 제작되었다. 이 연구에서는 먼저 훼손된 고분 벽화의 2차원적인 이미지 디지털 복원 과정과 3차원적인 모델링 복원 작업 그리고 문제풀이 게임 요소를 가미한 가상현실 환경을 구축하여 보다 효과적으로 일반 대중에게 고분 벽화에 나타난 문화적 역사적 의의를 알려주는데 중점을 두었다[10].

## 2.4. 텐저블 인터페이스

가상현실 시스템에서 많이 사용되는 wand(Wand) 입력 장치는 조이스틱과 세 개의 버튼으로 구성된 것으로 일반 PC의 마우스 같이 일반적인 인터페이스로 어떠한 가상환경과 인간과의 상호작용에서 사용될 수 있다. 그러나 최근 실질적인 물체에 기능을 넣어 사용자가 이 물체를 조작함으로써 인간과 컴퓨터 상호작용의 직관성을 높여주는 텐저블 인터페이스가 많이 개발되어 사용되고 있다.

현재까지 개발되어 가상현실에 사용된 텐저블 인터페이스는 주로 ARToolkit[11]이란 도구를 이용하여 마커 (Marker)가 부착된 물체를 컴퓨터 비전 (Computer Vision) 방식으로 인식하여 이를 가상공간에서 사용자 상호작용 조작에 중점을 둔 방식이다. 그 대표적인 예로 운주사 ARTable가 있다. ARTable은 지도 위에 텐저블 블록을 놓으면 그 블록의 위치를 감지하여 가상현실 운주사의 경내를 돌아다닐 수 있도록 설계되어 있다[5].

이와 같은 증강현실 바탕의 텐저블 인터페이스는 카메라 장치와 물체에 마커를 부착한 후 ARToolkit을 사용하여 쉽게 구현 가능한 장점이 있다. 그러나 마커를 이용한 증강현실 바탕의 텐저블 인터페이스는 비전 방식이 갖는 공통적인 문제점 (즉, 빛의 밝기, 배경의 복잡성 등에 대한 연산 수행 문제) 때문에, 일반적으로 사용자의 몰입감을 높이기 위해 어두운 환경을 필요로 하는 CAVE@같은 형태의 가상현실 시스템에서 사용할 경우 인식률이 떨어지는 문제가 있다.

### Ⅲ. 가상계기와 가상계기 개발도구

전라북도 고창군에 위치한 고창읍성은 백제시대 모량 부리라는 고창의 옛 지명에서 유래된 명칭인 모양성이라고도 불리며, 동시대의 다른 읍성들이 평야 지대에 양면에 돌을 쌓아 만들어 성내에서 관민이 거주하던 것과는 달리 야산을 이용하여 축조한 군사적 목적의 읍성이다. 특히 성문 앞에는 웅성을 둘러쌓아 적으로부터 성문을 보호할 수 있도록 하였다.

성의 둘레는 1680m 해저 2800m이고, 성의 너비는 상부 표면 약 80cm, 중간부 1.4m, 하부 2m이며, 성 높이는 고지대는 3~4m, 저지대는 4~5m 등으로 현지의 산세를 이용해서 축성하였다. 동, 서, 북에 3개의 문이 위치하며 웅성이 설치되어있다. 성내의 부속 건물로 동양루 (동), 진서루 (서), 공북루 (북), 동헌과 객사 등 22동의 관아 건물들이 위치하고 있다. 1970년대 대대적인 복원사업을 벌여 작청, 풍화루, 동헌 등 많은 건물이 제 모습을 찾았고 현재도 복원이 진행 중이다.

고창 모양성은 아낙네들의 힘만으로 축조되었다는 전설적인 사연이 있다. 또한 오랫동안 내려온 풍습으로 답성 놀이가 유명하다. 답성 놀이는 돌을 머리에 이고 성곽을 따라 도는 놀이로, 성을 한 바퀴 돌면 다리 병이 낫고, 두 바퀴 돌면 무병하며, 세 바퀴를 돌면 극락 승천한다는 전설이 내려온다. 이 성곽의 축성배경이 왜임을 막기 위한 것이었으므로 유사시 석전에 대비하는 유비무환의 예지로 머리에 돌을 이고 가서 성안에 쌓아두고 갔다는 의견도 있다.

