

다면 가상현실 환경의 구축 및 설계

김종국^{*,**}, 박문호^{*}, 문종덕^{*}, 박홍관^{*}, 고희동^{*}, 송재복^{**}

^{*}한국과학기술연구원 영상미디어연구실

^{**}고려대학교 기계공학과

Design of CAVE

Jong-Kuk Kim ^{*,**}, Mun-Ho Park ^{*}, Jong-Duck Mun ^{*}, Hong-Kwan Park ^{*},
Hee-Dong Ko ^{*}, Jae-Bok Song ^{**}

^{*}KIST IMRC

^{**}Korea University

Abstract

CAVE 시스템은 다수의 프로젝션 장비들을 사용하여, 물리적으로 사용자를 둘러싼 각 면에 영상을 투사하여 사용자에게 현실감을 제공하는 통합 환경이다. 본 논문은 CAVE 시스템을 실제 구축하여 보고, 시스템을 구축하는 데 있어 문제가 되는 각 면에서의 영상의 초기 설정의 보정 문제, 다수의 영상이 사용자의 시점에서 왜곡되지 않고 현실화되도록 하는 알고리즘과, 사용자의 시점을 찾기 위한 위치 추적 장비의 정확성 문제와 시점에 대한 보정 문제, 사용자가 가상 공간을 운용할 수 있도록 하는 장비들의 사용 환경 설계 문제 등을 해결하는 방법에 대하여 연구하였다. 또한, 본 논문은 CAVE 시스템 안에서 각 장비들이 전체적으로 조율 되어 운용되는 방법을 제시한다.

Key words

CAVE, Virtual Reality, Stereoscopic Display,
Heading Tracking, Real-Time Manipulation

1. 서 론

컴퓨터 기술이 발전함에 따라 복잡한 연산의 결과를 좀더 쉽게 알아볼 수 있도록 하기 위해서, 연산 그 자체뿐만 아니라 연산 결과의 시각화에도 많은 관심을 가지게 되었다. 이러한 요구에 의해 시각제시기술은 점차 발전하여 경주 엑스포에서 전시하고 있는 세계 최대 규모의 입체 상영관^[10]과, KIST 영상미디어연구실 내의 구면 입체상영관(Omni-Max^[10])과 같은 사용자에게 넓은 시야와 입체감을 제시할 수 있

게 되었다. 그러나 이러한 시각 제시기의 경우, 사용자의 움직임에 대해 수동적이어서, 극장과 같은 느낌을 주었다. 그래서, 사용자에게 보다 넓은 시야를 제시하고, 보다 능동적인 시각제시를 할 수 있도록 복수의 그래픽 시스템을 이용하여, 복수의 영상을 사용자를 중심으로 이어 붙인 형태의 시각제시기가 등장하게 되는데, 이러한 시스템이 바로 CAVE(Cave Automatic Virtual Environment)이다.

CAVE 시스템은 1992년 Chicago의 Illinois 대

학에서 처음으로 제작된 이후로 1998년까지 전 세계에 80여 개의 CAVE 시스템 구축되었으며^[2], 국내에는 대전의 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 상용의 CAVE 시스템이 설치되어 있다. 이러한 시스템은 원격에서의 공동작업과 설계, 교육 및 훈련, 그리고 학술데이터의 시각화 등에 사용되고 있다.^{[2][7]}

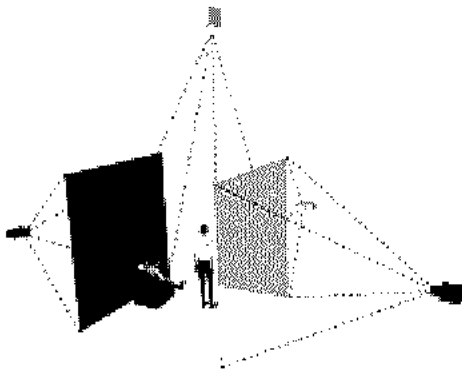


Fig. 1. CAVE

CAVE 시스템이 SIGGRAPH 93에서 처음으로 일반에게 공개되었을 당시, 다음과 같이 소개되었다.

“우리는 시각화 기술이 연구자의 요구에 적합할 수 있도록 노력해 왔다. 위치추적과 화면 정보의 갱신에 대한 오차를 줄이기 위해 방해물과 연결부를 줄이는 것이 우리의 과제였다. 우리의 주요 동기는 과학자들이 그들의 책상에 앉매이지 않게 하고, 그들이 사무실을 빠져나가 또 다른 건물, 혹은 세계를 경험할 수 있을 만큼 훌륭한 가상현실을 제공하는 일이다.”^[1]

위의 말처럼 CAVE에서는 사용자를 기준으로 다면, 일반적으로 육면체 구조물의 각 면에 영상을 비추게 되는데, 사용자의 위치를 추적하여 사용자를 기준으로 영상 자료를 재배치함으로써 사용자에게 높은 질의 현실감을 제공한다. 뿐만 아니라, 6면 CAVE의 경우에 전체 시야를 만족하여, 사용자의 모든 시선 움직임에 대해 유동적으로 대처할 수 있다.

