

가상현실 기술을 이용한 문화재의  
디지털 복원

Digital Restoration of Cultural Properties Based  
on Virtual Reality

**박소연 (Park So-Yon)**

전주대학교 예체능·영상학부

영상디자인 전공

**양종열 (Yang Jong-Youl)**

전북대학교 산업디자인과

본 논문은 전주대학교 연구비지원으로 수행되었습니다.

## 1. 서론

## 2. 가상현실에 대한 이론적 고찰

- 2-1. 가상현실의 정의
- 2-2. 가상현실의 발전과정
- 2-3. 가상현실 시스템
- 2-4. 가상현실 시스템 분류

## 3. 가상현실 적용을 통한 문화재의 디지털 복원

- 3-1. 문화재 디지털 복원의 유형과 형태
- 3-2. 가상현실 적용을 통한 문화재 디지털 복원의 제작 과정

## 4. 국외 문화재의 디지털 복원 사례

- 4-1. 미켈란젤로 프로젝트
- 4-2. 파르테논 신전의 디지털 복원
- 4-3. 바미안 석굴 디지털 복원

## 5. 국내 문화재의 디지털 복원 사례

- 5-1. 미륵사지 석탑 디지털 복원
- 5-2. 신라 왕경 디지털 복원
- 5-3. 봉정사 극락전 디지털 복원

## 6. 연구의 시사점

## 7. 결론

## 참고문헌

## (要約)

오늘날 현대 사회에서 첨단 과학의 눈부신 발전은 전 세계 인류에게 다양한 정보를 손쉽게 빠르게 획득할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이러한 첨단 과학의 비약적인 발전 중에 디지털 영상매체 분야는 여러 산업 분야와 일상생활에 적용되어 멀티미디어 정보사회를 대체 할 수 있는 수단으로 등장하게 되었다. 특히 최근 문화재의 복원에 대한 관심과 열의가 높아지고 있다. 따라서 문화재의 보존이나 복원 및 이들의 학문적 가치를 판정하고 기록에 남길만한 정보의 수집 등을 위한 효율적인 방법이 필요해졌으며, 이의 한 방안으로써 컴퓨터를 이용한 영상처리 기술이 문화재 복원에 도입되었다.

이러한 기법의 문화재 복원은 원본을 손상시키지 않고 문화재의 파괴된 부분을 복원시킬 수 있다는 장점으로 인해 선진 각국에서 활발한 연구가 진행중이다. 그러나, 유구한 역사 속에 무수한 문화유산을 갖고 있는 우리나라로서는, 이와 관련된 연구가 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 먼저 가상현실에 대하여 고찰하고 이 기술을 문화재 복원에 적용하는 방법에 대하여 살펴 본 후, 실제 디지털 기술을 적용한 사례를 국외 국내로 나눠 소개하고 결론적으로 가상현실 기술을 통한 디지털 문화재 복원에 대한 의의를 제안해 보고자 한다.

## (Abstract)

Nowadays, the progress of high technology in modern society provides humankind with the opportunity to obtain diverse information easily and quickly. Among those rapidly progressing fields of high technology, digital media field has the ability to substitute for the multimedia information society by being applied to many related fields and daily life. Specifically, the concern and enthusiasm for the restoration of cultural property has risen. So, effective methods are required to decide on the preservation, restoration and academic value of cultural property. Among these, image processing technology using computers has been introduced. The restoration of cultural property using this technique has been studied vigorously in many advanced countries because this would allow us to restore damaged parts without destroying the original asset. However, in Korea, though we have numerous examples of cultural property with recorded history, research related to the items has scarcely been conducted. Accordingly, this study focuses on the investigation of virtual reality and the techniques applicable to restoring cultural property in addition to suggesting the significance and possibility of digitally restoring cultural property following the introduction of applicable examples both domestically and abroad.

## (Keyword)

Virtual Reality(VR), Cultural Property, Digital Restoration

## 1. 서론

오늘날 현대 사회에서 첨단 과학의 눈부신 발전은 전 세계 인류에게 다양한 정보를 손쉽게 빠르게 획득할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이러한 첨단 과학의 비약적인 발전 중에 컴퓨터를 이용한 디지털 영상매체분야는 여러 산업 분야와 일상 생활에 적용되어 멀티미디어 정보사회를 대체 할 수 있는 수단으로 등장하게 되었다.

또한 근래에 와서 선진국에서는 산업분야 외에도 영상 구현 매체에서 디지털화의 노력들이 점점 증가하고 있으며, 이와 함께 문화재의 복원에 대한 관심과 열의가 높아지고 있다. 따라서 문화재의 보존이나 복원 및 이들의 학문적 가치를 판정하고 기록에 남길만한 정보의 수집등을 위한 효율적인 방법이 필요해졌으며, 이의 한 방안으로써 컴퓨터를 이용한 영상처리 기술이 문화재 복원에 도입되었다. 이러한 기법의 문화재 복원은 원본을 손상시키지 않고 문화재의 파괴된 부분을 복원시킬 수 있다는 장점으로 인해 선진 각국에서 활발한 연구가 진행중이다. 일본, 그리스, 이탈리아 등과 같은 선진국에서는 컴퓨터를 이용한 영상처리 기술을 이용하여 자국의 문화재를 복원하고 보존하는데 큰 성과를 얻고 있다. 이탈리아와 일본은 9개년 계획으로 서로의 협력을 통하여 바티칸 시내의 시스틴 성당 천장에 그려져 있는 미켈란젤로의 벽화를 복원하기 위하여 추진하고 있으며,<sup>1)</sup> 그리스는 파르테논 신전의 복원작업, 일본은 범룡사 5층탑 복원<sup>2)</sup> 등을 추진하고 있다.

이렇게 컴퓨터를 이용한 문화재의 복원이 더 발전하여, 현실에서 체험하는 환경으로 만들어진 것을 가상현실을 통한 문화재 복원이라고 할 수 있다. 따라서 국내외적으로 문화재의 디지털화를 통한 3차원 디지털 문화재 데이터베이스 구축, 문화재 복원 및 재생, 교육 분야에의 활용 및 사이버 공간에서의 문화재 전시 기술, 지금까지 보지 못한 새로운 뷰에서의 문화재 렌더링 등에 대한 연구가 이루어지고 있다.<sup>3)</sup> 국내에서는 한국과학기술원(KIST) 영상미디어 연구센터에서 1300년전의 신라 왕경을 복원하여 '경주세계문화엑스포 2000' 주제영상관<sup>4)</sup>에서 이를 상영하며, 최근 들어 점차 그 대상범위를 확대하고 있는 추세이기는 하나 그것만으로는 유구한 역사 속에 찬란한 문화를 꽃피워 무수한 문화유산을 갖고 있는 우리나라로서는, 이와 관련된 연구가 부족한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 문화재 디지털 복원의 여러 방식 중 컴퓨터를 이용한 3차원의 공간속에 상호작용 구현이 가능한 가상현실 환경에서의 문화재 디지털 복원에 대하여 다루고자 한다.

