

햅틱 디바이스를 활용한 문화유산 가상현실 콘텐츠 개발

- 금산사 콘텐츠 중심으로 -

A developed of virtual reality contents of cultural heritage utilize the Haptic interface system

- Focused on Keum-san-sa content-

박 소 연

전주대학교 영상콘텐츠학부 교수

Soyon Park

Dept. of Media Art, Jeonju university

1. 서론

2. 관련 연구 동향

- 2-1. 문화유산 디지털 복원
- 2-2. 게임형 문화유산 체험콘텐츠
- 2-3. 상호작용형 문화콘텐츠
- 2-4. 모바일 관람가이드 시스템

3. 햅틱 인터페이스와 가상현실

- 3-1. 햅틱 가상현실
- 3-2. 햅틱 기술 개발 현황
- 3-3. 햅틱 인터페이스 응용

4. 금산사의 가상현실 콘텐츠 개발

- 4-1. 금산사 디지털 복원 작업
- 4-2. 금산사 가상현실 환경 구현
- 4-3. 금산사 사물(四物)의 촉감 데이터 추출
- 4-4. 금산사 사물(四物)의 햅틱 이벤트 구현
- 4-5. 햅틱의 정지마찰 계수와 Sand Paper 비교

5. 결론

참고문헌

논문요약

디지털 기술과 정보미디어의 지속적 발전과 연구로 훼손된 문화유산의 원형을 복원하는 기술도 꾸준히 개발되어 왔으며 가상현실 공간 안에서 오감 특히, 눈과 귀를 통한 다양한 문화유산의 체험이 가능해졌다. 최근 들어 시각, 청각에 의존했던 가상현실 체험에서 더 나아가 촉감까지 체험할 수 있는 촉감 관련 연구도 활발히 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 햅틱 디바이스라는 촉감 관련 기술을 문화유산 체험에 적용하여 이를 이용할 수 있는 촉감 인터페이스를 개발하였다. 본 연구를 위해 전라북도 김제시에 소재한 금산사를 대상으로 정하고, 일반인이 사찰을 방문하여 체험할 수 없는 사물(법고, 범종, 목어, 운판)에 대한 촉감 데이터를 추출하여 디지털 복원에 적용하고 체험할 수 있는 햅틱 인터페이스를 개발하였다. 이와 더불어 금산사 사찰 내부와 외부의 정경을 체험할 수 있는 가상현실 환경을 구축하였다.

주제어

문화유산, 가상현실, 햅틱

Abstract

Having the technology of digital restoration of cultural heritage advanced, it is possible to explore cultural heritage in virtual environment with vivid graphic images and rich stereo sound. For more realistic virtual environment, touching the virtual objects is important event that should be considered when building a virtual world of cultural heritage. This paper investigates the use of a haptic feedback device to interact with virtual Korean traditional instruments, called Sa-mool, in Buddhist temple and provide the user with tactile cues during playing the instruments and touching the objects. In the research, the data of degree of smoothness, friction, and hardness from Korean traditional building material-stone, wood, and leather have been collected and normalized as Korean cultural heritage haptic interface. Those data are presented as an application of playing 4 percussion Korean Buddhist temple instruments, Sa-mool(temple drum, Buddhist temple bell, wooden fish, cloud shaped gong), and users can play the instruments, which are usually not open to public, with haptic device while walking through the virtual Keum-san-sa, old Korean Buddhist temple in Gimje-city, Jeonbuk, Korea.

Keyword

Cultural Heritage, Virtual reality, Haptic

1. 서론

최근 정부 주도하에 문화콘텐츠 산업이 육성되면서 우리의 전통문화를 소재로 한 콘텐츠의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 한국콘텐츠진흥원의 주도로 시작된 우리 문화원형의 디지털 콘텐츠화 사업 및 문화기술(Culture Technology) 개발 사업은 우리의 문화원형을 디지털 복원하여 이를 저장 관리하고 체험할 수 있는 기술까지 연구할 수 있는 기반이 되었다.

문화기술관련 중에서도 본 연구의 시작은 문화유산 체험과 가상현실 환경을 접목시켜 관람자가 컴퓨터에서 만들어진 가상환경에서 3D 그래픽 이미지의 문화유산을 좀 더 현실에 근접한 느낌을 받으며 체험할 수 있도록 하는데에서 그 출발점을 찾을 수 있다. 일반적으로 가상현실 공간 안에서 보여주는 3D 오브젝트(Object)들은 관람자의 눈을 통해서 또는 귀를 통해서 관람자에게 인식된다. 인간이 느낄 수 있는 다섯 가지의 감각 중, 이 두 가지만을 자극하는 것이 대부분이었다.

관람자가 눈으로 사물을 인지하는 것은 사물에서 관람자로의 한방향 커뮤니케이션이고, 마찬가지로 소리 또한 사물에서 발생한 음파를 관람자의 귀로 인지하는 단방향 커뮤니케이션이다. 이에 반해 촉각은 관람자가 대상체를 손으로 만지거나 쥐거나 또는 문질러서 대상 물체가 갖고 있는 온도, 단단한 정도, 매끄러운 정도 등의 다양한 정보를 피드백으로 받는 양방향 커뮤니케이션이며, 대상 물체와의 촉감적 접촉을 통한 피드백으로 시각적 변화나 청각적 변화를 얻어내는 상호작용 (Interaction)의 결과를 도출할 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 물리적 힘을 이용하여 가상현실 공간상의 사물을 사용자가 손으로 느낄 수 있도록 하는 촉감 대응 기기인 햅틱 디바이스를 이용하여 시각이나 청각 개념에서 더욱 발전된 촉각 개념까지 더한 인터페이스를 개발하여 시각, 청각, 촉각을 사용한 문화유산 체험 가상현실콘텐츠를 제공하고자 한다.

