

가상테이블상에서 비주얼 및 텍타일 가이드를 이용한 건축 디자인

(Architectural Design using Visual and Tactile Guide in the Virtual Table)

이 선 민 [†] 최 수 미 ^{**} 권 두 영 ^{***} 김 명 희 ^{****}
(Seon-Min Rhee) (Soo-Mi Choi) (Doo-Young Kwon) (Myoung-Hee Kim)

요약 디스플레이 디바이스가 발전함에 따라 컴퓨터를 이용한 작업 환경이 응용 목적에 보다 적합한 형태로 변환하고 있다. 본 논문에서는 테이블 형태의 프로젝션 시스템인 가상테이블을 이용하여 건축 디자인 시스템의 개발에 관하여 고찰한다. 개발된 시스템은 인터랙티브 VR 모델러, 하이브리드 트랙커, 건축용 인터프리터로 구성되어 있다. 인터랙티브 VR 모델러는 가상테이블 상에서 건축 디자인을 보다 쉽고 직관적으로 할 수 있도록 그리드 인터랙션, 텐저블 프랍, 참조 객체와 같은 비주얼 및 텍타일 가이드를 제공한다. 하이브리드 트랙커는 사용자 시야각에 따른 임의의 뷰포인트를 제공하는 기능과 핸드 인터랙션을 위한 비전 기반 트랙킹과 마그네틱 트랙킹을 포함하고, 건축용 인터프리터는 간단한 삼차원 매스를 건축적 정보를 포함한 기본 구성요소로 자동 변환하는 기능을 한다. 제안 시스템은 다수의 사용자가 공동 작업을 하기에 적절하며 입체적인 뷰를 통하여 그래픽스 객체를 삼차원 공간에서 직접 조작할 수 있다는 장점이 있다. 이와 같이 본 시스템은 건축 시뮬레이션 및 사용자 참여 디자인에 유용하게 사용되어질 수 있다.

키워드 : 테이블형 가상현실 시스템, 인터랙티브 건축 디자인, 삼차원 인터랙션

Abstract As display devices evolve, computer-based work environments are also becoming better suited to actual application tasks. This paper discusses the development of an architectural design system using the virtual table, which is a table-type projection system. It consists of the interactive VR modeler, the hybrid tracker and the architectural interpreter. The interactive VR modeler offers visual and tactile guide such as grid interaction, a tangible transparent prop and reference objects, so that a user can design architectural 3D models more easily and intuitively on the virtual table. The hybrid tracker includes two types of tracking methods for viewpoint according to the user's view and hand interaction: namely, vision-based tracking and magnetic tracking. The architectural interpreter automatically transforms simple 3D masses into a basic construction form that has architectural knowledge. The proposed system has advantage in the sense that it is suitable for collaboration among several users, allowing them to view graphical objects in stereoscopic view with direct 3D manipulation. Thus, it can be effectively used for architectural simulation and user-participated design.

Key words : table-type VR system, interactive architectural design, 3D interaction

1. 서론

삼차원 건축물을 디자인하기 위해서는 일반적으로 이

차원 도면상에 직접 드로잉하거나 컴퓨터 보조 디자인 (Computer Aided Design; CAD) 툴을 사용하는 방식이 주로 이용되고 있다. 최근에는 객체 기반 모델링 방법을 통해 건축물을 도면으로부터 삼차원 구조로 자동 생성하려는 지능형 CAD 시스템[1,2]이나 네트워크를 기반으로 하는 협동형 CAD 시스템 등에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그러나 디자인의 마지막 단계에서는 여전히 실물과 주변 건축물들을 축소 제작하는 방식이 선호되고 있다. 이러한 실물 제작은 수정이 용이하지 않을 뿐만 아니라 제작 기간이 오래 걸리는 단점이

[†] 비 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과
blue@mm.ewha.ac.kr

^{**} 성 회 원 : 세종대학교 컴퓨터공학부 교수
smchoi@sejong.ac.kr

^{***} 비 회 원 : 워싱턴주립대 디자인컴퓨팅
kwon@u.washington.edu

^{****} 종신회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수
mhkim@ewha.ac.kr

논문접수 : 2003년 5월 7일

심사완료 : 2003년 12월 5일

있기 때문에 보다 인터랙티브한 디자인이 가능하면서도, 실제 공간상의 건축물과 같은 공간적인 몰입감을 줄 수 있는 새로운 형태의 건축 디자인 방식에 대한 연구가 필요하다. 이러한 요구는 첨단 가상현실 장비들의 발전과 함께 새로운 유형의 첨단 건축 디자인 시스템에 대한 관심을 높이고 있다. 컴퓨터를 이용한 건축 디자인의 또 다른 연구 경향으로는 분야별 전문가간의 협동 작업을 증진 시키거나 사용자를 건축 디자인의 초기 단계에서부터 직접 참여시키려는 사용자 참여형 건축 디자인을 들 수 있다. 이러한 연구 동향을 살펴볼 때, 컴퓨터를 이용한 차세대 건축 디자인 시스템은 실물 제작과 같은 현실감을 주면서도 인터랙티브한 디자인이 가능하고, 삼차원 건축 모델을 중심으로 디자인 전문가와 일반 사용자 간의 의사전달이 쉬운 비주얼 컴퓨팅 환경을 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문에서는 커다란 테이블 형태의 입체 디스플레이인 가상테이블(virtual table)을 이용하여 디자인 초기 단계에서 보다 직관적인 방식으로 건축물을 인터랙티브하게 디자인하고, 건축 디자이너와 일반 사용자가 쉽게 커뮤니케이션 할 수 있는 새로운 형태의 건축 디자인 시스템을 설계하고 구현한 결과를 제시한다. 개발된 시스템은 첫째, 건축 디자인을 투영된 이차원 스크린이 아닌 현실 세계의 삼차원 공간 상에서 디자인할 수 있도록 함으로써 사용자에게 자연스럽고 직관적이다. 둘째, 커다란 테이블 형태의 수평형 스크린을 기반으로 하기 때문에 근본적으로 협동 작업이 쉽다. 가상테이블 주위로 4인~5인의 사용자가 입체적인 그래픽 모델을 사용하여 토의하면서 보다 효과적으로 결과를 도출할 수 있다. 이렇게 디스플레이 디바이스의 크기가 커지고 수평 형태로 바뀌어 지면서 얻을 수 있는 장점도 많지만, 새로운 형태의 가상현실 디바이스를 사용함으로써 수반되는 문제점도 나타난다. 현재 지적되고 있는 문제점으로는 가상테이블 상에 입체적으로 디스플레이 된 삼차원 객체들을 조작하는 것이 실제적으로는 허공의 객체들이기 때문에 이를 정확히 선택하고 조작하기가 쉽지 않다는 점을 들 수 있다. 또한 장시간 사용할 경우 사용자가 피로감을 느끼기 쉽다는 점이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 가상테이블을 이용하여 인터랙티브 건축 디자인 시스템을 구축하고자 한다. 이와 더불어 제안 시스템 상에서 일반 사용자가 보다 쉽게 삼차원 객체들을 조작할 수 있도록 비주얼 및 탭타일 가이드를 제공하는 삼차원 인터랙션 방법들을 연구 개발하고자 한다. 본 연구에서는 사용자 참여형 디자인을 목표로 하고 있기 때문에 건축물의 세부적인 디자인 보다는 초기 형태 디자인에 초점을 맞추고 있으며, 각종의 창과 문이 동일한 위치에 있는 단순한 형태를 대