이를 통해 사용자는 운용자가 제시하는 다차원의 데이터를 효과적으로 이해할 수 있으며, 동적환경 및 음향, 음성 등의 영역을 제공하여 통합가상환경을 경험할 수 있다. 또한, 사용자는 입체안경(liquid crystal shutter glasses)과 위치추적(head tracking) 장비를 착용하여 CAVE 내에서의 움직임에 대해 영상이 재구성되므로 고도의 가상현실을 구축할 수 있다.^[1]

2. CAVE의 개요

일반적인 가상현실 시스템의 경우, 망막에 맺히는 상의 크기 조절(가까운 것일수록 크게 보임), 선 원근법(평행선이 한 점으로 보임, 소실점), 섬세도(먼 것일수록 섬세하게 보임), 대기 원근법(먼 거리의 물체는 채도와 명도가 저하됨, 안개효과), 겹쳐짐(전방의 것이 후방을 감춤), 음영(물체 그림자에 의한 요철) 등의 경험적인 원리를 표현하는 일이 가능하다.^[1] 일부의 경우에는 입체 안경을 통해 시차로 인해 생성되는 사물의 입체감을 표현할 수 있다. 그러나 수정체의 초점 조절(상의 핀트 맞추기), 폭주 운동(좌우 양쪽 눈이 목표물을 향해 가운데로 모임), 양안 시차(양쪽 눈의 거리 차에 의한 상의 차이), 단안 운동 시차(관찰자와 대상과의 상대 운동에 의해 생기는 상의 변화) 등의 생리적인 원리를 모두 만족시키기는 힘들다.

HMD(Head Mounted Display)와 BOOM¹ 형태의 시각 제시기는 사용자의 위치를 실시간으로 추적하여, 능동적으로 위와 같은 생리적인 원리를 만족시키는 일이 가능하다. 그러나 머리의 회전이나 끄덕임(nodding)에서의 오차는 오히려 기존의 CRT 모니터보다 높은 오차를 보인다.^[1] 게다가 사용자의 눈과 직접 접촉하므로 눈의 초점을 맞추기가 힘들며, 장비를 사용자가 직접 착용하거나 혹은 구조물을 움직여야 하므로, 사용자의 피로도가 증가하게 된다. 또한, 이들 시스템은 머리의 움직임에 극도로 민감하여, 이에 의해 화면 제시에 대한 시간지연이 증가하여 가상환경 내에서 높은 빈도로 떨미현상을 유발하게 된다.^[1]

그러나 CAVE의 경우 시스템의 측면에서만 살펴보았을 때, 무거운 구조물을 머리에 착용하거나 움직이지 않으므로, 사용자의 피로도가 줄어들며, 기하적인 왜곡 없이 높은 해상도를 얻을 수 있으며, 머리의 모든 움직임에 대해 떨 민감하여 이에 대한 연산 오차를 줄일 수 있다. 또한, 가상현실 내에서 현실의 도구들과 가상의 모델들을 혼합해서 사용하는 것이 가능하다.^[3]

이러한 이유로 Table 1에서 보는 바와 같이 사용자의 상호작용에 대한 인터페이스를 좀더 효율적인 방법으로 제시되는 것이 가능하다. CAVE의 이러한 편리한 인터페이스와 고도의 가시화 특성 때문에 건축물 설계, 우주탐사 모의실험, 파괴모형 가시화, 의료용 환자데이터 기록 열람, 나노 기술 혹은 분자 모델링 등의 축소 설계, GM의 자동차 설계, Motorola사의 제품 충돌실험 등에 사용되고 있으며, 계속해서

¹ Binocular Omni-Orientation Monitor의 약자. 다관절의 링크에 상자 모양의 시각제시기가 연결되어 있다.

Table 1 Main differences in interaction and display between interactive 3D desktop graphics and CAVE system^[5]

Interactive 3D graphics	CAVE system
Screen used as canvas Tele-manipulation 3D to 2D mapping of user's actions No multiple simultaneous interactions Users always aware of interaction	Displays used as 3D space Direct manipulation 3D to 3D mapping of user's actions Multiple simultaneous interaction Interaction is transparent

다양한 응용 사례들이 개발되고 있다.^{[2][4][7]}

3. CAVE의 제작

CAVE는 다수의 컴퓨터와 다수의 프로젝터, 위치추적센서와 입력기들로 구성된 시스템이므로, 이의 운용을 위해서는 서버 클러스터링 기술, 사용자의 움직임을 추적하기 위한 위치 추적 기술, 사용자의 시점과 일치시키기 위한 그래픽 처리기술 외에 시스템의 구축 초기화 단계에서 선행되어야 하는 작업들이 필요하며, 만일 이와 같은 시스템에 적절한 운용계획을 고려하지 않는다면 효율적인 가상현실을 구성할 수 없을 것이다.^{[1][3][5]}

3.1 기본 구조물의 제작

본 시스템의 경우, 2.2m × 2.2m × 2.2m의 정육면체로서 프레임의 재질은 유전율이 작은 상용의 알루미늄 합금을 사용하였다. 또한, 각 구조물은 모서리에서 프로젝터의 투사면에 방해가 되지 않도록 처리하여 연결하였다.