연구 과제의 주목적은 촉감 상호작용이 가능한 가상현실 환경을 구축하여 가상공간에서 시각적으로 문화유산을 관람하고 촉감을 통하여 문화유산의 질감까지 느낄 수 있는 체험형 가상현실 콘텐츠를 제작하는 것이다. 이에 시연 과정에서 보여줄 특정 대상으로 한국 건축사를 대표하는 다층 사찰 건축으로 전라북도 김제시에 위치한 금산사의 미륵전(국보 제 62호)을 대상으로 하였다. 일반인의 사찰에 방문하더라도 접근이 불가능하여 직접 만지거나 체험 할 수 없는

사물(법고, 범종, 목어, 운판)에 대한 촉감적 데이터를 추출하여 사물(四物)의 표면 질감을 느끼고 직접 타종을 하게 함으로써 몰입감을 증대시키고 흥미를 유발시켜 사용자가 능동적으로 시스템에 참여할 수 있는 햅틱 인터페이스를 개발하였다. 이와 더불어 금산사의 미륵전을 비롯하여 사찰 내부와 외부의 정경을 체험할 수 있는 가상현실 환경을 구축하여 햅틱 시스템과 연계하여 연동할 수 있도록 하였다.

이를 위한 연구용 햅틱 디바이스로는 미국 SensAble사의 팬텀 시리즈를 이용하였고, 문화유산의 촉감 데이터의 샘플은 금산사의 사물(법고, 범종, 목어, 운판)과 사찰내의 건축물들을 대상으로 하여 남자 8명 여자 2명 실험자가 20회에 걸쳐 얻어진 촉감 데이터를 세계적으로도 표준이 잘 정립된 샌드페이퍼와 비교하여 질감의 정도를 추출하였다. 촉감 데이터를 추출하는데 있어서 비교 표준 샘플로 사용된 샌드페이퍼는 Evaluation of Human Sensibility on Perceived Texture(Kyung Ki-Uk, 2006)에서 언급된 바 있는 표준화 정립이 가장 잘 되어 있는 샌드페이퍼를 사용하였다.

2. 관련 연구 동향

2.1. 문화유산 디지털 복원

한국문화콘텐츠진흥원에서 주관하는 ‘문화원형 디지털 콘텐츠화 사업’을 통해 2002년부터 5년간 전통문화를 대상으로 역사, 민속, 신화, 건축, 예술 등 총 160개의 과제가 개발되었으며 또한 3차원적인 문화원형 복원 연구가 활발히 진행되어 사이버 박물관, 전시장 등과 같은 다양한 방향으로 활용되어지고 있다. 이 사업을 통해 280여개의 업체와 학교는 순수예술, 인문학 및 공학 등의 교류 및 소통하는 인프라를 구축하는 시발점이 되었다. 또한 문화유산을 단순히 보존의 대상이 아닌 산업적 활용의 소재로서 그 가능성을 발견하게 된 것이 이 사업의 가장 큰 성과이다. 이 사업의 대표적인 예로 영화 ‘왕의남자’에서 활용된 ‘디지털 한양’은 100년 전 한양을 디지털로 복원하여 영화의 배경 장면으로 사용하였다. 가상공간에 구현한 ‘디지털 한양’과 ‘조선 후기 궁궐 의례와 공간’이라는 디지털콘텐츠를 통해 경복궁을 배경으로 한 명장면을 당시 실사 촬영이 불가능한 경복궁을 대신하여 영화에 담을 수 있었다.

국내의 대표적인 문화유산 디지털복원 사례로는 한국과학기술원에서 제작된 ‘서라벌의 숨결’이다. 이 프로젝트는 1300년전의 신라 왕경을 디지털 복원하여 국내 최초로 Networking 시스템 좌석이 설치된 반원형 대형 스크린 전용관에서 ‘경주문화엑스포2000’ 행

사 기간에 상영 되었으며 상호작용이 가능한 입체영상물로 통일 신라의 도성, 신라 왕경인 서라벌, 불국사, 석굴암, 황룡사 9층탑, 남산 등을 가상현실 기술로 제작하여 당시 화려한 신라 문화를 시공간을 넘나들며 체험 할 수 있었다. 그러나 아쉽게도 영상관은 해체되어 더 이상 이 영상을 볼 수 없다.

2.2. 게임형 문화유산 체험콘텐츠

최근 컴퓨터 사용자들의 게임에 대한 관심이 고조되면서 문화유산을 소재로 학습을 유도하고 일반인보다 쉽게 다가갈 수 있는 가상현실 문화유산 게임 콘텐츠 개발도 활발히 이루어지고 있다. 2004년 게임 엑스포에 선보인 '디지털 고구려', 현재 북한에 위치한 안악3호분을 디지털로 복원하여 가상현실 환경에서 재현하였다. 이 프로젝트는 1500년 전에 만들어진 고구려 고분 안에 벽화를 통하여 고구려의 문화적 배경과 생활 방식 등을 현대인에게 알려주기 위해 제작되었다. 이 연구에서는 훼손이 많이 되어 현재 상태로 알아보기 힘든 2D 벽화 복원을 기반으로 벽화 안에 인물과 사물들을 3D로 디지털 복원하여 게임요소를 가미, 퀴즈를 풀어가면서 고분내의 벽화를 감상할 수 있는 가상현실 환경을 구현하였다.

2.3. 상호작용형 문화콘텐츠

최근 사용자의 시각·청각·촉각을 자극하여 실감나는 체험이 가능한 상호작용형 문화콘텐츠들이 제작되고 있으며, 컴퓨터와 사용자 상호작용의 직관성을 높여주는 인터페이스가 개발·사용되고 있다. 개인화된 상호작용형 문화콘텐츠 체험 시스템 중 하나인 '미륵의 꿈'은 텐저블 인터페이스시스템 ARToolkit이란 도구를 사용하여, 마커가 부착된 블록을 탁자형태의 사용자 인터페이스인 ARTable 지도 위에 놓으면 그 마커가 부착된 블록을 감지하여 가상현실 운주사의 곳곳을 이동하고 도착한 위치에 따른 스토리 장면을 관람하고 참여 가능한 이벤트를 실행 할 수 있다 (Lee Y., Oh S., Woo, W., 2005, pp.12~21). ARToolkit은 관람자가 가상공간을 이동하고 마커가 부착된 물체를 컴퓨터 비전 방식으로 인식하여 가상공간에서 사용자가 상호작용을 할 수 있는데 중점을 둔 방식이다. ARToolkit은 카메라 장치와 물체에 마커를 부착하여 상호작용형 체험시스템을 쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있지만, 사용자의 몰입감을 위해 어두운 환경을 필요로 하는 4D영상관이나 CAVE형태의 시스템에서는 인식률이 떨어지는 단점이 있다.