탠저블 모양성 시스템은 탠저블 인터페이스를 통하여 관람자들이 가상환경에서 네비게이션 (Navigation)과 인터랙션 (Interaction)을 도와주는데 초점이 맞추어져있다. 인터랙티브 지도 인터페이스는 관람자들이 손가락으로 터치 LCD 모니터의 지도에 위치 한 곳을 지정하거나, 지도 위에 손가락으로 경로를 그리는 대로 가상환경에서 내비게이션이 가능하도록 설계되었다. 또한 조그 다이얼 맷돌 인터페이스는 맷돌을 돌리는 데로 왼쪽 혹은 오른쪽으로 가상환경 내에 지정된 경로를 따라 성곽 외부를 돌아볼 수 있다. 그리고 탠저블 보드 인터페이스를 제공하여, 블록을 사용자들이 직접 손으로 만지고 움직여서 보드 위에 올려놓음으로써 가상현실에서의 모양성 축성 및 수리, 보수 게임이 가능하도록 하였다.

게임플롯은 사용자에게 전쟁으로 일부 손상된 모양성

의 부서진 성곽을 찾고 그 부분을 보수하는 작업을 준다. 그리고 주어진 20분 안에 4군데의 부서진 성곽을 모두 보수하였을 경우 답성 놀이를 체험 할 수 있게 하였다. 그러나 주어진 시간 내에 보수를 끝내지 못했을 경우 화면이 어두워지면서 성이 불타버리는 것으로 게임이 끝나고 다시 처음 시작으로 돌아온다. 게임 플레이는 사용자들이 부서진 성곽을 찾기 위해 네비게이션을 하고, 부서진 성곽이 발견되면 파손된 성곽 모습이 가상현실과 보드 인터페이스에 나타난다. 사용자가 탠저블 블록을 보드 위의 2차원 패턴에 따라 적절한 위치에 올려놓으면 가상환경에서는 부서진 성곽 부분이 채워지는 모습으로 나타나게 된다.

고창 모양성 연구에서는 이렇게 단순하고 직관적인 탠저블 인터페이스를 이용해서 사용자의 관심을 유도하고 편의성을 제공하였다. 그리고 탠저블 인터페이스의 특성상 여러 사람들이 동시에 플레이할 수 있기 때문에 가상현실 환경에서 여러 사용자의 협업적 축성을 가능하게 하였고, 이런 협업을 통하여 재미와 문화 이해 증진을 시도하였다.

### Ⅳ. 시스템 구성

그림 2는 탠저블 모양성의 전체적인 시스템 구조를 보여주고 있다. 모양성 시스템은 전체적인 프로그램을 운영하고 관리하며 가상환경과 탠저블 인터페이스를 연결하는 컨텍스트 서버 (Context Server)와 모양성에 대한 직접적이고 복합적인 정보를 제공하는 가상환경과 실제 접촉이 가능한 특성을 통해 밀접도와 몰입도를 증진시키는 탠저블 인터페이스로 구성되었다.

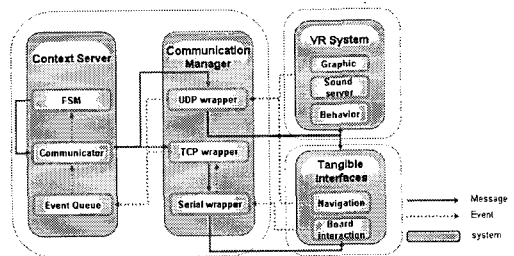


그림 2. 탠저블 모양성 시스템 구조도  
Fig. 2 The overall system architecture of Tangible Moyangsung

사용자가 탠저블 벽돌을 보드 인터페이스에 놓거나 지도 인터페이스를 활용해서 네비게이션을 하는 정보를 컨텍스트 서버가 받아 가상환경으로 전송한다. 가상환경에서는 그 정보를 바탕으로 화면에 표현하게 되고 그 내용을 다시 사용자가 인지하여 탠저블 인터페이스로 입력하게 되는 순환 구조가 탠저블 모양성 시스템의 구조이다.