상으로 한다.

이어지는 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 건축 디자인 시스템과 관련된 기존 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 인터랙티브 건축 디자인을 위해 본 논문에서 제안하는 가상현실 시스템의 구성 및 인터랙션 방법에 대하여 설명한다. 4장에서는 구현 방법 및 결과를 제시하고 이차원 스크린을 기반으로 하는 모델링 툴과의 비교를 통하여 제안 시스템의 장점에 대하여 기술한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 기술한다.

2. 관련 연구

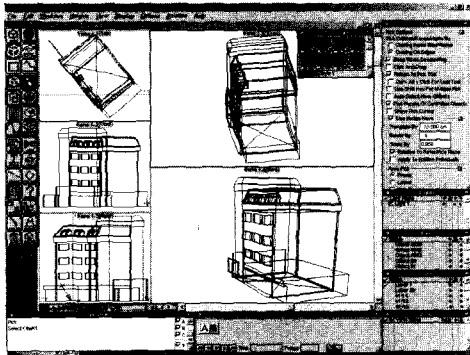
건축 디자인을 위한 삼차원 객체를 인터랙티브하게 모델링하기 위한 작업 환경은 크게 이차원적인 스크린 기반 환경과 삼차원 가상현실 시스템을 이용하는 환경으로 나누어 볼 수 있다.

2.1 이차원 스크린 환경

이차원 스크린 환경에서는 일반적으로 3D Max, Maya, FormZ 등과 같이 기존에 상용화 되어 있는 삼차원 모델링 툴을 이용하여 대상 건축물을 모델링 한다. 삼차원 객체를 원하는 형태로 모델링하기 위해서는 마우스를 사용하여 객체를 선택 및 조작하거나 키보드를 이용하여 파라미터를 직접 입력하는 방식이 주로 사용되고 있다. 또한 객체를 정확히 조작하기 위해서 일반적으로 그리드 기능과 와이어 프레임 모델을 사용하여 작업하는 경우가 많다. 이러한 이차원 인터페이스는 기본 프레임워크로 이미 친숙한 WIMP(windows, icons, mouse, pointing) 작업 환경을 제공하기 때문에 사용자들이 쉽게 사용할 수 있다. 그러나 삼차원 객체를 이차원 스크린 상에서 모델링하기 때문에 깊이 값(대부분 z축)을 표현하기 어렵다. 이러한 단점을 보완해 주기 위해서 스크린을 분할하여 xy, yz, zx 평면에 해당하는 다중 뷰를 제공하는 것이 일반적이다. 그러나 이 경우 삼차원 공간 상에서 간단하게 수행할 수 있는 작업을 이차원적으로 투영된 스크린 상에서 작업해야 하므로 각 평면에 해당하는 뷰에서 각각 작업해 주어야 한다(그림 1(a)). 따라서 스크린을 통해 보이는 착시 현상과 제한된 입력 방식 때문에 사용자와의 인터랙션이 자연스럽지 못할 뿐만 아니라 모델링 된 결과 역시 이차원 스크린 상에 투영되기 때문에 직관적으로 이해하기 어렵다.

2.2 삼차원 가상현실 시스템 환경

가상현실 시스템을 기반으로 하는 모델링 환경에서는 삼차원 공간 상의 위치를 추적하는 트래커와 연동된 삼차원 입력 장치를 이용하여 객체를 생성하고 조작한다. 이러한 환경에서는 사용자와 가상 객체간의 인터랙션이 실제적인 삼차원 공간상에서 이루어지기 때문에 이차원



(a) 이차원 스크린 환경



(b) 테이블형 가상현실 시스템 환경[19]

그림 1 인터랙티브 객체 모델링을 위한 작업 환경

스크린 환경에 비해 훨씬 자연스럽게 맵핑 되어진다. 그러나 사용자가 관찰하는 객체가 실제로 삼차원적으로 존재하는 것이 아니라 두개의 스테레오 영상을 통해 입체적으로 느끼게 하는 것이기 때문에 객체를 정밀하게 조작하기가 쉽지 않다.

가상테이블은 수평형의 대형 프로젝션 장치로 반몰입적인(semi-immersive) 현실감을 제공하는 디스플레이 장비이다. 이를 이용하면 테이블 형태의 수평 공간상에서 이루어지던 많은 작업들을 재현할 수 있고, 테이블 주위에서 사용자들 간의 협업이 가능하기 때문에 소규모의 공동 작업에 매우 효과적이다(그림 1(b)). 따라서 이러한 장점을 반영할 수 있는 건축, 의료, 과학적 가시화 등을 위한 다양한 애플리케이션에 이용되고 있다[3-9]. 건축 분야에서는 대지계획(site planning), 건축물 요소(벽, 창문, 지붕 등) 디자인, 건축 시뮬레이션 등의 애플리케이션에 사용되고 있다[10,11].