2.4. 모바일 관람가이드 시스템

기존에 개발된 문화유산 디지털복원의 성과들을

활용의 단계로 끌어 올리는데 기여한 모바일 관람 가이드 시스템은 유적지나 박물관에서 모바일을 통해 방문객들에게 개인적인 안내를 실시간으로 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. 휴대전화와 PDA 등 개인 정보단말기를 활용한 체험형 관람 시스템은 유적지나 박물관의 전체적인 지도에서 자신의 위치를 파악할 수 있으며 관람 중에도 자유롭게 지역정보, 위치정보, 전시물정보 등의 안내를 실시간으로 받아볼 수 있다. 이러한 방문객의 이용 정보는 체험관의 평가 정보로도 활용이 가능하며, 방문객이 가정에서 정보를 재활용 할 수 있도록 한다.

2008년 상명대학교 ICE연구실에서 개발된 사용자 맞춤형 인테랙티브 여행 가이드 프로젝트는 가상공간에서 사용자가 원하는 장소들을 쉽게 찾아다닐 수 있도록 모바일 인터페이스를 추가한 서비스로 가상공간안의 사용자 현재 위치는 실시간으로 지도 위에 붉은 색 점으로 표시되며 이 지도를 통해 본인의 위치와 가상공간상의 각 방들 및 연결된 통로를 확인 할 수 있다(김수화, 김민영, 곽은주, 박경신, 조용주 2008).

지금까지 진행되어 온 문화유산 복원 및 가상현실 콘텐츠 연구는 문화유산을 디지털화하여 저장 관리하거나, 디지털화된 데이터를 이용하는 처리 기술, 또는 이를 이용하여 다양한 디바이스를 통해 상호작용이 가능한 체험 기술 위주로 진행되어 왔으며 시각과 청각에 의존한 기술 연구가 대부분이었다. 최근 들어 햅틱 디바이스를 통해 문화재를 직접 축조한다던지 재질을 표현하는 연구가 진행되어지고 있으나 정확한 문화재의 재질을 표현하기 위한 연구는 미비한 상태로 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

3. 햅틱 인터페이스와 가상현실

3.1. 햅틱과 가상현실

햅틱(Haptic)이라는 단어는 그리스어로 '만지다' 라는 뜻의 'haptesthai'에서 유래한 영어 단어로 '촉각의, 만지는'이라는 형용사적 의미로 사용된다 (Merriam-Webster). 사람의 촉각을 표현하는 단어로는 손가락 팔 등 근감각을 통해서 만지고 느끼는 과정을 가리키는 'Kinesthetic'과 피부의 접촉을 통해 느끼는 'Tactile' 이라는 단어가 있는데 최근 위의 두 단어의 의미를 포함하여 손을 사용하여 느끼는 지각뿐만 아니라 인체의 모든 촉각 기관을 사용하여 느끼는 지각으로 햅틱을 정의하고 있다. 햅틱은 시청각을 중심으로 이루어졌던 컴퓨터 인터페이스 혹은 가상현실 환경에서 사용자의 새로운 감각 정보에 대한 요구의 증대와 함께 연구가 시작되었으며 촉감을 재현하는 것을 목적으로 하는 다양한 학문의 분야가 모여서 탄

생한 새로운 학문 분야라 할 수 있다.

사람이 정보를 느끼는 과정을 어느 한가지의 감각 기관만을 통해 느끼며 관찰하게 된다면 현실감이 떨어지게 된다. 예를 들어 영화를 볼 때 사운드 효과나, 음악이 없거나, 사물의 거칠기를 촉감으로 느낄 수 있지만 시각적으로 형태를 볼 수 없다면 사용자에게 현실성을 제공하는 것이 목적인 가상현실 콘텐츠 제작에 한계가 올 수 있다. 그러나 컴퓨터그래픽스의 실감화를 위해 새롭게 등장한 가상현실 콘텐츠를 3차원 그래픽, 입체 음향, 냄새나 맛, 촉감 등과 같이 여러 종류의 정보를 적절히 조합하여 사용자에게 현실성을 제공 한다면 사용자는 관련된 모든 정보를 조합하여 받아들여지게 되며 각각의 감각 모달리티간의 연관성으로 가상현실의 목적인 현실감을 제공 할 수 있다. 여기에 새로운 상호 작용 도구인 햅틱 기술은 촉각 정보까지 전달할 수 있어 사용자가 가상현실 환경을 더욱 풍성하게 받아들일 수 있다.

가상현실은 사용자가 현실감을 느끼며 몰입이라는 상태에 도달하도록 함으로써 달성될 수 있으며, 몰입 순간까지의 과정을 얼마나 쉽고 빠르게 이끌 수 있는 것이 가상현실의 기술적 정도를 말한다. 상상과 몰입의 과정은 인간의 뇌에서 이루어지는 것으로, 이러한 일련의 과정을 효율적으로 진행시키기 위해서는 발전된 형태의 상호작용 도구인 햅틱 기술은 촉감을 느낄 수 있다는 점에서 기존의 감각 기관과 함께 가상현실 세계를 보다 실감나게 만드는 요소로 질 높은 가상환경 구축에 중요한 도구로 활용될 수 있으며, 게임 등의 엔터테인먼트 산업 분야에서도 활용될 수 있다.

3.2. 햅틱 기술 개발 현황

햅틱 인터페이스는 기본적으로 원격조작에서 그 기술적 시작이 이루어지고. 원격조작은 인간이 접근하기 어려운 핵시설 내부, 우주, 해저 의 환경 등에서 기계를 조작하기 위하여 기술 개발이 시작되었다.