#### 4.1. 컨텍스트 서버(Context Server)

컨텍스트 서버는 게임 시작부터 완료 단계까지 모든 사용자와의 상호작용을 하나의 일괄적인 컨텍스트로 관리한다. 가상환경에서 사용자 위치 추적을 통하여 게임 상태를 검사하고 사용자가 부서진 성곽이 있는 곳에 있는지 파악한다. 사용자가 부서진 성 근처에 위치하면, 보드 인터페이스와 가상환경에서 부서진 성곽의 패턴을 보여 주도록 지시한다. 그리고 보드 인터페이스에 사용자들이 탠저블 블록을 놓는 것을 감지해서 게임의 진행 상태와 보드 인터페이스에 나타난 패턴의 상태에 따라 오류 표시를 해주거나 가상환경에 메시지를 보내 부서진 성곽을 보수하는 모습을 보여준다.

컨텍스트 서버의 내부 구조는 그림 3에서 보인 것처럼 유한상태기계 (Finite State Machine, FSM) 구조를 기본으로 하여 각 상태별로 유동적인 구조로 구성되었다. 유한상태기계는 내부와 외부의 이벤트에 의해서 상태를 천이하게 되며, 특히 탠저블 인터페이스에서 입력되는 외부 이벤트의 일관적인 상태 천이를 위해서 인터페이스와 연결된 여러 종류의 통신 드라이버 (LAN, UART, USB 등) 입력 내용은 이벤트 발생 시 그 입력 순서를 순차적으로 저장하고 관리해야 할 필요성이 있다. 따라서 서버는 FIFO 큐를 기반으로 한 이벤트 큐를 따로 관리하고 이벤트를 받을 때마다 필요한 조치를 취하는 형태로 구성되어 있다.

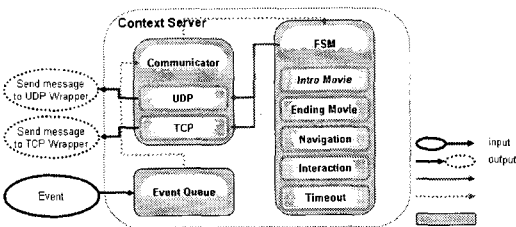


그림 3. 컨텍스트 서버의 내부구조도  
Fig. 3 The internal structure of context server

컨텍스트 서버는 UDP를 이용해서 가상환경과 통신하도록 되어 있다. 일정 시간 간격으로 사용자의 위치를 가상환경으로부터 전달받고 필요에 따라 보드 인터페이스에서 받은 이벤트를 처리한 후 다시 UDP를 통해 가상현실의 부서진 성곽을 보수하는 정보를 보내게 된다. 그리고 TCP를 이용해서 보드 인터페이스와 연결해서 보드의 상태를 확인하고 오류 표시를 해주거나 아니면 적절한 이벤트 처리를 하도록 구성되어 있다.

#### 4.2. 가상현실 모양성

가상현실 고창 모양성에서는 현재 모양성의 모습을 토대로 돌로 쌓은 성곽, 동, 서, 북 세 곳에 위치한 문, 성 내부에 관아들, 나무와 위치추적시스템 (Global Positioning System, GPS) 자료를 이용하여 3차원으로 모델링한 산세 및 지형을 보여준다. 사용자들은 터치 스크린 방식의 지도 인터페이스나 조그 다이얼 인터페이스를 활용해서 모양성 성곽 외부와 성 내부를 다니면서 관람하거나 부서진 성곽을 보수하는 작업을 수행할 수 있도록 했다.

가상현실 시스템으로는 저가형 양안시차 편광방식 전면 투사용 디스플레이를 사용하였다. 스크린의 크기는 100인치이며 스크린 주변에 스테레오 스피커가 설치되어 가상환경의 배경음악과 이벤트의 발생에 따른 서라운드 음향을 제공한다. 이 시스템은 리눅스기반의 PC에 NVidia Quadro급 그래픽스 카드를 사용하여 왼쪽과 오른쪽 눈에 해당하는 이미지를 2개의 DLP 프로젝터와 편광 필터를 통해 투사하여, 사용자가 편광 안경을 쓰고 입체 영상을 체험할 수 있다.