이를 위해 먼저 가상현실에 대하여 고찰하고, 아직 구체화되지 않은 문화재의 디지털 복원에 대한 유형과 형태를 본 연구에서 이에 대한 개념을 체계화하였다. 그 중에서 본 연구에서 다루고자 하는 가상현실 기술을 적용한 문화재 복원 방법을 제안하고, 실제 디지털 기술을 적용한 사례를 국외 국내로 나눠 조사한 후 가상현실 기술을 통한 디지털 문화재 복원

에 대한 의의를 시사하고자 한다.

또한 이 연구를 바탕으로 우리나라 문화재, 불국사와 석굴암 디지털 복원의 실증 연구<sup>5)</sup>를 진행하는데 가상현실기술을 이용한 문화재의 디지털 복원에 기여하고자 한다.

## 2. 가상현실에 대한 이론적 고찰

노동력, 자본, 천연자원 등 종래의 전략 자원과는 달리, 지식 기반사회의 자원은 지식, 정보, 커뮤니케이션 인프라이다. 지식기반 사회의 지식과 정보는 인간과 컴퓨터로 이루어지는 거대한 네트워크, 즉 가상공간(cyberspace)에 존재하게 된다. 가상현실(Virtual Reality)은 이러한 가상공간을 3차원적으로 재현하고 인간을 이 가상공간에 몰입시킴으로써 정보의 활용을 극대화하는 것을 궁극적 목표로 하고 있다.<sup>6)</sup>

### 2-1. 가상현실의 정의

가상현실(virtual reality)의 사전적 의미를 살펴보면, virtual이란 영어로 'being in essence or effect, but not in fact'로 명시되어 있다. 번역하자면 '논리적 또는 결과적으로는 존재하지만 실제로는 존재하지 않는 것'으로 설명될 수 있으며, reality란 'a real event, entity, or state of affairs'로 표현된다. 이것은 '실제적인 사건, 실재, 또는 어떤 사태'로 번역할 수 있다. 가상 현실 시스템은 사용자 측은 이용자에게 충분한 감각적 단서를 발생시키기 위해 인공적으로 생성된 환경과 기술이며 이것은 컴퓨터를 이용하여 생성된 무한한 인공의 세계에서 인간이 현실을 체험할 수 있는 환경을 만들어 주는 것을 말한다.<sup>7)</sup> 이러한 환경을 우리는 사이버 스페이스(Cyberspace)라 부르며, 사이버 스페이스는 가상현실에서 제공되는 가상의 공간으로서 인간의 치밀한 시나리오를 바탕으로 디자인된 환경을 3차원의 기하학적인 프로그램으로 입력한 다음 컴퓨터에서 처리되어 나온 디지털화된 영상신호를 화면에 옮겨주는 것을 말한다.<sup>8)</sup>

### 2-2. 가상현실의 발전과정

1970년대 인간과 컴퓨터가 좀 더 쉽게 상호작용을 하기 위해 GUI(Graphic User Interface)가 나왔으며, 이는 가상현실이라는 컴퓨터 인터페이스로 발전된 것이다.

가상현실은 1950년대 후반에 M. Minsky에 의해 HMD(Head-Mounted Display)가 개발되었고, 1960년대에 I. Sutherland에 의해 가상현실의 실질적 개념이 정립되었다. 그 후 각각의 분야에서 독립적으로 발전되어 오다가 1988년 최초의 가상현실시스템(VPL Research사의 RB2 시스템)이 선보인 후, 현재까지 고품질의 3D Object를 만들기 위한 소프트웨어 인터페이스(OpenGL), 인터넷의 Web을 기반으로 한 가상현실 구현언어(VRML)와 같은 기술과 기타 주변장비가 개발되고

5) 박소연, 이유리 "가상현실 기술을 이용한 불국사와 석굴암의 디지털 복원"-가상현실 시스템 CAVE를 중심으로- 전주대학교, Working Paper.

6) <http://www.vrrc.org>

7) 니콜리스 레이브로프, 이상현 옮김, '가상현실', 1995, p18.

8) 샌드라 헬셀, 패리스 로스, 노영덕 역, '가상현실과 사이버스페이스', 세종대학교 출판부, 1994, p.26.

1) Davis Jaffery, "A renaissance for Michelangelo", National Geographic, Vol. 176(Dec), 1989, pp688-712.

2) T.Sakata, High tech 考古學, 丸善 library, 1991.

3) Virtual Heritage, IEEE Multimedia Vol. 7(Apr.-June), 2000.

4) [www.cultureexpo.or.kr](http://www.cultureexpo.or.kr)

있다.

### 2-3. 가상현실 시스템

일반적으로 가상현실 시스템은 각종 입출력 장비와 응용 프로그램 등으로 구성된다. Wilson 등은 다음의 (그림1)에서 보는 바와 같이 가상현실에 필요한 구성 요소를 사용자의 감각에 가상환경을 만들고 실행하며 기기간의 인터페이스가 되는 구조와 소프트웨어로 보았다. 이때 감각을 제공하고 움직임을 추적하는 각종 입출력 장비는 하드웨어 플랫폼(Platform)이라고 볼 수 있으며 응용 프로그램에 의해서 생성된 가상의 세계는 소프트웨어 플랫폼이라고 볼 수 있다. 즉 하드웨어 인터페이스는 사용자로부터의 정보를 얻어내는 장치를 센서(Sensor)와 사용자에게 정보를 제공하는 효과 발생기(Effector)로 구성되며 소프트웨어 인터페이스는 응용프로그램에 의해서 제공되는 가상세계의 개체, 그래픽 엔진, OS들을 포함한다. 또한 가상 환경은 가상현실 플랫폼과의 사이에서 물리적, 인지적인 상호작용을 가지고 있다고 할 수 있다.