미국의 Immersion 사의 18개의 센서를 가진 CyberGlove에 손바닥 및 손가락 진동자를 장착한 CyberTouch 햅틱 인터페이스를 개발하여 상용화하였다. 미국 VirTouch사에서는 기존의 마우스 상단에 질감형 햅틱 인터페이스 기능을 추가하여 컴퓨터 화면상의 경계선이나 문자를 굴곡이나 점자의 형태로 제공하여 시각장애인들이 손쉽게 컴퓨터를 사용할 수 있는 햅틱 인터페이스를 제공 하고 있다.

햅틱 연구의 시작은 1993년 MIT 인공지능연구소에서 시작되었다. SensAble(사)에서 1990년 중반 PHANTOM 시리즈를 개발하여 현재 세계에서 가장 많이 팔리는 대표적인 햅틱 디바이스가 되었다

(SensAble Technologies). 이후 일본 츠크바대학 Iwata연구소에서 PHANTOM 시리즈, 다른 방식의 병렬형으로 연결된 Haptic Master가 개발되었으며(VR Lab at University of Tsukuba) 2002년 스위스에서도 병렬구조인 Delta Haptic Device를 개발 3자유도, 6자유도 등의 제품을 판매하고 있다(Force Dimension). 국내에서도 KAIST, KIST, 한양대학교, GIST 등에서 햅틱 디바이스 연구가 진행되고 있다.

3.3. 햅틱 인터페이스 응용

현재 시장에는 노트북이 소형화되어 모바일PC의 개념이 등장하고 있으며 PDA와 휴대폰이 컴퓨터 못지않게 발전되어 개인휴대기기의 기능이 다양하게 발전되어 지고 있다. 이미 국내의 삼성전자, KTF, SKT 등 주요 이동통신사가 햅틱 기능을 탑재한 휴대폰을 출시하여 손가락의 터치로 각종 게임, 네비게이션, 각종 메시지 및 의사전달 등이 가능하게 되었다.

의료분야에서는 미세한 조작이 필요한 수술의 경우에 로봇을 사용하는 기술이 개발되고 있으며 로봇과 인체간의 작용력에 대한 정보를 로봇 조작자에게 전달시켜 주지 못할 경우, 시술의 속도 및 정확성에 한계가 있어 햅틱 인터페이스를 수술로봇의 조작 장치로 개발 활용중이다.

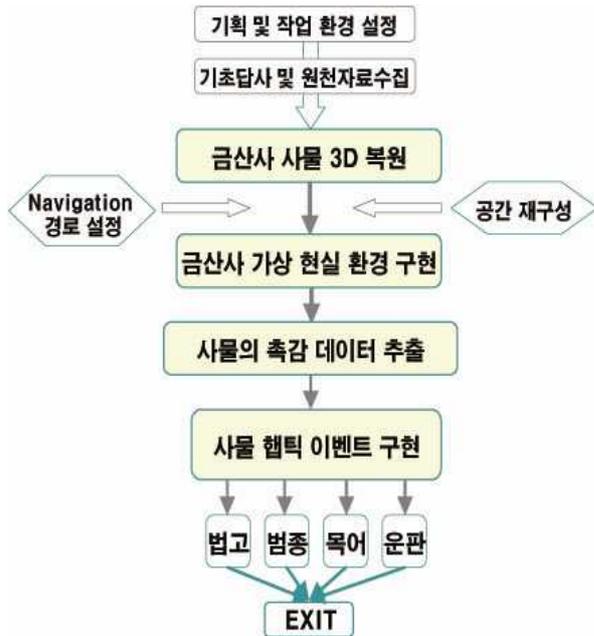
실습이 필요한 대부분의 교육 분야에서도 재료적인 측면에서 비용 부담, 위험 부담을 수반하는 상황이 많다. 운전교육, 의사의 봉합수술, 간호사의 정맥주사 등은 실제의 경우와 차이가 있기 때문에 학습에는 한계가 있다. 이런 작업들은 모두 힘 반응을 제공하는 햅틱 인터페이스와 가상환경 구축을 통해 실제와 거의 비슷한 학습 상황을 재현할 수 있고, 질 또한 높힐 수 있다. 파일럿을 위한 모의 비행 환경 구축, 모의 운전 교육은 이미 햅틱이 적용된 상태이다. 또한, 기본적인 형태의 햅틱 디바이스로 게임기의 진동 패드를 들 수 있으며 이 패드는 이미 판매되고 게임 분야에서 활용되고 있다.

최근 문화유산 디지털 복원이 활성화 되면서 가상현실 기반의 체험형 콘텐츠를 만들기 위해 시각적 효과나 청각적 효과 이외에 촉각, 미각, 그리고 후각 등의 오감을 모두 만족 시킬 수 있는 문화유산 가상현실 콘텐츠 제작이 시도되고 있다. 햅틱 인터페이스를 활용하면 우리나라가 갖고 있는 수많은 문화유산을 직접 만져보고 느낄 수는 체험형 콘텐츠로 제작이 가능하다.

4. 금산사의 가상현실 콘텐츠 개발

콘텐츠 개발은 <그림1>과 같은 연구과정을 거쳐서

진행한다. 콘텐츠는 소재인 금산사¹⁾ 내부에 수많은 보물급 문화재와 국보급 문화재인 미륵전등이 있는데 이들 중 미륵전을 중심으로 사물(법고, 범종, 목어, 운판)을 3D로 디지털 복원하였다. 디지털 복원된 금산사는 네비게이션 경로와 공간 재구성을 통해 가상현실 환경을 구축하고 촉각 데이터를 추출한 후 햅틱 인터페이스 이벤트를 구현하여 사물을 체험할 수 있다.



<그림 1> 연구 프로세스

4.1. 금산사의 디지털 복원 작업

디지털 복원은 철저한 고증과 자료를 바탕으로 현장 답사 및 실측을 통해 이루어지며 인문, 사회, 예술, 공학의 지식 공유를 통해 문화유산의 의미를 재해석하여 역사적 공간을 재구성하게 된다. 본 연구에서 가상현실 환경 구축을 위해 금산사의 직접 답사를 통해 얻어진 사진 자료와 이와 유사한 사찰들을 중심으로 얻어진 사물(법고, 범종, 목어, 운판)의 형태를 분석하고 기초자료의 지형과 위치를 토대로 미륵전과 햅틱 인터페이스에 활용할 금산사 내부에 4개의 사물을 복원하였다. 3차원 디지털 복원은 최근 게임 모델이나 가상현실 모델에 주로 사용되고 로우폴리곤 모델링 제작이 용이한 3ds Max 소프트웨어를 사용하였다.