가상현실 엔진 모듈은 Yggdrasil라는 저작도구를 사용해서 만들어졌다. Yggdrasil은 CAVElib VR library와 SGI의 Performer Graphic Library를 바탕으로 한 스크립트 바탕의 가상현실 저작도구로, 기본적인 그래픽 모듈(모델 불러오기, 애니메이션, 네비게이션 등)과 사운드 모듈(사운드 서버와 가상환경 사운드 이벤트 트리거 등)을 제공하고 있어 기존의 C나 C++으로 가상환경을 개발하는 것보다 쉽고 용이하게 만들 수 있다[8]. 그리고 탠저블 모양성 시스템을 위하여 개발한 가상현실 엔진 모듈은 컨텍스트 서버와 탠저블 인터페이스로부터 받은 정보 바탕으로 가상환경에서 네비게이션과 인터랙션이 가능하도록 해준다.

### 4.3. 텐저블 인터페이스

텐저블 인터페이스는 네비게이션 (Navigation)과 보드 인터랙션 (Board Interaction)을 담당하는 입력 디바이스와 통신 드라이버, 통신 중계기로 구성되었다. 네비게이션은 모양성의 답성 높이를 기본으로 한 성곽 외부 돌기와 모양성의 안과 밖을 자유롭게 돌아다닐 수 있는 기능을 모두 제공한다. 가상환경 내에서 성곽 돌기를 하다가 부서진 성곽을 발견하면 보드 인터페이스를 이용하여 다른 사용자와 협력적으로 (혹은 혼자서) 성곽 보수를 할 수 있도록 하였다.

네비게이션 인터페이스는 구현 객체와 연관성이 있는 인터페이스가 효과적일 것으로 판단되어 모양성 답성 높이를 차용하여 돌과 회전을 상징하는 맷돌 메타포를 사용하였다. 맷돌을 돌리는 효과를 주기 위하여, Griffine사의 조그 다이얼 PowerMate를 이용하여 가상현실 네비게이션 인터페이스로 개발하였다. 맷돌 인터페이스는 회전 속도와 회전 정도를 감지하여 가상환경 속의 성곽 외부를 따라 사용자를 이동시킬 수 있도록 만들었다. 또한 터치스크린 (Touch-screen)을 이용하여 가상환경을 평면도 지도로 만든 인터랙티브 지도를 제공하여, 성곽 외부를 도는 것 외에도 모양성 안과 밖을 자유롭게 돌아다닐 수 있도록 하였다. 사용자들이 손으로 지도 위에 경로를 그리면 가상환경 내에서 이동할 수 있도록 해서 사용자들이 자유롭게 원하는 곳으로 갈 수 있도록 만들었다.

맷돌이나 인터랙티브 지도 네비게이션 인터페이스는 가상환경 내에서 크게 움직일 때 유용한 방식으로, 가상환경에서 부서진 성곽을 쉽게 찾는 데에 도움을 주었다. 하지만 일단 부서진 성곽을 찾은 후에는 좀 더 적절한 위치로 옮겨야 하는데 이 두 가지 인터페이스는 세밀한 조정이 어려운 단점이 있었다. 따라서 사용자가 맷돌이나 인터랙티브 지도를 사용하여 부서진 성곽이 있는 영역에 들어서게 되면 자동으로 사용자를 부서진 성곽이 잘 보이는 위치와 방향으로 옮겨주는 방식으로 설계하였다.

부서진 성곽 보수를 해결하는 단위 이벤트의 경우에는 한국의 전통 창호의 격자무늬와 대중적인 인기를 얻고 있는 테트리스(Tetris) 게임의 형태를 차용하여 10x10 셀 (Cell) 단위로 이루어진 보드를 만들었다. 이 보드에 여러 형태를 가지고 있는 텐저블 블록을 올려놓으면 센서가 작동, 블록을 인지하여 게임을 진행하는 방식으로 제작하였다. 이 방법은 사용자로 하여금 여러 가지 블록을 동시에 보드에 올려놓을 수 있도록 함으로써 2~3명 정도 소수인

원에 의한 협동 작업이 가능하도록 설계했다.