이러한 테이블형 가상환경 구축과 관련된 연구들을 살펴보면 Encarnacao[12]는 가상현실 기술을 이용한 산업 현장용 디자인 애플리케이션으로 가상테이블 기반 3D CAD 시스템을 개발하였다. Pol[13]은 테이블형 가상환경이 사용자 인터랙션에 미치는 영향을 분석하고, 테이블형 가상공간에서 적합한 인터랙션 방법들을 비교 평가하였다. Cutler[14]는 테이블형 가상환경에서 핀치 글러브를 이용하여 수행할 수 있는 한손 또는 양손 인터랙션 기법을 정의하고 분류하였다. Bowman[15]는 가상환경에서 수행할 수 있는 인터랙션 기법을 관찰자의 뷰 포인트를 바꿔주는 네비게이션, 객체를 식별하는 선택, 객체의 속성을 변경하는 조작으로 분류하였다. 이러한 테이블형 가상환경은 대부분 Barco 사의 Baron Projection Table™, Fakespace 사의 ImmersaDesk™ 등의 프로젝션 디스플레이 장비를 이용하여 구축되어졌다. 이와 같이 테이블형 가상환경 구축 및 그에 적합한 인터랙

션 기법에 관한 연구가 진행되고 있지만 이러한 방법들을 응용 애플리케이션에 실제로 적용하여 실험한 예나 삼차원 공간상에서 보다 정확하게 객체를 선택하고 조작하기 위한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

3. 가상테이블을 이용한 건축 디자인 시스템 설계

본 장에서는 삼차원 공간상에서 인터랙티브하게 건축물을 디자인하기 위해 설계한 가상테이블을 이용한 건축 디자인 시스템의 하드웨어 구성 및 주요 소프트웨어 컴포넌트에 대하여 기술한다. 또한 제안 시스템을 이용하여 건축물을 디자인하고 시뮬레이션하기 위한 소프트웨어 프로세스를 설명한다.

3.1 가상테이블을 이용한 시스템 환경

건축 디자인을 수행하기 위한 가상 환경의 하드웨어 구성은 그림 2와 같다. 모델의 생성 및 입체 디스플레이

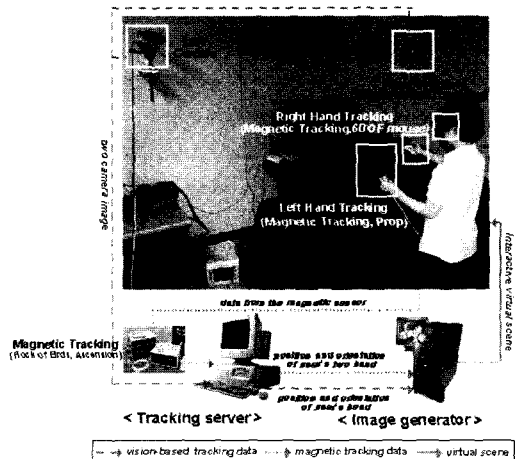


그림 2 건축 디자인을 위한 가상테이블 기반 가상환경 시스템 구성도

를 위한 이미지 생성기와 가상테이블, 사용자 위치 추적을 위한 비전기반 트래킹 시스템, 사용자와 컴퓨터간의 상호작용을 위한 양손 인터랙션 도구 및 마그네틱 트래킹 시스템으로 구성되어 있으며 트래킹 데이터는 네트워크를 통하여 이미지 생성기에 전달되어 사용된다.

3.1.1 트래킹 시스템

사용자와 가상세계간의 상호작용이 이뤄지기 위해서는 공간상에서 사용자 위치 및 인터랙션 도구의 움직임을 추적하기 위한 트래킹이 필수적이다. 사용자의 위치를 추적하고 이에 따라 건축물 및 주변 환경을 디스플레이 하기 위하여 본 연구에서는 넓은 트래킹 영역을 허용하는 삼각측량법을 이용한 카메라 트래킹 방식[16]을 이용하였다. 이 방법은 삼각형의 한 변의 길이와 양 끝의 두 각을 안다면 양변의 길이를 알 수 있다는 사실을 이용하여 피사체까지의 거리를 알아내는 방식이다. 카메라 트래킹을 위해서는 두 대의 비디오카메라 옆에 두 개의 적외선 소스(파장 940nm)를 각각 설치하여 적외선에 의해 반사되는 비컨(beacon)의 위치를 추적하고 각각의 카메라에 찍힌 각각의 영상을 분석하여 삼차원 공간상의 사용자 위치를 추정한다. 적외선 비컨은 사용자가 착용하는 서티글래스에 부착되어 있으며 별도의 케이블이 필요하지 않기 때문에 사용자가 보다 자유롭게 가상테이블 주변을 움직일 수 있다. 비디오카메라는 Sony사의 XC55를 wide-angle 렌즈와 함께 사용하였고, 적외선 필터(약 750 nm 이하 파장 차단)를 이용하여 가시광선을 차단하였다. 또한 프로그래시브 스캔 카메라로부터 스테레오 영상을 획득하기 위하여 개발된 Metrox사의 Meteor2-MC/4 frame-grabber를 트래킹 서버에 장착하였다. 비전기반 트래킹 방식은 사용자의 움직임을 보다 자유롭게 해준다는 장점이 있지만, 적외선 비컨이 카메라에 찍히지 않을 경우에는 오차가 발생하기 쉽기 때문에 건축 디자인을 할 때 빠른 속도로 움직이는 손의 인터랙션 도구를 추적하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 전자기장의 성질을 이용한 마그네틱 트래킹 방식의 Flock of Birds(Ascension사)를 사용하여 양손을 위한 인터랙션 도구인 6DOF 마우스와 프랍(prop) 위치 및 방향을 추적하도록 하였다.

3.1.2 인터랙션

이차원 모니터 상에서 이용되는 마우스나 키보드는 삼차원 공간상에 보여 지는 가상객체와 인터랙션하기에 적합하지 않다. 따라서 사용자가 가상객체와 보다 자연스럽게 상호작용하기 위하여 새로운 형태의 입력 장치가 필요하며, 양손을 이용하는 것이 보다 효과적이다. 본 연구에서는 x, y축 상의 위치 정보뿐만 아니라 z축 상의 위치 및 회전 정보(yaw, pitch, roll)를 알 수 있도록 해주는 6DOF(Degree Of Freedom) 마우스를