1) 금산사는 전라북도 김제시 금산면(金山面) 모악산(母岳山) 남쪽 기슭에 있는 대사찰로 창건과 관련하여 "금산사사적"의 내용을 근거로 볼 때 599년 백제 법왕의 자복사찰로 창건되었으며, 이 후 진표율사에 의한 6년여의 중창으로 사찰다운 모습을 갖추게 되었다고 한다.

4개의 사물은 각기 다른 재질로 구성되어 있다. 범종은 금속 재질에 표면에는 양각으로 무늬가 새겨져 있다. 법고의 경우 나무로 된 몸체에 양 끝에는 가죽으로 씌어 만들어 졌으며, 치는 곳은 가죽면 또는 나무 재질로 된 몸체를 치기도 한다. 목어는 나무로 만들었고 내부는 비어있다. 몸체를 치기도 하지만, 긁어서도 소리를 낸다. 운판은 금속 재질의 얇은 판으로 겉에는 양각의 무늬가 들어 있다. 이러한 각각 특성을 이해하고 시각적으로도 사물의 재질을 최대한 살릴 수 있게 3D 모델링 작업에 텍스처 맵핑(Texture Mapping)으로 디테일을 살려 <그림2>와 같이 디지털로 복원된 금산사의 인트로 장면을 얻을 수 있다.



<그림 2> 3D 복원된 금산사 인트로 장면

4.2. 금산사의 가상현실 환경 구현

실사 이미지의 금산사와 3ds Max로 모델링된 3D 데이터를 가지고 퀘스트3D(Quest3D) 안에서 사물 체험을 할 수 있도록 가상환경을 구축 하였다. 사용자의 간단한 키 조작을 통하여 사물이 위치한 곳으로 이동 후 사물요소(법고, 목어, 운판, 범종)를 햅틱 디바이스를 이용하여 체험 할 수 있다. 모델링된 금산사 맵을 <그림3>과 같이 VR 네비게이션 경로로 활용하였으며 VR 전개 방식으로는 웨이 포인트²⁾ 방식으로 짜여진 코스를 체험하면서 해당 포인트에 햅틱 요소를 부여하여 가상 체험을 할 수 있게 하였다.



<그림 3> 금산사의 VR 네비게이션 경로

2) '웨이 포인트'(Way Point. 공중에 설정한 특정한 지점, 영역)



<그림 4> 가상현실 사물 햅틱 체험 전 화면

금산사의 문화유산체험은 금산사의 입구인 일주문 앞에서부터 체험을 시작하여 보제루를 통과하면서부터 각각의 사찰의 건물을 가상 공간 안에서 직접 보면서 경험을 하게 된다. 이후 대장전, 대적광전, 방등계단, 미륵전 앞에 화면이 멈추면 <그림4>에서 보는 바와 같이 메시지박스가 나타나 사물이 어디에 위치해 있는지 알 수 있으며 햅틱 디바이스의 사물 체험 인터페이스 화면이 퀘스트3D 화면 안에서 새로운 창에 열리게 되고 사물의 햅틱 요소를 이용하여 사물 체험을 시작하도록 제작되었다. 사용자는 키 조작을 시작 하는 순간부터 사물 체험이 시작 된다. 첫 번째 사물이 위치한 곳까지 실제 사용자가 걸어가는 느낌을 받을 수 있도록 화면이동을 설정 하였으며, 첫 번째 사물이 위치한 곳에 화면이 멈추면 사용자는 두 번째 키 조작을 통하여 체험하게 될 사물의 정보를 알려주는 메시지박스를 보게 되고, 이후에 사물 체험을 시작 하게 된다. 사물 체험이 끝나면 자동적으로 사용자의 화면은 두 번째 사물을 체험하기 위한 장소로 이동을 시작 한 후 자동적으로 두 번째 사물체험 지점에서 정지한 후 다시 한 번 메시지 박스의 정보를 받을 수 있다. 이러한 방식을 사용하여 사용자는 키 조작을 통하여 금산사내의 각 사찰 건물들을 볼 수 있으며, 햅틱 디바이스를 통하여 금산사의 사물(법고, 목어, 운판, 범종)요소를 직접 만져보고, 다루어보는 체험을 하게 됨으로써 사용자는 우리나라 전통 사찰에 비치되어 있는 사물요소를 직접 체험할 수 있는 기회를 갖게 된다. 기존의 눈으로만 경험 했던 것에서 벗어나 금산사에 직접 가지 않더라도 금산사에 와 있는 것과 같은 가상 환경 속에서 사물을 손으로 직접 체험할 수 있는 문화유산체험기술을 개발하여 가상환경(Virtual Environment)을 구축 하였다.

4.3. 금산사의 사물(四物)의 촉감 데이터 추출

금산사를 가상현실 환경에서 체험할 수 있도록, 금산사내의 법고(法鼓), 운판(雲板), 목어(木魚), 범종(梵鐘), 이 4가지의 대상과 또 사찰내의 건물이나 계단 등에 관한 재질적 데이터도 조사 추출하였다. 다른

재질의 표면을 만졌을 경우 손으로 느끼는 촉감의 차이를 측정하기 위하여 감각 기관에 이상이 없는 20-29세 사이의 남녀 대학생 피험자 10명을 선발하여 샌드페이퍼 촉감 감지에 대한 테스트를 하고 샌드페이퍼와 일반 물체의 재질 비교 연습을 진행하였다. 촉감을 표현하는 변수는 금산사 사찰 내의 건축물과 사물을 가상 환경에서 만졌을 때 햅틱 디바이스로 감지할 수 있는 범위의 단어를 선정하여 햅틱 디바이스 인터페이스 프로그래밍에 사용하였다.