각 보드의 셀은 각각의 마이크로 컨트롤러에 의해 제어되며, 여러 가지 색상의 LED을 이용하여 사용자에게 게임 진행 상태에 대한 정보를 제공하였다. 그리고 셀 안에 장착된 비접촉식 자기 감지 센서를 통해 자석이 내장되어 있는 각 블록의 위치를 감지한다. 각 셀은 RS485 통신을 이용하여 PC와 연결되었고, 통신 중계기가 설치되어 주기적으로 셀의 상태를 검사하고 상태의 변화가 있을 경우에 이를 컨택스트 서버로 보고한다.

가상현실에서 부서진 성곽을 찾으면 보드에서는 5가지 색상으로 부서진 성곽에 대한 (가상현실과 일치하는) 패턴을 보여준다. 블록은 일자형, 'ㄱ'자형, 'ㄴ'자형, 네모형, 십자가형의 5가지 형태를 갖고 있으며, 투명 아크릴 안에 자석을 내장하고 있다. 보드에서 제공하는 색상으로 사용자는 쉽게 문제를 풀 수 있도록 했다. 사용자가 보드 인터페이스에 블록을 놓으면 보드는 컨택스트 서버에 블록이 놓인 위치를 전송하고, 컨택스트 서버는 이 위치를 바탕으로 게임의 진행 상태와 패턴을 분석해서 제대로 놓였을 경우에 보드 인터페이스의 LED 조명의 컬러를 흰색으로 바꾸고 잘못 놓였을 경우에는 빨강색으로 표시하였다.

컨택스트 서버와 실제 보드를 구성하는 하드웨어를 연결하기 위해 중간에 통신 중계기를 만들어 넣었다. 통신 중계기는 10x10 즉 100개의 셀의 상태를 체크하고 정해진 색으로 LED를 켜거나 끌 수 있도록 만들어졌다. 컨택스트 서버로부터 전달된 명령들은 RS485버스를 통해서 각 셀에 전달되게 되는데 통신 충돌을 최소화시키기 위해 통신 중계기에 FIFO 큐를 두고 명령이 들어오는 순서대로 처리할 수 있도록 만들었다.

## V. 관찰 결과 및 토론

구현된 텐저블 모양성 시스템은 2006년 5월 전주대 X-edu 영상제에서 일주일간 전시되었다. 이 때 여러 사람들이 동시에 텐저블 블록으로 축성 쌓기 놀이를 하였고 좋은 반응을 얻었다. 또한 그림 4에서 보인 것처럼 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소에서 초등학교 두 명에게 텐저블 모양성 시스템을 사용하여 게임을 하도록 하였다. 이 게임에서 학생들은 주어진 20분 동안 조그 다이얼 맷돌 인터페이스를 사용하여 가상현실 모양성 외부 벽



그림 4 탠저블 모양성을 이용한 협동적 게임 장면  
Fig. 4 A snapshot of two young children's collaborative playing game using Tangible Moyangsung

을 돌아다니며 네 곳의 부서진 성곽을 찾은 후 탠저블 보드 인터페이스를 사용하여 성곽 보수 작업을 수행하였다.

이 게임에서 학생들에게 네 곳의 부서진 성곽 중 무작위로 두 군데는 쉽고 두 군데는 어려운 작업 난이도가 주어졌다. 쉬운 난이도에서는 탠저블 보드 인터페이스에 블록 모양에 따라 지정된 색이 블록 패턴에 나타나 비교적 쉽게 성곽 수리 작업을 마칠 수 있는 것이었고, 어려운 난이도에서는 블록 패턴이 전체적으로 파란색 하나로 나타나 패턴 전체를 맞추는 데 좀 더 많은 시간이 요구되었다.