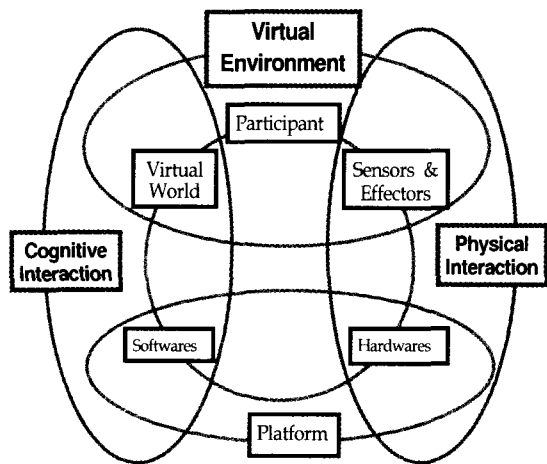


그림 1. 가상현실 시스템의 인터페이스의 구조<sup>9)</sup>

### 2-4. 가상현실 시스템 분류

가상현실 시스템은 크게 몰입형과 비몰입형으로 나눌 수 있다.

분류	종류	특징
몰입형 가상 시스템	HMD	영상을 입체적으로 보기 위해서 각 눈앞에 작은 비디오 모니터를 포함하고 있는 헬멧 형태이며, RGB신호를 입력데이터로 받아서 디스플레이하는 장치이다.
	Data Glove	표준 장갑형태의 옷감에 손을 집어 넣은 형태로 시연자의 손가락 움직임을 통해 데이터를 컴퓨터에 입력시키는 촉각장치이다.
	BOOM	기존의 다른 HMD와 달리 Stand에 매달려 있는 Display장치를 손이나 머리에 매어있는 고정대를 사용하여 이동하면서 볼 수 있는 장치이다.
	CAVE	사방을 에워싼 4개의 스크린과 머리위의 스크린에서 3D 이미지를 프로젝터가 비추어서 CAVE 시스템 내부의 사람들이 가상환경을 경험하게 된다.
	가상현실 극장 (Virtual Reality Center)	고해상도 프로젝터를 이용 입체 영상을 대형스크린에 쏘아 한쪽 눈에는 가로선을 한쪽 눈에는 세로선 만을 보여줘 입체 안경을 사용 평면 영상을 입체로 보이도록 착시를 일으킬 수 있다.
비 몰입형 가상 시스템	Web 3D	3D 폴리곤을 기반으로 하며 VRML, Java 3D 등 3차원 기술로서 인터넷에서 가상현실을 경험하는 것이다.
	파노라마VR	실제의 일정한 장소의 360°회전 사진을 찍어 이를 합성하여 가상공간으로 구성하거나 이미지화된 공간의 Rendering 장면을 합성하여 가상공간으로 상호작용하는 기술이다.

표 1. 가상현실 시스템 분류

#### 2-4-1. 몰입형 가상현실 시스템

몰입형은 가상공간의 3차원 환경을 사용자가 HMD(Head Mounted Display), Data Glove, CAVE, 가상현실 극장(Virtual Reality Center) 등의 장비를 이용하여 완전히 몰입되어 상호 대화식으로 경험하고 정보를 주고받는 시스템이다. 즉, 컴퓨터가 만들어내는 3차원 공간에서 사용자가 기본적인 장비를 장착한 후에 직접 몰입되어 들어가는 것이다. 이 시스템은 가상현실에서 가장 이상적인 형태라고 할 수 있다.

##### (1) HMD

영상을 입체적으로 보기 위해서 각 눈앞에 작은 비디오 모니터를 포함하고 있는 헬멧 형태이며, RGB신호를 입력데이터로 받아서 디스플레이하는 장치이다. 그러나 HMD는 한사람의 사용자만이 가상현실을 경험할 수 있다는 단점을 가지고 있다.



그림 2. HMD

##### (2) Data Glove

표준 장갑형태의 옷감에 손을 집어 넣은 형태로 시연자의 손

9) Wilson, J. R., D'Cruz, M., Cobb, S., Eastgate, R., Virtual Reality. for Industrial Applications, Nottingham University Press, 1996.

가락 움직임 형태에 대해 데이터를 컴퓨터에 입력시키는 촉각 장치이다. 이것은 HMD를 착용한 시연자가 키보드나 마우스 등의 도구를 사용하기 곤란한 상황에서 주로 사용되며 3D 공간상에 이 장갑을 표현해 준다.



그림 3. Data Glove

### (3) BOOM(Binocular Omni-Orientation Monitor)

BOOM은 몰입형 영상장치로서 기존의 다른 HMD와 달리 Stand에 매달려 있는 Display장치를 손이나 머리에 매어있는 고정대를 사용하여 이동하면서 볼 수 있는 장치이다. 머리에 하중의 부담을 주지 않는다는 잇점 때문에 CRT를 소재로 함으로써 기존의 다른 HMD와 비교해서 월등히 높은 해상도를 유지할 수 있는 이 BOOM은 말 그대로 고해상도의 몰입형 입체영상이 필요한 그 어떤 곳에서도 활용할 수 있는 장비이다.<sup>10)</sup>

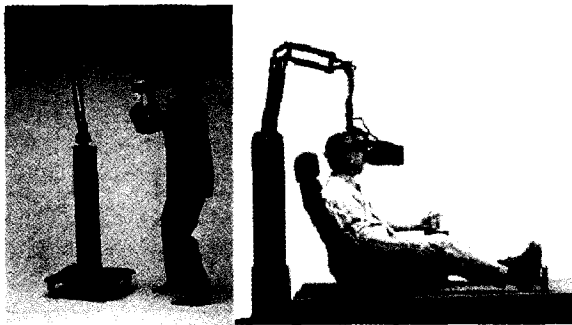


그림 4. BOOM

### (4) CAVE(Cave Automatic Virtual Environment)

서라운드 스크린, 서라운드 사운드, 프로젝션 기반의 가상환경 시스템이다. 사방을 에워싼 4개의 스크린과 머리위의 스크린에서 3D 이미지를 프로젝터가 비춤으로써 CAVE 시스템 내부의 사람들이 가상환경을 경험하게 된다. CAVE는 고가인 만큼 고도의 가상현실 능력을 요구하는 프로젝트를 지원하며, 전문가들은 완벽에 가까운 진정한 가상현실 기술이라고 말한다.