이용하여 가상 객체를 선택하고 이를 조작할 수 있도록 하였다. 삼차원 공간상에서의 인터랙션은 이차원 스크린 환경에서 마우스를 이용하여 수행하는 인터랙션과는 달리 허공에 존재하는 삼차원 객체를 직접 조작하는 방식으로 이루어지기 때문에 직관적이긴 하지만 사용자에게 택타일(tactile) 피드백을 줄 수 없다는 단점이 있다. 이와 같은 택타일 피드백의 부재는 정확하고 정밀한 객체 조작을 어렵게 하는 큰 원인으로 지적되고 있다[17]. 본 연구에서는 투명 아크릴판에 마그네틱 트래커의 리시버를 부착한 텐저블(tangible) 프랍을 이용하여 이러한 문제점을 보완하였다. 그림 3에서 보는 것과 같이 사용자는 가상의 객체를 조작하기 위하여 물리적인 인터랙션 도구(physical interaction device)인 프랍과 6DOF 마우스를 이용한다. 프랍과 6DOF 마우스의 움직임은 트래킹 장비를 통해 추적되기 때문에 이를 통하여 사용자 입력을 가상세계에 반영시킬 수 있다. 6DOF 마우스는 가상 객체를 선택하거나 조작하기 위한 포인팅 장비로써 사용되기 때문에 이러한 용도에 맞도록 화살표, 연필, 손 등의 가상인터랙션 도구(virtual interaction device)로 매핑(mapping)될 수 있다. 이는 주로 대상 객체와의 직접적인 상호작용에 이용되며 정교한 손동작을 필요로 하는 경우가 있으므로 주로 사용하는 손(오른손 잡이일 경우 오른손)을 이용한다. 프랍은 주로 애플리케이션을 제어하기 위한 메뉴 기능을 수행하기 때문에 다양한 아이콘을 포함하는 메뉴판의 형태로 매핑 되어서, 주로 사용하지 않는 손을 이용한다. 이와 같이 사용자에게 택타일 피드백을 주는 물리적인 인터랙션 도구의 움직임에 따라 가상인터랙션 도구를 조작할 수 있기 때문에 보다 쉽고 정확하게 가상객체와 상호작용할 수 있다.

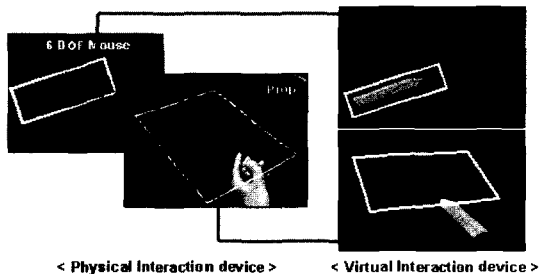


그림 3 텐저블 프랍 및 6DOF 마우스를 이용한 인터페이스

3.1.3 디스플레이

가상테이블인 BARCO Baron Projection TableTM은 수평형 가상현실 장비로 디자인하고자 하는 건축물 및 주변 환경을 삼차원 공간상에 디스플레이 한다. 프로

섹션 스크린의 대각선 길이는 67inch(가로×세로 : 1610 × 1580mm)이고, 스크린 표면까지의 높이는 1300mm 이다. 스크린의 경사도는 풋패달에 의해 0°-45°까지 조절 가능하다. 이 장비에 연결되어 있는 렌더링 서버는 펜티엄3 1GHz CPU, 1GByte RAM로 구성되어 있고 모델을 입체적으로 보여주기 위하여 Wildcat 5110TM 그래픽 보드를 장착하였으며, 그래픽 라이브러리는 Open-Inventor™를 이용하였다.

3.2 건축 디자인을 위한 주요 소프트웨어 컴포넌트

가상테이블 기반 건축 디자인 시스템의 주요 S/W 구성은 그림 4와 같다. 인터랙티브 VR 모델러에서는 건축물을 디자인할 때 필요한 객체 생성 및 사용자와의 상호작용을 지원하며, 하이브리드 트래커에서는 사용자 및 인터랙션 도구들의 위치와 방향을 추적하는 기능을 담당한다. 건축용 인터프리터에서는 사용자에 의해 생성된 삼차원 매스(mass) 정보를 이용하여 창, 문, 벽, 지붕 등의 건축 요소를 자동 생성한다.

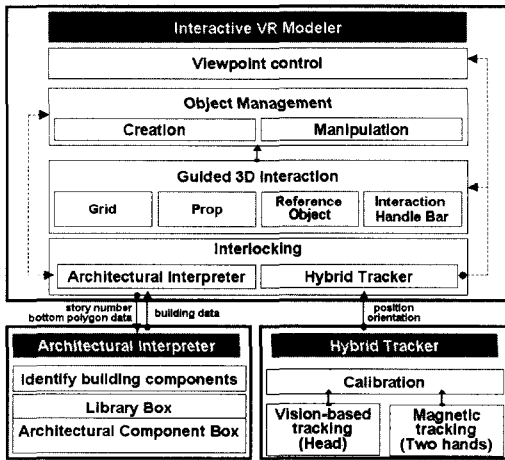


그림 4 가상테이블 기반 건축 디자인 시스템의 주요 소프트웨어 컴포넌트 구성도

3.2.1 인터랙티브 VR 모델러

인터랙티브 VR 모델러 모듈에서는 건축물을 디자인하거나 시뮬레이션하기 위해 사용자와 가상세계간의 인터랙티브한 작업 수행 시 발생하는 데이터 생성 및 조작에 관련된 관리 기능과 쉽고 효율적으로 가상세계와 상호작용하기 위한 가이드를 이용한 삼차원 인터랙션 기법을 제공한다.

뷰포인트 컨트롤(viewpoint control) 기능은 비전기반 트래킹 방식에 의해 추적된 사용자 위치 및 방향 정보에 따라 가상 세계를 바라보는 시점을 매순간 바뀌게 함으로써 사용자가 원하는 뷰에서 디자인 되고 있는 건

축물을 관찰할 수 있도록 한다.

오브젝트 매니지먼트(object management) 기능은 건축 디자인의 기본 단위인 삼차원 매스의 생성 및 조작에 따른 장면 그래프(scene graph) 데이터베이스를 관리한다. 삼차원 매스란 건축물의 정보를 갖지 않는 단순한 형태이며, 건축물의 초기 형태를 정의하기 위하여 생성된 것이다. 따라서 사용자 조작에 따라 변경되는 삼차원 매스의 형태, 크기, 위치 정보를 관리하여 건축물의 정보를 생성하기 위해 필요한 층 수 및 바닥형태 정보를 알 수 있도록 한다.

가이드드 삼차원 인터랙션(guided 3D interaction)은 객체 조작에 필요한 보다 쉽고 효율적인 사용자와의 상호작용을 지원하기 위하여 비주얼 및 택타일 피드백을 제공하는 상호작용 기법을 지원한다. 가상테이블 상에서는 정교한 객체 조작이 쉽지 않기 때문에 2D 모델링 툴에서와 같은 벡터 드로잉을 통한 폴리곤 생성이 어렵다. 따라서 사용자가 보다 쉽게 초기 바닥 형태를 지정할 수 있도록 다양한 사이즈의 그리드를 디스플레이 함으로써 사용자에게 비주얼 가이드를 제공하며, 선택된 그리드 유닛을 경계로 하는 삼차원 매스를 생성한다.