샌드페이퍼는 뒷면에 댄 재질에 따라서 종이나 천으로 분류하기도 하지만 일반적으로는 ISO 6344 표준에 따라 샌드페이퍼 표면에 있는 Grit(그릿 모래알 같은 돌기)의 크기로 분류하고 있다(Sandpaper). 그릿의 크기는 1인치 선상에 들어가는 그릿의 수로 표시한다. 샌드페이퍼는 수가 많을수록 샌드페이퍼의 표면은 더 곱고 그릿의 파티클 직경이 작다는 것을 알 수 있다<표1>.

거칠기표시 (상표에 따라 표기에 차이가 있음)	샌드페이퍼	파티클직경 (μm)
MACROGRITS		
거칠기(coarse)	p50	336
약간거칠기(medium coarse)	p60	269
	p80	201
섬세함(fine)	p100	162
	p120	125
매우 섬세함(very fine)	p150	100
	p180	82
	p220	68
MIROGRITS		
매우 섬세함(very fine)	p320	46.2
아주 섬세함(extra fine)	p400	35.0
	p600	25.8
아주 많이 섬세함(super fine)	p800	21.8
	p1000	18.3
	p1200	15.3
극도로 섬세함(ultra fine)	p1500	12.6
	p2000	10.3

<표1> 실험에 사용된 샌드페이퍼와 표면 거칠기 분류

금산사 사찰 내부의 있는 다리, 일주문 계단, 일주문 기둥, 일주문 외벽, 천왕문 외벽, 기와 (노후가 많이 된 것과 덜 노후된 것), 이끼 낀 기와, 법고앞뒤북면(가죽), 법고옆면, 범종, 목어 내외부, 운판, 대장전 외벽, 방등계단, 대리석, 석등 등에 관한 촉감적 비교 데이터를 피험자 10명이 20회에 걸쳐 추출하였다. 각 데이터 수집 중간에는 촉감의 피로도를 감안하여 약 10분간의 휴식기를 갖고 다음 실험을 하였다. 전문 측정 장비를 사용해서 재질의 매끄러운 정도나 거칠기, 단단함 등을 측정하여 수치 데이터를 추출할 수도 있었으나, 본 프로젝트는 사람이 직접 느끼는 체험 콘텐츠 제작 기술의 일부였으므로 인간의 손을 사용하여 느끼는 감각 데이터를 그대로 가상공간 안에

서 햅틱 디바이스를 통하여 재연이 가능 하도록 직접 손의 감각 기관을 이용하여 데이터를 수집, 수치로 만들었다. 이렇게 수집된 데이터는 햅틱 인터페이스에서 사물을 만지고 느꼈을 때 최대한 실제의 사물과 같은 촉감으로 느낄 수 있게 햅틱 이벤트 구현시 적용하였다. 학생들은 각자 실제 대상물과 테스트용 사포를 번갈아 가며 만져보고, 가장 비슷하다고 생각하는 것에 체크하였다. 아래의 <표2>는 10명의 실험한 결과를 종합한 데이터를 표로 정리한 것이다. 재질에 대한 촉감테스트는 참여하는 인원의 개인적 차이가 조금 있었지만, 거의 유사한 분포도를 갖고 있는 것을 볼 수 있다.

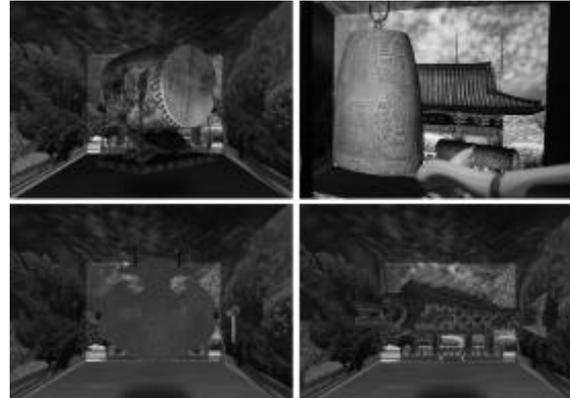
종류	P50	P60	P80	P100	P120	P150	P220	P320	P600	P800	P1000	P1200	P1500	P2000
대상														
법고 북면 (뒷면)													3	7
법고 옆면									2	5	2	1		
법고 옆면 (소스랑부분)									1	1	1	7		
범종									2	6	2			
범종 당 (뒷면)	3	6	1											
목어(밖)											4	5	1	
목어(안)										5	2	2		
대장전 외벽									1	8	1			
목이 손 쇠						1	6	1						
방통계단	1	1	7	1										
대리석 (가공無)	1	8	1											
석등			1	2	6	1								
다리고주 (대리석)											1	2	5	2
다리고두								2	6	2				
다리고두 (이끼)								6	2					
다리(화강암)	2	6	2											
일주문 계단									6	4				
일주문 기둥								2	2	6				
일주문 외벽								2	5	2	1			
천왕문 외벽									2	6	2			
기와(新)										1	1	6	2	
기와(古)									1	2	5	1	1	
기와(이끼)								2	6	2				
법고북면 (앞면)												1	1	8

<표2> 질감표현대비 측정표

4.4. 금산사의 사물(四物)의 햅틱 이벤트 구현

본 연구에서 햅틱 디바이스로는 미국 SensAble사의 팬텀 시리즈를 이용하였으며 3ds Max로 모델링된 금산사는 Open GL loader를 통해 햅틱을 운용하는 C 언어 기반의 하이레벨 HLAPI(Haptic Library API)를 사용하여 표면 탄성(Stiffness), 정지마찰력(Static Friction), 운동 마찰력(Dynamic Friction), 완충력(Damper)의 계수를 이용하여 사용자에게 힘이 전달되어 촉감을 느낄 수 있게 전달되어지며 촉감에 따른 사물표면의 변화까지 표현이 가능하게 된다. 금산사의 사물 체험은 햅틱 이벤트가 있는 장소에 도착하면 자동으로 인터페이스가 나타나며 <그림5>의 각각의 사물 햅틱 인터페이스 환경에서 펜을 조작하여 표면 질감을 만지거나 타종을 하는 등의 체험을 할 수 있다. 코스별 이벤트는 각 해당되는 사물에 맞는 이

벤트를 구성하여 누구나 쉽게 조작할 수 있는 G.U.I(Graphic User Interface)로 제작하였다.