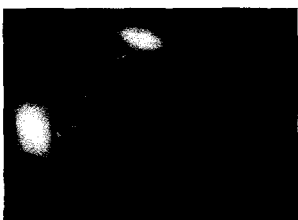


그림 5. CAVE

10) <http://www.jek.net>

### (5) 가상현실극장

고해상도 프로젝터를 이용 입체 영상을 대형스크린(은빛으로 고르게 코팅돼 편광으로 쏘아지는 빛의 반사 기능)에 쏘아 한쪽 눈에는 가로선을 한쪽 눈에는 세로선 만을 보여줘 입체 안경을 사용 평면 영상을 입체로 보이도록 착시를 일으킬 수 있다. 즉각적인 상호작용(Real Time Navigation)은 가장 많은 관객이 지시하는 방향으로 일어나게 된다.

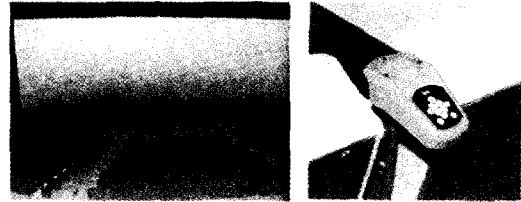


그림 6. 시계방향으로 가상현실 극장 전경, 상호작용 키패드, 관객석

### 2-4-2. 비몰입형 가상현실 시스템

비몰입형은 PC상에서 인터넷을 기반의 가상현실 기술로 구현하는 것을 의미한다. 이는 컴퓨터그래픽 화면이나 Stereo Projector로 투사된 Screen 위의 영상을 사용자가 보면서 상호작용하는 시스템으로 이때 전자액정안경(Liquid Crystal Eyes Eyewear)을 시각장치로 사용하거나 3차원 그래픽 영상이지만 2차원 평면에 표현되기도 한다. 이는 이미지와 사운드 등의 요소를 강조한 가상현실의 초보적인 형태라 할 수 있고 가격이 저렴하다는 장점이 있어 몰입감이 특별히 요구되지 않는 분야에 활용되고 있다. 비 몰입형인 인터넷 기반의 가상현실 기술은 크게 두 가지 범주로 나눌 수 있는데 3D 폴리곤을 기반으로 하는 Web 3D와 이미지를 기반으로 하는 "파노라마"가 대표적이다.

#### (1) Web 3D

Web 3D는 3D 폴리곤을 기반으로 하며 VRML, Java 3D 등 3차원 기술로서 인터넷에서 가상현실을 경험하는 것이다. 즉, 문자, 이미지, 영상의 정보전달 한계를 극복하기 위한 차세대 의 복합 멀티미디어 기술이라고 할 수 있다. Web 3D 기술은 VRML이라는 인터넷 환경에서의 별도의 하드웨어적인 시스템 확장이 없이도 3차원 가상공간 체험을 가능하게 한다. 이러한 VRML은 인터넷상에서 가상현실이나 작품 등과 같은 복잡한 장면(scene)들을 3차원으로 생성하기 위해 사용된다. 초기의 VRML 1.0이 비교적 단순한 애니메이션만 지원하는 반면, 현재 공개된 VRML 2.0은 복잡한 3차원 애니메이션, 시뮬레이션, Java와 JavaScript 등을 지원한다. 이를 기반으로 한 기술들은 ISB, ISA, IMO, Cult3D, VET, 3DAnywhere, Pulse3D, AXEL, Shout3D, 3DML 등 무려 30여 종에 이르고 있다. 인터넷에서 구현되는 가상현실(VRML)은 즉각적인 상호작용은 가능하나 입체 영상으로서의 표현은 이루어지지 않는다.

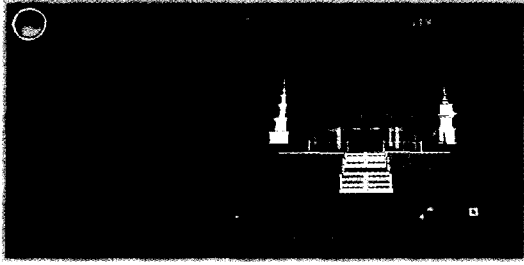


그림 7. Web 3D 가상현실 시현환경(CosmoPlayer)

(2) 파노라마 VR

실제의 일정한 장소의 360°회전 사진을 찍어 이를 합성하여 가상공간으로 구성하거나 이미지화된 공간의 Rendering 장면을 합성하여 가상공간으로 상호작용하는 기술이다. 고도의 그래픽 장비나 보조장비를 필요로 하지 않으면서 가상현실을 구현할 수 있으나 실시간 대화성을 이룰 수 없으며 입체 영상의 표현도 불가능하다.

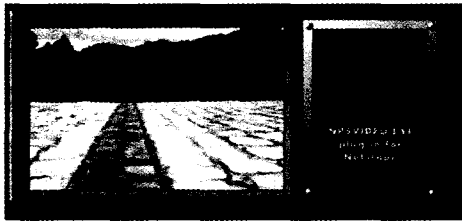


그림 8. 파노라마 VR

3. 가상현실 적용을 통한 문화재의 디지털 복원

문화재의 디지털 복원은 컴퓨터 그래픽, 3차원적의 공간성에 상호작용 구현이 가능한 가상현실, 빛이 투사되는 홀로그램(Hologram)등 다양한 미디어를 적용하여 문화재를 본래 모습대로 복원해낼 수 있다.

본 연구에서는, 아직 구체화되어지지 않은 문화재의 디지털 복원의 유형과 형태에 대한 개념을 다음과 같이 체계화하였다. 먼저 본 연구에서 체계화한 문화재의 디지털 복원의 유형과 형태를 제시하고, 그 중에서 본 연구에서 다루고자 하는 가상현실 적용을 통한 문화재 디지털 복원의 제작과정을 제안하고자 한다.

3-1. 문화재 디지털 복원의 유형과 형태

문화재에 대한 디지털 복원은 총 5가지 유형이다. 첫째 현재 남아있는 유적이거나 본래 형태를 찾는 회귀복원, 둘째 지금은 존재하지 않는 과거 유적에 대한 원형복원, 셋째 새로운 유적을 발굴하기 전 미리 영상으로 재현하는 사전복원, 넷째, 처음 발굴했던 상태의 원형을 재현해 보는 유지복원, 다섯째 앞으로 복원되어질 문화재의 가상적인 예상 복원이 그것이다. 예를 들면, 불국사는 회귀복원에 속하고, 신라의 황룡사는 원형복원에 속하며, 진시황릉은 사전복원에 속하고, 무령왕릉은 유지복원, 그리고 미륵사지 석탑은 예상복원에 속한다.