학생들은 맷돌과 인터랙티브 지도 네비게이션 인터페이스 사용에 불편함이 없었다. 그리고 투명한 탠저블 블록과 다양한 색의 LED가 나오는 보드 인터페이스에서 두 학생이 같이 성곽 보수를 하며 게임을 즐겼다. 무엇보다 탠저블 인터페이스가 어린 학생들에게 사용이 간편하였고 일반적인 가상현실 3차원 인터페이스인 완드나 조이스틱으로 하기 어려운 축성 쌓기를 쉽게 할 수 있었다. 특히 어린 학생들은 패턴이 각기 다른 색으로 구별되는 쉬운 난이도 축성 쌓기에서 블록 맞추기 시간이 길어졌음에도 지속적인 관심을 가지고 게임에 집중하였다. 또한 두 학생들이 같이 모양성을 축성하면서 협업을 배우고 자연스럽게 고창 모양성에 관심을 갖게 되었다.

그러나 보드 인터페이스의 몇 가지 문제점으로 인하여 학생들이 주어진 시간 20분 안에 두 군데 밖에 성곽 보수를 완수하지 못했고 때문에 성 쌓기 답성 높이를 체험하지 못하였다. 이는 보드 인터페이스가 Half Duplex인 RS485 통신을 사용했기 때문에 컨텍스트 서버가 지지하는 보드 인터페이스의 LED 색 갱신 속도가 다소 느렸다. 이 문제를 극복하기 위해 일단 통신 중계기의 큐 크기를 줄여줌으로 1초 안에 전체 100개 셀을 모니터링할 수 있도록 통신 속도를 높였다. 추후에는 Full-Duplex 통신방법인 Direct Digital Communication으로 대체하여 통신 속도를 더욱 높일 예정이다.

또한 실제 사용자 평가를 통해 발견된 또 다른 문제는 보드 인터페이스 셀 안에 장착된 비접촉식 자기 감지 센서가 블록 안에 내장되어있는 자석의 비균일적인 자력 세기에 의해 간섭현상이 생겼다. 즉 블록이 놓인 위치의 보드 셀에서만 반응하지 않고 때론 주변의 다른 보드 셀도 같이 반응하는 경우였다. 자석과 셀 간에 자력 감지 정도에 따라 가끔 생기는 현상이었는데, 이 때문에 간혹 컨텍스트 서버에서 올바른 게임 평가를 내릴 수 없어 게임 진행이 느려졌던 문제가 있었다. 현재는 셀 간에 차폐장치를 설치하여 간섭현상을 최대한 줄여놓았는데, 추후 셀을 직접 스위치 방식으로 대체할 예정이다.

## VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 전북 고창의 대표적인 문화유산인 모양성의 역사, 문화적 의미를 보다 효과적으로 전달하기 위해 가상현실 환경에서 다수 사용자들의 협업적 작업이 가능한 탠저블 인터페이스를 제공함으로써 사용자들의 고창성에 대한 적극적인 학습과 체험 참여를 유도한 가상현실 문화유산 환경을 설명하였다. 인터랙티브 지도와 맷돌 인터페이스를 제공하여 사람들이 가상환경을 자유롭게 돌아다니고 경우에 따라서 지정된 경로로 탐색을 할 수 있도록 하였고, 탠저블 블록을 제공하여 사람들이 직접 만져서 보드 위에 올려놓아 가상현실 모양성의 부서진 성곽의 수리 보수 체험을 해보도록 하였다.

탠저블 모양성 시스템은 분산시스템 구조로 설계되어 있어, 이 시스템을 여러 원격지에 설치하여 네트워크로 연결된 가상현실을 매개로 하는 탠저블 가상현실 네트워크 게임으로 발전이 가능하다. 이러한 확장성을 대비하여 탠저블 인터페이스와 통신하는 통신 중계기와 컨텍스트 서버와 가상현실 환경은 네트워크를 통한 분산시스템 구조로 설계되었다. 추후에 원격지에 있는 사용자들의 탠저블 인터페이스를 사용한 협업 작업에 관한 실험을 계획하고 있다. 또한 건축물 내부를 돌아다니는 등의 세밀한 네비게이션을 위하여 기존의 조이스틱이나 완드(Wand) 기능과 비슷한 탠저블 인터페이스 개발을 계획하고 있다.