또한 사용자에게 택타일 피드백을 느낄 수 있도록 하기 위하여 본 연구에서 사용하고 있는 텐지블 프탑에 관련된 기능을 담당한다. 참조 객체는 건축 모델링 단계에서 창이나 문틀을 장식하기 위하여 사용되는 다양한 크기의 부재 파일을 모델링 된 건축물의 위치나 사이즈에 맞도록 조정해주며 인터랙션 핸들바는 객체가 수행할 수 있는 인터랙션의 방향을 명시하는 화살표로서 사용자가 보다 쉽게 삼차원 객체를 조작할 수 있도록 해준다.

3.2.2 하이브리드 트래커

하이브리드 트래커 모듈에는 사용자의 위치를 추적하기 위한 비전기반 트래킹 기법과 인터랙션 도구의 위치 및 방향을 추적하기 위한 마그네틱 방식의 트래킹 기법을 지원하기 위해 필요한 기능이 구현되어 있다. 비전기반 트래킹 방식에서 스테레오 영상을 획득하기 위하여 필요한 프레임 그래버 카드는 시스템 리소스를 많이 차지하기 때문에 이미지 생성기와는 별도의 서버를 사용한다. 따라서 트래킹 서버로부터 이미지 생성기로 정보를 전달하기 위해 필요한 네트워크 모듈을 포함하고 있으며 사용자의 위치 정보를 인터랙티브 VR 모델러로 보내서 가상 세계의 뷰포인트를 바꿀 수 있도록 한다. 또한 인터랙션 도구의 위치 및 방향을 추적하기 위한 마그네틱 트래커를 사용하기 위해 필요한 라이브러리를 구동시키고 트래킹 장비에서 사용되는 좌표계와 가상세계에서 사용되는 좌표계를 일치시켜준다.

3.2.3 건축용 인터프리터

인터랙티브 VR 모델러에서 생성된 단순 삼차원 모델은 이 모듈을 통해 자동적으로 창, 문, 벽, 슬라브, 지붕 객체를 가지고 있는 건축 모델로 변환된다. 건축용 인터프리터는 인터랙티브 VR 모델러에서 만들어진 삼차원 매스의 바닥 폴리곤 정보와 일정한 높이를 갖는 층수를 이용한다. 바닥 폴리곤을 층수에 맞게 돌출 및 이동시켜서 슬라브와 지붕을 만들고 폴리곤을 구성하는 선들을 일정 두께로 변환시키고 층 높이에 맞춰 돌출시켜 각각의 벽을 만든다. 생성된 벽은 정해진 파라미터에 의해 창과 문 폴리곤 객체를 포함한 벽으로 분할된다. 이와 같이 생성된 건축 구성 요소는 하나의 건물 모델을 구성하며 다시 인터랙티브 VR 모델러로 전달되어 건축물의 기본 구조를 갖는 형태로 사용자에게 보일 수 있다.

3.3 건축 모델링 및 시뮬레이션 프로세스

이차원 스크린을 기반으로 하는 모델링 환경에서는 삼차원 객체를 생성하고 이를 디자인하기 위한 다양한 기능을 포함하고 있기 때문에 건축물을 보다 상세하고 정확하게 모델링 하는 것이 가능하다. 그러나 삼차원 가상환경을 기반으로 하는 모델링 툴에서 이러한 기능을 모두 포함하게 될 경우, 삼차원 공간상에서의 사용자와 가상객체간의 상호작용 횟수가 증가하게 되고 이로 인하여 사용자가 느끼는 신체적 피로감을 누적시키기 때문에 효과적이지 않다. 따라서 본 논문에서는 건축물을 모델링하고 주변 분위기에 어울리는 외관을 디자인하기 위하여 그림 5와 같이 간략화된 디자인 프로세스를 정의하고 이에 따라 건축물을 생성하고 장식할 수 있도록 하는데 초점을 맞추었다.

주변 환경 설정 단계에서 사용자는 미리 생성한 3D 모델 파일을 이용하여 가상스테이브 상에서 건물이 위치할 주변 환경을 선택한다. 이를 통하여 건물이 위치할 곳의 다른 건축물의 형태와 재질을 고려하여 모델링할 수 있도록 하기 때문에 주변 분위기에 어울리는 건축물 디자인이 가능하다.

매스 모델링 단계에서는 보다 빠른 사용자와의 상호작용을 수행할 수 있도록 하기 위하여 복잡한 건축 데이터를 포함하지 않은 단순한 삼차원 매스를 생성하고 이를 조절함으로써 사용자가 원하는 건축물의 초기 형태를 정의한다. 초기 매스의 형태는 건축물의 바닥 모양과 층수를 정함으로써 결정되어진다.

건축 모델링 단계에서는 사용자가 원하는 건축물 초기 형태에 따라 생성된 삼차원 매스의 기하학 정보(바닥 모양, 층수)를 이용하여 건축물의 기본적인 컴포넌트인 창, 문, 벽, 지붕 등을 포함하는 건축 구조물이 자동 생성된다. 사용자가 원할 경우 언제든지 이전 단계인 매스 모델링 단계로 되돌아가갈 수 있으며, 건축물의 기본 형태 및 크기를 재조정할 수 있다.

건축 장식 단계에서는 창, 문, 벽, 지붕 등의 기본적인 컴포넌트를 생성함으로써 완성된 건축물에 다양한 색상이나 재질을 적용시키고, 창틀이나 문틀을 원하는 모델로 바꿔서 건축물의 외관을 장식하는 단계이다. 이때, 배경 모드를 On/Off 기능을 이용하여 수시로 주변 환경과의 조화를 고려한 건축 장식이 가능하다.

주변 환경과의 조화 시뮬레이션 단계에서는 배경 모드를 On하면 생성된 건축물이 선택된 배경 안에 위치하게 되며, 원할 경우 전 단계로 돌아가서 매스 모델링 및 건축 장식을 재수행할 수 있도록 함으로써 생성된 건축물을 처음 선택된 주변 경관과 자연스럽게 어울리는지 시뮬레이션 해 볼 수 있다.