유형	예
① 현재 남아있는 유적이거나 본래 형태를 찾는 회귀복원	(예) 불국사
② 지금은 존재하지 않는 과거 유적에 대한 원형복원	(예) 황룡사
③ 새로운 유적을 발굴하기 전 미리 영상으로 재현하는 사전복원	(예) 진시황릉
④ 처음 발굴했던 상태의 원형을 재현해 보는 유지복원	(예) 무령왕릉
⑤ 앞으로 복원되어질 문화재의 가상적인 예상복원	(예) 미륵사지 석탑

표 2. 문화재 복원의 3가지 유형

또한 문화재 디지털 복원에는 2가지 형태가 있다. 첫째, 2차원 복원이 있는데 2차원 복원이란 말 그대로 2D 그래픽을 지칭하는 말로 주로 영상보정이나 영상합성을 의미한다. 예를 들어 일본의 국보 1호인 금당벽화가 불타는데 이를 화재를 당하기 이전 원형에 가까운 모습을 복원하는 것이다. 벽화는 3차원이 아닌 2차원이기 때문에 2차원 복원이 적용된다. 둘째, 3차원 복원이다. 3차원은 그야말로 삼차원(三次元)인데, 즉 가로, 세로, 높이의 3차원으로서 우리가 살고 있는 이 지구가 삼차원이다. 그만큼 우리에게 익숙한 세계이다. 전문용어로 말하면 3D 모델링으로 컴퓨터 상에서 입체 모형을 제작하는 작업이다. 이 과정에서 특히 중요한 것은 매핑으로 촬영 및 스캐닝을 통해 얻은 이미지를 조각하여 만든 이미지(매핑 소스)를 3차원 모델 데이터에 입히는 작업이다. 따라서 3차원은 종이나 벽화 혹은 비석(碑石)같은 평면적 2차원이 아닌, 건축물, 조각, 유물 등을 포함하는 2차원보다 더 광범위한 개념이라 할 수 있다. 본 연구에서 제안하고자 하는 문화재 디지털 복원의 경우는 3차원이다.

형태	적용	예
2차원 복원	벽화	
3차원 복원	건축물, 조각, 유물	

표 3. 문화재 디지털 복원의 2가지 형태

3-2. 가상현실적용을 통한 문화재 디지털복원의 제작 과정

문화재의 디지털 복원은 반드시 학계에 통용되는 정설(定說)의 기반하에서 이루어져야 한다. 철저한 고증과 검증 받은 이론 등의 자료를 바탕으로 현장답사 및 실측을 통해 복원되어 영상적으로 재해석하여야 제대로 된 디지털 복원이 가능하다.

다음은 본 연구에서 제시하는 가상현실기술을 적용한 문화재 디지털 복원의 제작과정이다.

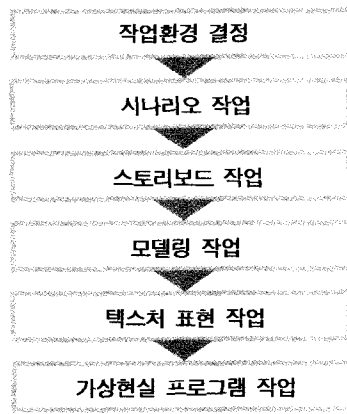


표 4. 문화재 디지털 복원 과정

### 3-2-1. 작업환경 결정

모델링(Modeling), 질감(Texture), 프로그램을 위한 작업환경을 결정한다.

자신이 가지고 있는 시스템의 사양을 고려하여 기존에 사용해 왔던 프로그램이나 사용경험이 있는 프로그램의 상호 호환성을 검토한다. 가상현실 프로그램에 올려 작업하기 용이한 제작도구를 사용할 경우 각각의 파일 포맷은 별도의 수정 없이 바로 사용이 가능하여 시간을 절감할 수 있으며 파일 포맷의 변환(convert)으로 생길 수 있는 모델의 변형을 최소화 할 수 있다.

### 3-2-2. 시나리오 작업

컴퓨터 화면에서 물체들이 어떻게 비추어 질 것인가를 분석하고 카메라의 앵글과 물체의 배치, 상호작용(Interaction), 탐색 운동(Navigation)등을 고려하여 전반적인 스토리 라인을 구성한다.

시나리오 작업은 프리젠테이션 도구로서의 가상현실 제작 과정에서 가장 중요한 작업이라고 할 수 있는데, 시나리오의 내용에 따라 모델링, Realtime 렌더링 등 일련의 작업내용이 결정될 수 있기 때문이다.

가상현실 세계에서는 사용자에 의해 모든 것이 통제되고 움직여지지만, 제작자가 시나리오에 의해 의도된 탐색 운동 방향을 제시함으로써 가상현실 세계를 여행하는데 도움을 준다.

### 3-2-3. 스토리보드 작업

스토리 보드란 화면을 목표로 장소, 상황, 동작, 타이밍, 효과음을 함께 기록한 일종의 장면 스케치로서, 영화의 경우 촬영대본과 같은 것이라고 할 수 있다. 이후의 모든 작업은 스토리보드를 기준으로 이루어지므로 작품 제작의 설계도라고도 할 수 있다.

### 3-2-4. 모델링(Modeling) 작업

문헌기록 및 고증을 통해 제작된 문화재 복원 도면을 바탕으로 삼차원 모델 작업을 하게 되는데, 이를 3D 모델링이라고 부른다. 모델링을 구현하는 방법은 크게 세 가지 방식으로 나

눌 수 있다.

#### (1) 스플라인(Spline)방식

스플라인은 부드러운 곡선의 형태를 띠게 되는데 보통 NURBS(Non-Uniformed Relational Based Spline)방식을 대표적으로 사용하고 있다.(어떤 하드웨어에서 어떤 컴퓨터 시스템 언어(operating system)를 사용하느냐에 따라 달라지지만 최근에는 오픈 지엘(Open GL ; graphic library)의 광범위한 지원으로 NURB 방식이 주로 사용되고 있다.

#### (2) 폴리곤(Polygon) 방식

많은 소프트웨어에서 이 방식을 상용화하고 있으며, 폴리곤 방식은 점과 점 사이를 직선으로 이어주기 때문에 딱딱하거나 표면이 거칠지만, 스플라인 방식보다 데이터의 양이 효율적이므로 처리속도가 빠르다. 이는 가상현실을 구현하는데 가장 적합한 구현방식으로 볼 수 있다.