### 감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 디지털미디어연구소 지원사업의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

[ 1 ] Ikeuchi, K., Nakazawa, A., Hasegawa, K., Ohisi, T., "The Great Buddha Project: Modeling Cultural Heritage for VR Systems through Observation," Proc. of IEEE and ACM International Symposium on Mixed Reality and Augmented Reality (ISMAR '03).

[ 2 ] Levoy, M. et. al., "The Digital Michelangelo Project," Proc. of ACM SIGGRAPH 2000.

[ 3 ] Abaci, T., Bondeli, R., Ciger, J., Clavier, M., Erol, F., Gutierrez, M., Noverraz, S., Renault, O., Vexo, F., Thalmann, D., "Magic Wand and the Enigma of the Sphinx," Computers & Graphics, 28, pp. 477-484, 2004.

[ 4 ] Gaitatzes, A., Christopoulos, D., Roussou, M., "Reviving the Past: Cultural Heritage Meets Virtual Reality.," Proc. of Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage 2001, pp. 103-110.

[ 5 ] Lee, Y., Oh, S., Woo, W., "A Context-Based Storytelling with a Responsive Multimedia System (RMS)," Proc. of Virtual Storytelling (VS2005), LNCS 3805, pp. 12-21, 2005.

[ 6 ] Papagiannakis, G., Foni, A., Magnenat-Thalmann, N., "Real-Time Recreated Ceremonies in VR Restituted Cultural Heritage Sites," CIPA XIXth International Symposium, pp. 235-240, July, 2003.

[ 7 ] Pape, D., Anstey, J., Carter, B., Leigh, J., Roussou, M., Portlock, T., "Virtual Heritage at iGrid 2000," In Proc. of INET 2001, Stockholm, Sweden, 5-8 June 2001.

[ 8 ] Park, C., Ahn, S., Kwon, Y., Kim, H., Ko, H., Kim, T., "Gyeongju VR Theater: A Journey into the Breath of Sorabol," Presence, 12(2), pp. 125-139, 2003.

[ 9 ] Park, K., Leigh, J., Johnson A., "How Humanities Students Cope with the Technologies of Virtual Harlem," Works and Days 37/38, 19(1&2), pp. 79-97, 2001.

[ 10 ] Park, K., Cho, Y., Park, S., "Lessons Learned from Designing a Virtual Heritage Entertainment Application for Interactive Education," International Conference on Entertainment Computing, 2006 (LNCS), Cambridge, UK, September 20-22, 2006.

[ 11 ] ARTToolkit, <http://www.hi.sci.washington.edu/artoolkit/>

저자소개

박 경 신(Kyoung Shin Park)



1991년 덕성여자대학교 수학과  
이학사  
1997년 University of Illinois at  
Chicago 전기전자  
컴퓨터과학과 공학석사

2003년 University of Illinois at Chicago 컴퓨터과학과 공학  
박사  
2004년 ~ 현재 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소  
연구교수  
※ 관심분야: 가상현실, 게임, HCI, 감성공학, 인터랙티브  
미디어, Edutainment, 교육용 시뮬레이션

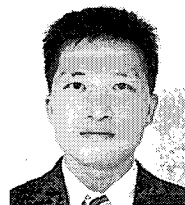
조 용 주(Yongjoo Cho)



1993년 University of Illinois at  
Urbana Champaign  
컴퓨터과학과 공학학사  
1997년 University of Illinois at  
Chicago 전기전자컴퓨터  
과학과 공학석사

2003년 University of Illinois at Chicago 컴퓨터과학과 공학  
박사  
2004년 ~ 현재 상명대학교 미디어학부 조교수  
※ 관심분야: 가상현실, HCI, 게임, 인터랙티브 학습 환경  
개발 등

강 승 목(Seungmook Kang)



1995년 Western Illinois  
University 수학과 학사  
1997년 The School of Art  
Institute of Chicago  
Art & Technology BFA  
2005년 University of Illinois at Chicago  
Electronic Visualization MFA

2005년 ~ 현재 전주대학교 정보기술공학부 교수  
※ 관심분야: 가상현실, 게임, 햅틱 디바이스, 문화재 디지  
털 복원, 교육용 시뮬레이션 등