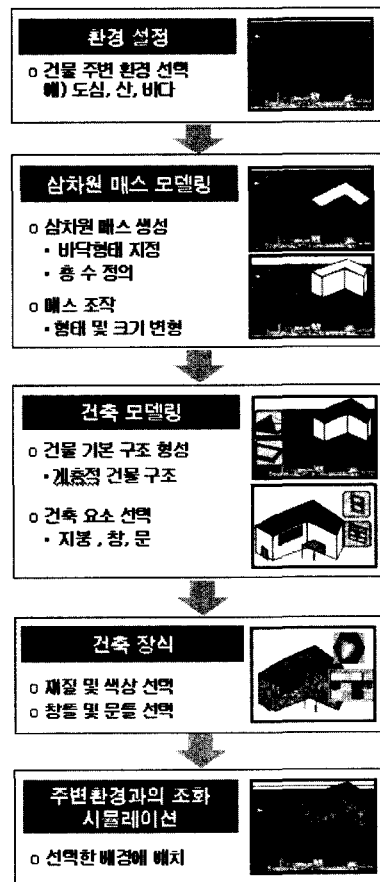


그림 5 건축 디자인 및 시뮬레이션을 위한 프로세스

4. 구현 및 결과 평가

본 장에서는 제안 시스템의 주요 구현 방법과 건축 디자인 및 시뮬레이션 프로세스에 따라 건축물을 디자인하고 이를 건물이 위치할 곳에 배치함으로써 주변 환

경과의 조화를 시뮬레이션 한 결과를 제시한다. 또한 기존의 데스크 탑 스크린을 기반으로 하는 모델링 툴과 비교하여 제안하는 시스템의 장점에 대하여 살펴본다.

4.1 구현

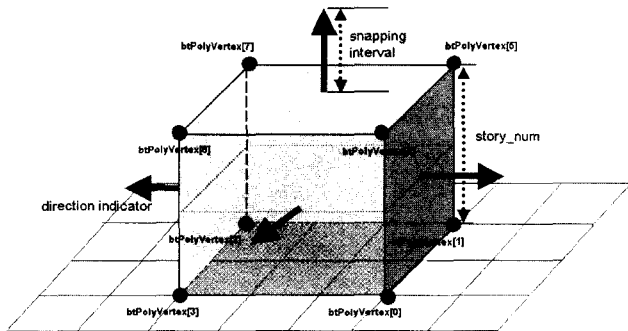
4.1.1 그리드와 인터랙션 핸들바를 이용한 삼차원 매스 조작

건축물의 바닥 형태와 층수를 결정하기 위한 삼차원 매스와 이를 생성하거나 조작하기 위한 그리드 및 인터랙션 핸들바 및 이의 순서도는 그림 6과 같다. 사용자가 선택한 그리드 유닛의 바운더리 정보를 이용하여 바닥 좌표값이 결정되며, 삼차원 매스의 각 면에 부착되어 있는 인터랙션 핸들바를 이용하여 매스의 사이즈를 조절함으로써 바닥 폴리곤의 좌표값을 변화시킬 수 있다. 건물의 층수는 층고 단위로 증가되기 때문에 스택핑을 모듈을 적용하여 인터랙션 핸들바를 일정 거리 이상 움직

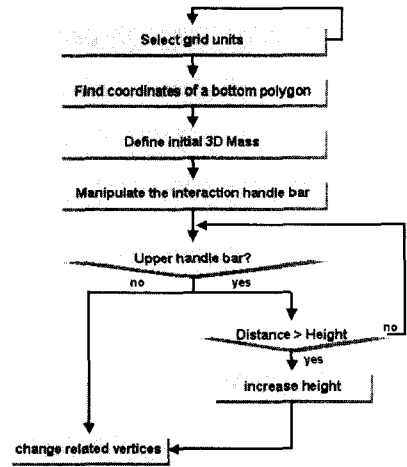
이면 매스의 높이가 미리 정해진 층고의 길이만큼 증가 및 감소한다.

4.1.2 건축 정보 자동 생성

그림 7에서는 Interactive VR 모델러에서 제공하는 가이드드 3D 인터랙션인 그리드 및 인터랙션 핸들바를 이용하여 사용자가 바닥 폴리곤 및 층수를 결정하고 난 후 이를 이용하여 건축용 인터프리터에서 벽면, 지붕, 창문 및 문을 생성하여 3D 건축물을 생성하는 과정을 보여준다. 삼차원 매스 변형이 완료되고 나면, 층수에 따라 삼차원 매스가 수직 분할되며, 각 층마다 정해진 개수의 창과 문이 자동 생성되고 나머지 부분은 벽이 되어 건축물의 기본적인 컴포넌트가 생성된다. 또한 지붕의 크기 및 위치는 바닥 형태와 층수에 따라서 자동으로 설정되며 건물 상단에 자동으로 부착된다.



(a) 삼차원 매스, 그리드 및 인터랙션 핸들바



(b) 그리드 및 인터랙션 핸들바를 이용한 삼차원 매스 조작 순서도

그림 6 그리드, 인터랙션 핸들바 및 삼차원 매스를 이용한 바닥폴리곤 좌표 및 층수 결정

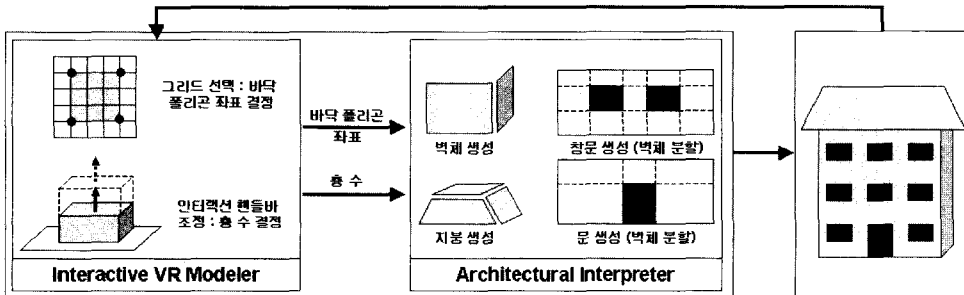


그림 7 건축용 인터프리터를 이용한 건축요소(벽, 지붕, 창, 문) 자동생성

4.2 구현 결과 및 평가

그림 8은 3.3절에서 정의한 프로세스에 따라 본 연구에서 개발된 삼차원 환경에서의 건축 모델링 툴을 이용하여 건축물을 모델링하고 이를 주변 환경과의 조화를 테스트하기 위하여 시물레이션하고 있는 장면을 보여준다.

배경 선택 단계 그림 8(a)에서는 건물이 위치할 주변 환경을 선택하여 이를 3차원 그래픽스 모델로 생성하여 디스플레이하고 있는 장면을 보여주고 있다. 주변 환경을 선택하고 난 후에는 필요에 따라 배경을 숨기거나 다시 디스플레이할 수 있도록 해 주는 배경 모드 On/Off 기능을 이용할 수 있다. 즉, 매스 및 건축 모델링 단계에서 건물의 확대된 모습을 보기 위해 숨겨진 배경은 사용자가 원할 때 언제든지 다시 디스플레이 가능하므로 모델링 된 건물이 주변 환경과 함께 배치된 모습을 필요에 따라 시물레이션해 볼 수 있다.