무작정 전체 도면을 바탕으로 모델링을 하다보면 자료의 양뿐만 아니라 쓸데없는 부분의 복잡한 모델링 때문에 많은 시간을 낭비할 수 있기 때문에 부분별 중요도를 점검하고 구분하는 것이 좋다. 가상현실을 위한 폴리곤 방식의 3D 모델링 작업을 할 때 염두에 두어야 할 문제는 모델의 총 다각형(Polygon) 개수이다. 다각형 대신 이미지(Texture) 데이터로 시각적 효과를 최대한 살리면서 모델 안에서의 다각형의 숫자를 최소화하는 모델링 작업이 이루어져야 한다. 이는 최종적으로 가상현실 프로그램에서 사용자가 탐색운행을 할 때 시스템의 실행속도에 영향을 미치므로 너무 자세한 모델링 작업을 삼가야 한다.

#### (3) 솔리드(Solid)방식

솔리드 방식은 일본에서 개발된 메타볼(Metaball) 방식이 가장 많이 사용되고 있다. 특히 세심한 표면의 질감표현이 필요할 때 주로 사용된다. 스플라인 방식이나 폴리곤 방식은 관절의 부위가 움직이거나 팔과 어깨 부위, 다리와 골반 부위, 얼굴과 목 부위 등 면과 면 사이의 표면처리를 대비해 솔리드 방식을 사용하게 된다. 메타볼이란 구(球)의 형상이 모이면서 어떠한 형상을 만드는 것으로서 사용하기가 상당히 어렵고 메타볼 자체에 표면처리를 할 수 없기 때문에 폴리곤이나 스플라인 데이터로 변환하여야 하는 단점을 가지고 있다.

### 3-2-5. 질감(Texture) 표현 작업

모델링 질감자료(Textures) 또한 문화재 디지털복원작업의 중요한 작업 중의 하나다. 앞에서 말한 바와 같이 모델의 다각형의 수를 최소화함에 따라 물체의 형태를 자세히 표현하기 힘든 경우가 있다. 이러한 경우, 이미지를 정교하게 만들어서 물체를 mapping 하게 되면, 사실적인 문화재의 질감 및 형태를 표현할 수 있다. 다양한 정보수집을 통해 얻은 사진의 포토샵 등의 2D 제작도구를 사용, 사진의 선명도 및 그림자 등을 수정·보완하여 이미지로 mapping을 하게 되면 모델링 작업에서 필요로 하는 형태까지도 표현할 수 있다.

### 3-2-6. 가상현실 프로그램 작업

디지털로 복원된 문화재를 가상현실 세계에서 쉽게 다가갈 수

있도록 탐색은행 경로, 사운드, 상호작용 등을 부과하는 과정으로 현재 인터넷상에서는 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 사용하고 있으며, 3차원 모델링 제작도구(Softimage, Maya, 3D StudioMax)등에서도 가상현실을 구현할 수 있는 파일포맷으로 바로 저장 가능하며, SGI사의 CosmoWorld 2.0등을 사용하여 프로그램 작업을 보다 용이하게 할 수 있다.

#### 4. 국외 문화재의 디지털 복원 사례

##### 4-1. 미켈란젤로 프로젝트

문화재 디지털복원 사례 중 3차원 정밀 계측 및 모델링 기술을 바탕으로 수행된 미켈란젤로 프로젝트<sup>11)</sup>는 대형 구조물을 실험실 밖의 환경에서 3차원으로 복원하였다는데 의의를 둔다. 스탠포드 대학과 워싱턴 대학에서 공동으로 개발한 3D 스캐닝 하드웨어와 소프트웨어를 이용하여 미켈란젤로의 10개 조각상과 다비드상을 복원하였다. 이 프로젝트에서는 5m 높이고 거대한 미켈란젤로 조각상들을 정교한 조각자국뿐만 아니라 대리석의 색감까지도 스캐닝 받아 디지털로 복원하였으며, 이 새로운 기술을 통해 세계에서 최초로 5m 이상의 거대한 조각품이 20억 개의 폴리곤과 7000개의 컬러 이미지를 통해 디지털로 복원되었다.



그림 9. 미켈란젤로 디지털 복원 작업모습

##### 4-2. 파르테논 신전의 디지털 복원

그리스 아테네의 아크로폴리스에 있는 파르테논 신전은 도리아식 신전의 극치를 나타내는 걸작으로 유럽 건축 역사의 모델이 돼 왔다. 대영박물관을 찾은 관람객들은 박물관의 그리스실에 들어와 조각의 원본을 감상 한 후 바로 옆방에 있는 영상실에서 디지털로 복원한 파르테논 신전과 조각을 가상으로 체험 할 수 있다.

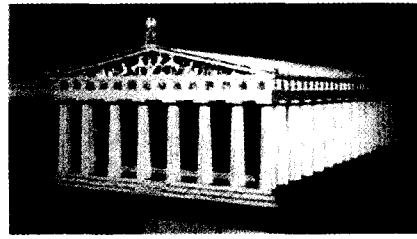


그림 10. 파르테논 신전의 디지털 복원

##### 4-3. 바미안 석불 디지털 복원

세계최대 규모의 입불상인 바미안 석불은 웅장한 간다라 불교 미술의 절정기에 만들어져 헬레니즘 양식의 영향을 받은 수작이다. 그러나 8세기경부터 이슬람의 지배하에 들어간 바미안 석불은 그 당시 이미 얼굴이 훼손되고, 다시 13세기에 이곳을 침략한 몽고의 칭기즈칸 군대에 의해 팔·다리까지 잘려나갔다. 그때부터 다시 800년이 지난 지금 그나마 온전한 모습을 지켜온 바미안 석불이 형체도 없이 파괴돼버렸다. 따라서 이 파괴된 바미안 석불을 3차원 입체영상으로 복원하는 작업은 지난해 바미안 석불이 파괴된 직후부터 시작됐다. 1년 가량 자료를 수집한 후, 올해 봄부터 본격적인 복원에 들어가 9월에 디지털 복원작업을 마쳤다. 현재 실측자료와 최신 도판을 바탕으로 한 3차원 디지털 데이터는 완성된 상태이니 만큼, 이를 바탕으로 해서 바미안 대불의 축소모형을 만들 수 있다. 3차원 데이터와 바미안 축소모형을 바탕으로 정교하게 복원된 바미안 석불을 상설 영상관에서 가상현실 기법을 이용해 관람할 수 있다. 이 가상현실 기법은 세계 어느 곳에서도 바미안 석불의 구석구석을 마치 아프간 현지에서 보는 것과 똑같이 감상할 수 있다는 장점이 있다.<sup>12)</sup>

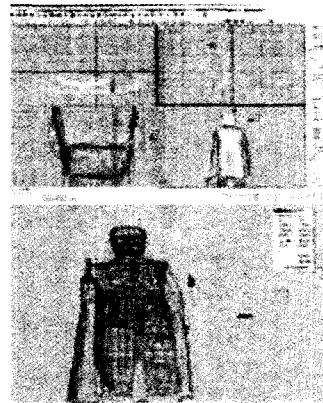


그림 11. 컴퓨터에서 디지털복원 작업 중인 다미안 석불

#### 5. 국내 문화재의 디지털 복원 사례

##### 5-1. 미륵사지 서탑 디지털 복원

미륵사지 서탑 복원은 문화재 연구소의 의뢰에 의해 1992년에

11) 미켈란젤로프로젝트, <http://graphics.stanford.edu/projects/mich>.