<그림 5> 햅틱 인터페이스 체험 장면

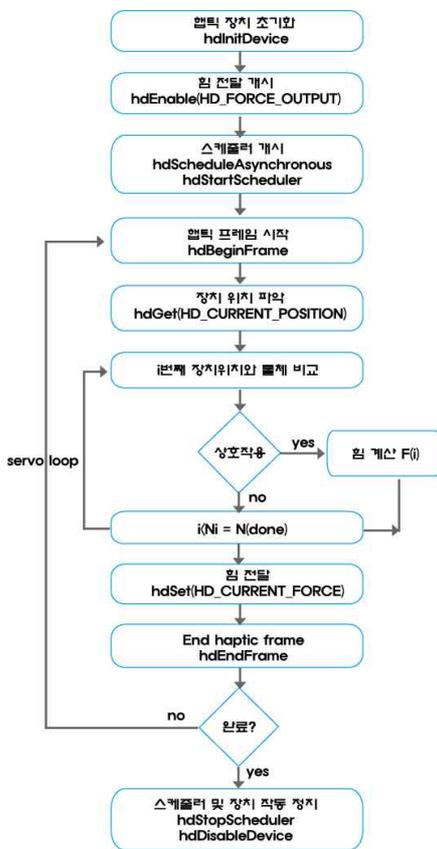
사물	햅틱 요소	시나리오
법고	1.북의 나무와 가죽, 북채 표면의 서로 다른 거칠기 표현. 2.북채의 위치 속도에 따라 연주 음이 달라지며 충돌 느낌도 다름.	북채를 자유롭게 움직여 북에 충돌시킴으로써 연주 가능.
범종	1. 범종은 금속 재질 당목은 나무 재질로 구현. 2.당의 무게에 따라 소리의 느낌을 다르게 한다. 3.범종과 당목의 거리에 따라 연주 음을 다르게 표현.	범종은 당목에 무게(중력감)를 각각 다르게 하여 연주 가능.
목어	1.목어의 표면 재질인 나무 느낌 표현 2.채의 때리는 속도와 강약에 따라 소리 크기가 달라진다.	채를 목어의 외부 내부 표면을 치고 힘의 강약도 느껴본다.
운판	1.운판의 표면은 금속 재질 느낌이 나며 양각된 문양을 햅틱 장치로 감지할 수 있다. 2.망치로 때리는 속도와 강약에 따라 소리 크기가 달라진다.	나무망치를 쳐서 운판을 연주한다.

<표3> 햅틱 이벤트 구성 요소

사물 체험에서 가능한 햅틱 이벤트의 구성 요소들과 시나리오를 1차적으로 정리한 후 프로그램상으로 가능한지 타진한 후 <표3>의 햅틱 이벤트 구성 요소를 본 연구의 햅틱 체험 콘텐츠 제작을 적용하였다. 가상의 물체를 촉각으로 감지하고 물체의 무게가 손으로 전달되게 할 수 있으며 표면의 거칠기를 만져서 느낄 수 있는 것이 햅틱 체험 콘텐츠 제작의 기초 단계이며, 또한 두 물체를 충돌시켜 그 운동을 표현할 수 있다. 사물의 햅틱 표현은 사물로 가능한 행위를 가상으로 구현하는 것으로 사물을 만지거나 연주하는 행위를 구현해야 하며 그 행위에 따른 물체의 반응을 햅틱 장치로부터 전달받아야 한다.

인간의 눈은 초당 30회의 화면 개신만으로도 움직

임을 표현 할 수 있으나 촉각은 초당 약 1000회 이상의 비도로 힘이 전달되어야만 자연스러움을 느낄 수 있다. 그러므로 프로그램은 그래픽 부분과 햅틱 부분의 각각의 스레드를 할당하여 주어진 갱신율을 유지해야 한다. 이번 연구에 사용된 HLAPI(Haptic Library API)는 사용자의 운동 및 이에 따른 힘을 장치로부터 받아 들여 컴퓨터 그래픽스에 반영할 수 있는 데이터로 변환하여 여러 가지 힘을 장치에 전달하여 유저가 표면의 상태를 느낄 수 있게 한다. 또한 OpenGL에서 제공하는 함수를 이용하여 물체를 로딩하고 물체의 움직임을 기하학적으로 통제하였다. HLAPI의 프로그램 개념은 <그림6>과 같다.



<그림 6> 햅틱 프로그램 개념도 (SansAble Technologies)

<표4>에서 보는 것과 같이 햅틱 디바이스의 기본 원리를 적용하여 답사를 통해 얻어진 실제 사물의 촉감 데이터와 프로그래밍 과정에서는 수집한 촉감 데이터를 분석하여 4개의(표면 탄성, 정지 마찰력, 운동 마찰력, 완충력) 햅틱 디바이스가 갖고 있는 계수의 조합을 찾아내서 함수를 도출하여 금산사 사물의 표현과 인터페이스 디자인에 적용하였다.