삼차원 매스 모델링 및 건축 모델링 단계 그림 8(b)에서는 바닥 형태를 정의하고 원하는 층 수 만큼 올리고 변형하여 삼차원 매스를 생성하고 있는 예이다. 또한 삼차원 매스로부터 건축물의 기본 정보인 벽, 창, 문, 지붕 등을 포함하는 건축 모델이 자동으로 생성되는 과정을 보여주고 있다. 본 연구에서 제안하는 가이드드 삼차원 인터랙션 중 하나인 그리드가 가상테이블 상에 다양한 사이즈로 제공되며, 사용자는 이 중에서 여러 개의 그리드 유닛을 선택하여 바닥의 형태를 정의할 수 있다. 선택된 그리드를 바닥과 수직 방향으로 돌출시킴으로써 사용자가 원하는 높이의 건물을 위한 초기 매스가 생성된다. 매스가 생성된 후에도 인터랙션 핸들바를 이용하여 매스의 크기를 다시 변경시킬 수 있으며, 높이를 조정할 때에는 스냅핑을 적용하여 한 층 높이를 기본 단위로 증가 혹은 감소시키도록 한다.

건축 디자인 단계 그림 8(c)에서는 건축 장식 단계에서 건축물의 색상이나 재질을 변경하고 있는 모습을 보여준다. 이 때 가상테이블이 표현하는 색상은 일반 CRT 모니터에 비하여 밝지 않기 때문에 파스텔 톤이나 미색보다는 원색에 가까운 색상을 선택하면 보다 효과적으로 모델을 표현할 수 있으며, 창틀이나 문틀은 개별적으로 모델링 된 건축 부재 파일을 이용하여 쉽고도 즉각적으로 변경시킬 수 있다.

주변 환경과의 조화 시물레이션 단계 그림 8(d)에서는 모델링 된 건축물을 주변 환경과 시물레이션 해 보고 있는 장면이다. 이 때, 사용자의 움직임에 따라 뷰포인터가 변화되어 원하는 방향을 볼 수 있다.

그림 9에서는 이차원 스크린 환경을 기반으로 하는 상용 모델링 툴 중에서 널리 사용되는 Autodesk Inc [18]의 FormZ와 본 논문에서 제안하는 삼차원 가상현실 기반 건축 디자인 및 시물레이션 툴을 비교하였다.

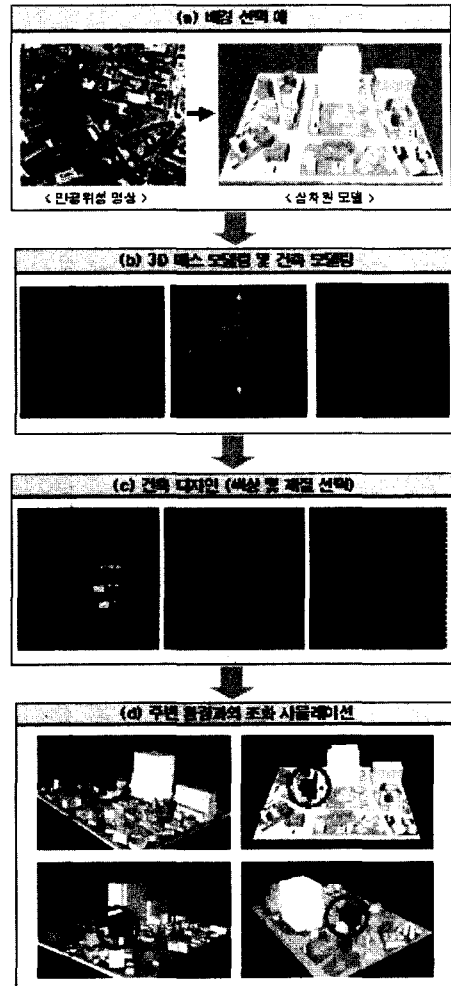


그림 8 건축물 모델링 및 시물레이션 프로세스에 따른 결과 화면 예

개발된 시스템이 갖는 장점은 다음과 같다.

첫째, 사용자들이 테이블 주위에서 디자인 된 모습을 함께 보면서 의견을 교환할 수 있기 때문에 분야가 다른 건축 전문가들 간의 상호 협동 작업을 하거나 사용자 참여형 건축 설계 툴로서 사용되어질 수 있다.

둘째, 넓은 스크린을 기반으로 하는 가상테이블을 이용하기 때문에 모니터 상에서 디자인 및 시물레이션을 수행할 때 보다 자연스러운 사용자 행위를 허용한다.

셋째, 양손 인터랙션을 통하여 삼차원 공간상에 입체 디스플레이 된 객체를 조작하기 때문에 이차원 스크린 상에 보이는 삼차원 객체를 조작할 때 보다 직관적이고 효율적이다. 예를 들면, 삼차원 건축 모델의 크기 변경, 위치 이동, 기본 프리미티브들 간의 합병(merge)등 x,y,z축을 모두 고려해야하는 객체 조작을 이차원 스크



그림 9 인터랙티브 건축 디자인-시뮬레이션 환경 비교 : 이차원 스크린 기반 및 테이블형 삼차원 가상환경 기반

린 상에서 하기 위해서는 세 개의 단면도(xy, yz, zx)를 이용하여 단계적으로 수행해야한다. 따라서 여러 번의 조작이 필수적이지만 개발된 시스템을 이용하면 삼차원 공간상에서 객체를 직접 조작할 수 있기 때문에 사용자 인터랙션을 단순화시킬 수 있을 뿐만 아니라 훨씬 자연스럽다. 또한 본 연구에서 제안하는 그리드, 프랍, 레퍼런스 오브젝트, 인터랙션 핸들바 등의 가이드 인터랙션 기법을 이용하면 비주얼 및 택타일 피드백 부재로 인해 발생하는 삼차원 인터랙션의 문제점을 보완할 수 있다.