12) [http://www.donga.com/docs/magazine/weekly/2002/10/04/20021004050057/200210040500057\\_1.html](http://www.donga.com/docs/magazine/weekly/2002/10/04/20021004050057/200210040500057_1.html)



이루어진 한국 문화재의 디지털 복원의 시초이었다.<sup>13)</sup> 미륵사지 서탑 복원의 모델링은 IBM-PC/486 4대에서 "AutoCAD r11."을 이용하였으며, 질감자료는 비디오 카메라로 채취한 하늘과 석탑의 재질을 IBM-PC에서 "TIPS"를 이용하여 TGA파일을 만들고 TGA 파일은 "Wavefront"의 실행파일 Tex\_BLD\_2D를 실행시켜서 TEX파일을 만들어 형상자료의 질감을 내고 주변 지형자료 배경인 하늘 형상을 제작하였고, 렌더링과 레코딩 작업에 의해 3차원 컴퓨터 그래픽스 애니메이션으로 제작되었다.

이 프로젝트는 한국과학기술연구원 부설 시스템 공학 연구소에 의해 수행되었는데 이것은 컴퓨터그래픽을 이용해 미륵사 석탑 본래 원형에 대한 고증 작업을 통해 문화재 보존을 형상시키기 위해 행한 작업이었다. 또한 미륵사 석탑을 복원하기에 앞서 복원설계가 제대로 이루어질 수 있는지를 가상 시뮬레이션하여 실제로 미륵사 석탑 복원시에 부딪치는 문제나 예기치 않은 상황을 미리 감지하여 공사의 들어가는 시행착오를 영상으로 미리 파악하는 것이다. 미륵사지 서탑 복원은 디지털 문화재 복원의 시초이기는 하나 리얼타임 렌더링에 의해 상호작용이 부가된 가상현실은 아니었다.

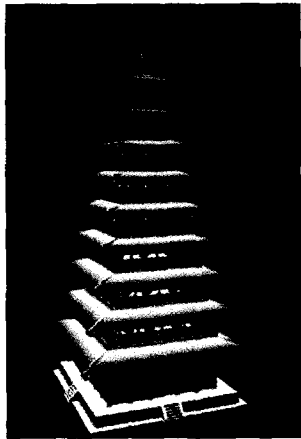


그림 12. 복원된 디지털 미륵사지 석탑

### 5-2. 신라 왕경 디지털 복원

한국과학기술원(KIST) 영상미디어 연구센터에서 "서라벌의 숨결"이라는 주제로 1300년전의 신라 왕경을 디지털복원하였다. 이를 위해 40km × 52.8km의 서라벌 평야의 실제 지형을 위성 촬영 제작하였고, 지형 내 신라 도성(都城)은 지금까지 신라 왕경 복원도를 제시했던 국내외 학자들의 신라 왕경에 대한 연구성과를 종합, 검토한 후 최근 고고학적 발굴 결과를 적극 반영하여 이미 사라졌거나 훼손된 문화재들과 옛 신라인들의 생활을 재현하였다.

이 프로젝트는 국내 최초로 Networking 시스템 좌석이 설치된 가상현실 전용관인 '경주세계문화엑스포 2000' 주제 영상관에서 상영되었다. SoftImage와 포토샵에 의해 만들어진 디지털 문화재들은 한국 과학 기술 연구원에서 개발한 소프트웨어

'vis(visualization의 약자)'에 의해 구현됐으며, 입체영상을 더욱 선명하게 보여주기 위하여 고해상도 프로젝트 3대가 사용됐다. 또 가로 27m, 세로 8m의 반원형 대형스크린에 비춘 영상을 관객들이 편광안경을 착용하여 입체적으로 느낄 수 있게 하였다.

여기에는 국내 처음으로 몬스터 모드 컴퓨터(SGI사의 ONYX 2-R)가 도입되었다. 케이블로 연결된 중앙처리장치(CPU)가 14개로 국내에서 최대 용량의 데이터를 처리할 수 있다. 장착된 그래픽 파이프는 6개로, 입체영상을 1초에 30장까지 그려낼 수 있었다.

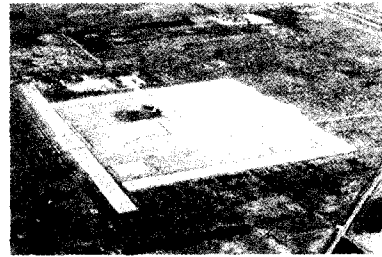


그림 13. 경주 황룡사지 전경

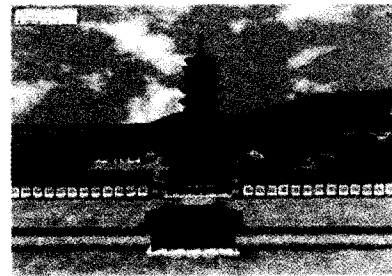


그림 14. 가상현실로 복원한 황룡사지 전경

### 5-3. 봉정사 극락전 디지털 복원

봉정사 극락전은 1972년에 실시된 완전 해체 조사에서 우리나라에서 가장 오래된 건물로 밝혀졌다. 건립 연대는 고려말기로 알려져 있다. 하지만 지붕을 보수한 흔적이 남아있는 것으로 미뤄 1백년-1백50년 앞선 것으로 추정된다. 봉정사 극락전에 대한 컴퓨터 시뮬레이션은 1992년 당시 컴퓨터 그래픽스를 이용, 실측 치수에 따라 형상을 조립해 그 과정을 볼 수 있게 한 것이다.