1. 사물 프로그램의 개념	
<ul style="list-style-type: none"> - 사물 표면의 거칠기 표현 - 사물 연주 표현 - 연주 동작 구현 - 연주 시 사물의 움직임 및 소리 구현 	
2. 사물 프로그램의 작동 원리	
<ul style="list-style-type: none"> - 사물의 모델링을 그래픽 장치로 구현 - 사물의 모델링을 햅틱 장치로의 전달 - 사용자가 펜(Proxy)을 움직여 사물에 접촉 - 햅틱 장치 펜의 위치 감지, 사물의 표면 접촉 판단 - 펜이 사물표면에 접촉했을 경우 햅틱 반응 프로그램화 - 펜이 사물표면에 접촉하고 버튼 클릭 시 사물의 움직임 프로그램화 - 서로 다른 두 물체의 충돌 감지 - 충돌 시 충돌 속도 및 위치에 따른 움직임 프로그램화 - 충돌 시 사운드 프로그램화 	
3. 사물 프로그램의 기본 구조	
<pre> initGL(); // OpenGL 초기화 initHL(); // 햅틱 초기화 createObjects(); // 사물 구현 hlBeginFrame(); ... hlEndFrame(); </pre>	
4. 햅틱 렌더링의 기본 구조	
<pre> 커서 위치 감지 충돌 감지 충돌 시 반응 설정 hlBeginShape(); // 햅틱 표현 초기화 OpenGL 렌더링 hlMaterialf(); // 사물의 질감 표현 햅틱 구현 hlEndShape(); // 햅틱 표현 종료 drawCursor(); // 커서 그리기 </pre>	

<표4> 햅틱 디바이스의 기본 원리

4.5. 햅틱의 정지마찰 계수와 Sand Paper 비교

본 연구에서 사용된 OpenHaptics의 HLAPI (Haptic Library API)는 C언어 기반의 하이레벨의 API로 표면의 탄성(stiffness), 정지마찰력(static friction), 운동마찰력(dynamic friction), 완충력(damper)의 계수를 설정할 수 있으며 이들 값에 따라 물체 표면의 상태가 결정된다. 이 중에서 물체 표면의 거칠기는 정지 마찰 계수(static friction, SF)와 밀접한 관계가 있다. 따라서 정지 마찰 계수를 사포와 비교하는 실험을 하였다. 이 실험을 통해 사물의 정지 마찰 계수 값과 사포의 질감을 비교하여 사물의 표현 성질을 구현하는데 도움이 되었다. 범종의 옆면은 사포의 P800에 해당된다. 햅틱의 정지 마찰 계수는 s=0.16으로 주어진다. 다른 부분에 대하여 표로 그려보면 아래 <표5> 값을 얻을 수 있다.

물체	사포	SF (static friction)
법고(북면)	P2000	0.00
법고(옆면)	P2000	0.09
범종	P800	0.16
범종(당)	P60	0.97
목어(밖)	P1200	0.03
목어(안)	P800	0.16

<표5> 사물의 정지마찰계수와 사포 비교 값

5. 결론

본 연구에서는 전북의 대표적인 문화유산인 금산사를 디지털로 복원하여 촉감 상호작용이 가능한 가상현실 환경을 구축하여 가상공간에서 시각적으로 문화유산을 관람하고 햅틱 디바이스를 통해 사찰 안의 사물(四物)을 직접 만지며 연주하는 행위를 가능하게 하였다. 또한 문화유산의 햅틱 구현을 위해 실제 사물의 촉감데이터와 샌드페이퍼를 비교 분석하여 문화유산 디지털 복원에 적용하였다. 촉감을 느낄 수 있는 문화유산의 디지털 복원 연구는 아직 시작 단계에 있으며, 그동안의 복원 연구는 문화재의 재질을 사용자가 직접 지정하고 느끼는 정도로 연구 개발이 이루어 졌으나, 이번 연구에서는 실제 현존하는 문화유산의 답사를 통해 얻은 통계 자료와 샌드페이퍼의 질감을 비교 분석하여 실제에 가까운 촉감 데이터 값을 추출하여 문화유산 외형은 물론 질감까지 디지털 복원하였다는데 의의를 둘 수 있다.

햅틱 디바이스와 가상현실 기술로 제작된 금산사의 가상현실 콘텐츠는 사찰에서 흔히 볼 수 있지만 일반인의 접근이 불가능하고 직접 연주할 수 없는 사물을 만지고, 재질을 느끼며 연주까지 가능한 체험을 통해 보다 대중적이고 흥미로운 문화원형 콘텐츠 제작을 유도하고 우리 고유 문화유산의 이해에 대한 교육적 효과를 증대시키고자 한다.

촉감데이터 추출을 위해 인간이 직접 감지한 느낌을 토대로 데이터를 분석하여 디지털 복원에 적용하였으며 인간의 손끝에서 감각을 느끼는 신경은 매우 정교하지만, 아주 작은 샌드페이퍼의 그릿의 미묘한 차이를 구분하는 데는 한계가 있었다. 또한 햅틱 디바이스가 펜 형태로 조작을 하기 때문에, 손끝의 감각을 이용하기 보다는 손의 역감을 전달받아 감촉을 재현하는데 있어서 많은 제약이 따랐다. 보다 정확한 손끝 감지 데이터를 가상현실 환경 하에서 구현하기 위해서는 해상도가 높은 햅틱 디바이스, 바로 손끝의

신경을 자극할 수 있는 디바이스와 초보자도 쉽게 사용할 수 있는 디바이스 등의 하드웨어적인 연구가 뒷받침 되어야 할 것이다. 향후에는 본 연구 소재로 사용된 사물의 질감 표현뿐만 아니라 우리 전통 악기의 음향연구를 바탕으로 연주하는 힘에 따른 사운드의 변화와 실제로 녹취를 통해 얻은 사물의 데이터를 체계적으로 분석하여 보다 정확한 음향 전달이 가능한 가상현실 콘텐츠의 개발이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 김수화, 김민영, 곽은주, 박경신, 조용주. (2009). 사용자 맞춤형 가상현실 여행가이드 시스템 디자인에 관한 연구 '한국해양정보통신학회논문지' 12(1), 46-52.
- Kyung, Ki-Uk (2006). Development of Tactile Display and Role of Vibration in the Tactual Perception. *KAIST PhD Thesis*.
- Lee, Y., Oh, S., Woo, W. (2005). A Context-Based Storytelling with a Responsive Multimedia System (RM). *Proc. of Virtual Storytelling(VS2005): LNCS3805*, 12-21.
- Merriam-Webster Online, <http://www.m-w.com>
- SansAble Technologies, <http://www.sensable.com>
- VR Lab at University of Tsukuba, <http://intron.kz.tsukuba.ac.jp>
- Force Dimension, <http://www.forcedimension.com>
- Sandpaper, <http://en.wikipedia.org/wiki/Sandpaper>