마지막으로, 디자인 된 건축 모델을 주변 환경과 함께 입체 시뮬레이션할 수 있기 때문에 축소 모형을 제작하는 것과 같은 효과를 줄 수 있을 뿐만 아니라 보다 빠르고 간편하게 모델을 수정할 수 있다. 또한 가상테이블은 수평형태의 작업 환경을 제공하기 때문에 birds-eye view를 이용하여 조감도를 효과적으로 표현할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 가상테이블을 이용하여 삼차원 공간상에서 건축 디자인을 인터랙티브하게 할 수 있는 가상환경을 구축하였다. 이를 위하여 건축 디자인 초기단계에 필요한 간단한 시나리오를 작성하고 그에 따른 시스템의 기본 구조를 제시하였다. 개발된 시스템은 사용자의 정확한 삼차원 인터랙션을 지원하도록 그리드, 프랍, 레퍼런스 오브젝트, 인터랙션 핸들바를 제공하였다. 이리

한 인터랙션을 통해 생성된 건축 객체들은 단순한 가시화를 위한 기하화적인 집합들이 아니라 개개의 면들이 예를 들면 벽과 같은 건축물의 구성 요소로써 의미를 가지고 있어 추가적인 기능을 부여할 수 있다. 이러한 내부 표현 방법은 건축물의 다단계 표현법 또한 가능하게 함으로써 분야가 다른 건축 전문가들 간의 상호 협동 작업을 하는데 사용될 수 있다. 그러나 제안된 시스템은 위에서 내려다보는 형태의 뷰잉 프레스티를 가지기 때문에 건축 디자인 프로세스를 진행하거나 모델링된 결과를 전체적으로 관찰하기에는 효과적이지만, 건축물 내부로 네비게이션 하거나 실제 크기로 확대하여 현실감을 느끼기에는 부족한 점이 있다. 따라서 향후 연구로는 제안된 테이블형 가상현실 시스템을 수직형태의 대형 프로젝션 윌과 연동하여 건축물을 모델링하면서 동시에 실물 크기로 네비게이션할 수 있는 가상 협동 환경으로 확장할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Kalay, Y., Khemlani, L., Choi, J.W., "An Integrated Model to Support Distributed Collaborative Design of Buildings, Automation in Construction," 7, pp. 177-188, 1998.
 [2] Uk Kim, Jinwon Choi, Sungah Kim, "A House Design Automation System Based on the Design-by-Novice Paradigm, Architectural Research," AIK, Vol.1, No.1, pp. 23-30, 2000.

- [3] Rosenblum, L. J., J. Durbin, and R. Doyle, "The Virtual Reality Responsive Workbench: Applications and Experiences," Proceedings of British Computer Society Conference on Virtual Worlds on the WWW, Internet, and Networks, Bradford, UK, April 1997.
- [4] Kreuger, W. and B.Froehlich, "The Responsive Workbench," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 14, No. 3, May, pp. 12-15, 1994.
- [5] Kreuger, W., and C.Bohn, B.Froehlich, H.Schueth, W. Strauss, and G.Wesche, "The Responsive Workbench: A Virtual Work Environment," IEEE Computer, Vol. 28, No. 7, July, pp. 42-48, 1995.
- [6] M.and F.A, "Software Environment for the Responsive Workbench," Proceedings of the seventh annual conference of the Advanced School for Computing and Imaging, pp. 435, ASCI, May/June 2001.
- [7] L.Rosenblum, J. Durbin, R. Doyle, and D. Tate, "The Virtual Reality Responsive Workbench: Applications and Experiences," Proceedings of British Computer Society Conference on Virtual Worlds on the WWW, Internet, and Networks, Bradford, UK, April, 1997L.
- [8] M.Koutek and F.Post, "A Software Environment for the Responsive Workbench," Proceedings of the seventh annual conference of the Advanced School for Computing and Imaging, pp. 428-435, May/June, 2001.
- [9] Myoung-Hee Kim, Soo-Mi Choi, Seon-Min Rhee, Doo-Young Kwon, Hyo-Sun Kim, "A Guided Interaction Approach for Architectural Design in a Table-Type VR Environment," IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia ,December, 2002.
- [10] ARCADE/Studierstube, (URL)<http://www.cg.tuwien.ac.at/research/vr/studierstube/arcade/>
- [11] Virtual Landscape Design, (URL)<http://www.cg.tuwien.ac.at/research/vr/studierstube/vt/landscaping>
- [12] M. Encarnacao, A. Stork, and D. Schmalstieg, "The Virtual Table - A Future CAD Workspace," Proceedings of SME Computer Technology Solutions Conference, Michigan, Detroit, USA, pp. 13-19, September, 1999.
- [13] Rogier van de Pol, William Ribarsky, Larry Hodges, Frits Post, "Interaction in Semi-Immersive Large Display Environments," Virtual Environments '99, pp. 157-168, 1999.
- [14] Lawrence D. Cutler, Bernd Frohlich, Pat Hanrahan, "Two-Handed Direct Manipulation on the Responsive Workbench," Symposium on Interactive 3D Graphics, 1997.
- [15] D. Bowman, D. and L. Hodges, "An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulation Remote Objects in Immersive Virtual Environments," Proceedings of IEEE VRAIS, pp. 35-38, 1997.
- [16] 김효선, "프로젝션 월 환경에서의 카메라를 이용한 실시간 헤드 트래킹", 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사학위논문, 2002.
- [17] Mark R.Mine, Frederick P., and Brooks Jr., "Moving Objects in Space: Exploiting Proprioception In Virtual-Environment Interaction," Proceedings of Computer Graphics, ACM SIGGRAPH, pp. 19-26, 1997.
- [18] <http://www.formz.com>, Autodesys Inc.
- [19] Responsive Workbench: Roof-gutter assembly sequence, (URL)<http://graphics.stanford.edu/projects/RWB/roof/>



이 선 민

1999년 이화여자대학교 컴퓨터학과 졸업(학사). 2001년 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과(공학석사). 2001년~현재 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정. 관심분야는 가상·혼합 현실, 사용자 인터랙션, 영상가시화 등



최 수 미

1993년 이화여자대학교 전자계산학과 학사. 1995년 이화여자대학교 전자계산학과 석사. 2001년 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사. 2001년~2002년 이화여자대학교 정보통신연구소 연구전임강사. 2002년~현재 세종대학교 컴퓨터공학부 조교수. 관심분야는 컴퓨터 그래픽스, 가상·증강현실, 의료영상가시화



김 두 영

1999년 아주대학교 건축학과 졸업(학사) 2002년~현재 워싱턴 주립대 대학원 디자인컴퓨팅 석사과정. 관심분야는 디자인 컴퓨팅, 유비쿼투스 컴퓨팅, 가상현실



김 명 희

1979년 서울대학교 전산학 전공(석사) 1986년 독일 괴팅겐대학교 Informatik 전공(박사). 1987년~현재 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수. 관심분야는 영상가시화, 가상 및 혼합현실, 시뮬레이션 등