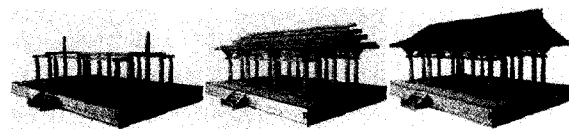


그림 15. 봉정사 극락전 디지털 복원 과정

## 6. 연구의 시사점

결론적으로 본 연구에서 제안한 가상현실 기술을 이용한 문화재의 디지털 복원은 다음과 같은 의미를 가진다고 볼 수 있다.

13) 김동현, 컴퓨터그래픽 기술을 이용한 미륵사지 서탑복원. 한국과학기술연구원 시스템공학연구소, 1992.

첫째, 문화재는 인류가 보존해야 할 귀중한 문화유산으로 훼손되기 전에 보호되어야 하고 훼손된 문화재는 빠른 시간안에 복원이 이루어져야 한다. 따라서 훼손된 문화재를 복원하는데 있어서 원본을 손상시키지 않고 문화재의 파괴된 부분을 복원시킬 수 있다는 디지털 기술을 이용하여 후손에게 물려줄 문화재의 디지털화를 통한 우리 문화재의 영구 보존이 가능하다는 의의를 가진다.

둘째, 현재 보존되어 있는 문화재뿐만 아니라, 현재 우리 곁에서 사라져버리는 문화재까지도 일반 대중들이 쉽게 접근하게 할 수 있다.

셋째, 기술발전에 의해 나라간의 문화격차가 적어지면서 지구촌화되어 가고 있는 오늘날 이와 같은 첨단 디지털 기술을 이용하여 한국 문화재의 우수성을 보다 널리 세계에 알릴 수 있다.

넷째, 점점 더 정체성이 사라지는 현대사회, 디지털 문화재 복원을 통하여 오늘의 삶을 사는 현대인들에게 자신이 과거로부터 어떻게 이어져 왔는가를 보여 주고 다시 현재를 바탕으로 미래를 살아 갈 수 있는 해답을 제시하여 사라져가는 정체성을 찾는 해답을 제시할 수 있다.

다섯째, 첨단 영상 기술 확보를 통한 예술, 문화, 관광, 영화, 영상 산업, 방송 분야의 기반 기술로 활용 및 새로운 시장 개척이 가능할 것이다.

## 7. 결론

본 연구에서는 가상현실을 통한 문화재의 디지털 복원을 위해 전반적인 가상현실에 대한 이론적 고찰을 하였고, 문화재의 디지털복원의 유형과 형태에 대한 개념을 체계화하여 제시하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서 제안한 가상현실 기술을 적용한 문화재 복원 방법과, 국내외의 문화재 디지털 복원 현황에 대한 사례를 소개하여, 본 연구에서 제안하고자 했던 가상현실을 통한 문화재 복원의 시사점을 제시하였다.

가상현실이란 컴퓨터로 창조된 가상의 공간에서 인간이 현실 세계에 있는 듯한 착각을 주는, 더 나아가 현실과 가상을 구별하지 못할 정도로 현실보다 더 리얼한 가상을 뜻한다. 이러한 가상현실 기술을 이용한 문화재 복원은 현재 우리 곁에서 사라져버린 문화재까지도 일반대중들이 쉽게 접근하게 할 수 있다는 장점이 있으며, 기존의 물리·화학적인 유물보존 처리 방법과는 달리 영구 보존이 가능한 일종의 디지털 문화재라 할 수 있다.

그리고 본 연구에서 제안한 디지털 문화재 복원의 전반적인 이론을 기반으로 우리 나라의 문화재를 디지털로 복원하여 CAVE라는 가상현실 시스템으로 시현하는 과정을 후속 연구에 기여하고자 한다. 따라서 본 연구에서 제시한 가상현실이라는 신 디지털 기술을 이용하여 시간과 공간의 제한을 받지 않고 언제 어디서나 편리하게 접할 수 있고 체험할 수 있는 디지털 문화재가 우리의 문화 속에 자리 잡을 수 있기를 기대하며 문화재 뿐 아니라 다양한 소재를 가상현실에 적용할 수 있는 지속적인 연구가 기대된다.

## 참고문헌

- 니콜라스 레이브로프, 이상헌 옮김, '가상현실', 1995.
- 샌드라 헬셀, 패리스 로스, 노영덕 역, '가상현실과 사이버스페이스. 세종대학교 출판부, 1994.
- 강금부, 이한식, 컴퓨터를 이용한 문화재 복원, 산업과학기술연구소 논문집, Vol.11. No.1(6). 1997.
- 김동현, 컴퓨터그래픽 기술을 이용한 미륵사지 서탑복원. 한국과학기술연구원 시스템공학연구소, 1992.
- 김정환, '가상현실 환경에서 디지털캐릭터의 등장배경 및 제작 환경 분석 비교 연구', 한국영화학회지, 영화연구 15호, 2000.
- 백승만. 가상현실 기술을 이용한 영상산업 활용에 관한 연구, 디자인학연구, 45호 Vol.15. 2002.
- 원광현, '전산학으로서의 가상현실', 정보과학지, 제11권, 1997.
- 임대현, Web3D를 이용한 가상현실 구축하기, 가남사, 2000
- 이종상, '건설산업의 가상현실 응용'. 정보처리학회지, 제 5권 제2호, 1998.
- 정규상, '가상현실에서의 시각적 이미지 활용에 대한 연구', 디자인 과학연구 Aug. 2001.
- Andrea L. Ames, David R. Nadeau, John L. Moreland, VRML. 2.0 Sourcebook, 2nd Edition, John Wiley & Sons, December, 1996.
- Davis Jaffery, "A renaissance for Michelangelo, National Geographic", Vol. 176, (Dec). 1989.
- T.Sakata, High tech 考古學, 丸善 library, 1991.
- Virtual Heritage, IEEE Multimedia Vol. 7(Apr.-June), 2000.
- Wilson, J. R., D'Cruz, M., Cobb, S., Eastgate, R., Virtual Reality. for Industrial Applications, Nottingham University Press, 1996.
- 미켈란젤로프로젝트,  
<http://graphics.stanford.edu/projects/mich>.
- <http://www.cultureexpo.or.kr>
- <http://cosmo.sgi.com/worlds>
- <http://www.donga.com/docs/magazine/weekly/2002/10/04/>
- <http://www.dreamscape.co.kr>
- <http://www.evl.uic.edu/sopark/thesis>
- <http://www.vrml.org>
- <http://www.vrrc.org>
- <http://www.jek.net>