전방 및 좌우 면은 BARCO사의 3기의 프로젝터를 사용하여 후방 투사하도록 구성하였고, 1기의 AMPRO사의 프로젝터가 바닥면을 하향 투사하도록 하였다. 네 대의 프로젝터는 모두 투사거리를 줄이기 위해 굴절이 없는 특수한 거울면을 사용하였는데, 하향투사의 경우 1개의 거울면을 이용하여 바닥면을 투사하고, 나머지 면은 두개의 거울면을 사용하여 투사하게 된다.

그러나 여러 개의 거울면을 사용하면 영상의 밝기가 감소하고 화면의 보정이 어려워지는 단점이 있으므로, 가능한 거울면을 사용하지 않는 편이 좋다. 또한, CRT 프로젝터는 온도나 습도 등에 매우 민감하므로, CAVE의 설치장소의 공간에 대한 고려는 중요한 문제이다.

3.2 화면 보정

스크린 면의 경우에는 빛의 유출을 최소화하며, 또한 후방 투사하므로 앞면에서 볼 수 있도록 see-through back-projection screen을 사용하였다. 바닥면의 경우는 사용자의 무게를 지탱하여야 하므로 백색 계열의 견고한 재료를 사용하여 시스템을 구성하였다. 또한, 하향 투사

에 의한 그림자가 가상현실 구성에 방해가 되지 않도록 하기 위해, 사용자가 일반적으로 활동하는 영역보다 조금 앞에서 투사하여 그림자가 시야에서 보이지 않도록 배려하였다.^[1]

무엇보다 여러 영상이 하나의 영상처럼 보이도록 하기 위해 기본적으로 보정무늬(calibration pattern)를 이용하여 각 면을 보정하는 것이 필요하다. 이러한 보정은 각 면에서 균등한 크기의 픽셀을 유지하도록 하고, 모서리에서 동일한 픽셀 단위로 서로 정합될 수 있도록 하는 것이 중요하다. 본 CAVE의 경우 옆면은 동종의 프로젝터를 사용하였으나, 바닥면을 이종의 프로젝터를 사용하였기 때문에, Fig. 2와 같이 직접 보정 무늬를 제작하여 각 화면을 보정할 필요가 있었다.

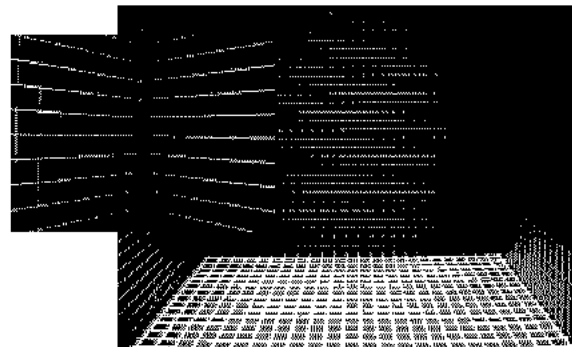


Fig. 2. Calibration pattern

3.3 전체 시스템의 구성

PC의 경우, Windows 플랫폼에서 OpenGL 라이브러리를 사용하는 시스템과, Linux 기반의 OpenGL Performer를 사용하는 시스템을 각기 개발하였다. 화면을 출력하는 렌더링 서버가 4기가 구성되어, 하나의 서버가 하나의 화면을 맡아서 구성한다. 옆면의 경우 해상도가 1024 × 768로 구성하고, 바닥면은 1024 × 1024의 해상도를 구성하도록 하여 가능한 한 높은 해상도를 구현할 수 있도록 하였다. 렌더링 서버는 동일한 갱신률을 제공하기 위해 렌더링 마스터 서버가 보내는 신호를 UDP(User Datagram Protocol) 프로토콜을 통해 갱신되도록 하였다.

디바이스 서버에서는 CAVE 내에서 사용자가

가상환경 내에서 이동할 수 있도록 조이스틱을 제공하고, 조이스틱에 의해 사용자가 가상환경 내에서 위치와 이동 속도 등을 조절하는 것이 가능하다. 또한, 사용자의 위치를 추적할 수 있는 위치추적 장비를 사용하여 CAVE 공간 내에서 사용자의 시선 방향을 알아내는 것이 가능하다. 이외에 CAVE 내에서 사용할 수 있는 여러 장치들^[6]을 렌더링 서버와는 별도로 디바이스 서버를 통해 제어함으로써 렌더링 서버의 화면 갱신률에 지장을 주지 않고, 원하는 기기들을 확장하는 것이 가능하다.^[9]

렌더링 서버와 디바이스 서버간의 통신은 UDP 프로토콜을 이용하여 구축하여 높은 통신 대역폭을 가지고, 시간지연을 줄일 수 있었으며, 디바이스 서버를 통해 정의된 사용자의 이동방향과 사용자의 위치값을 렌더링 서버에서 별도의 쓰레드(thread)를 통해 처리함으로써 화면의 갱신에 영향을 주지 않도록 하였다.^[9]

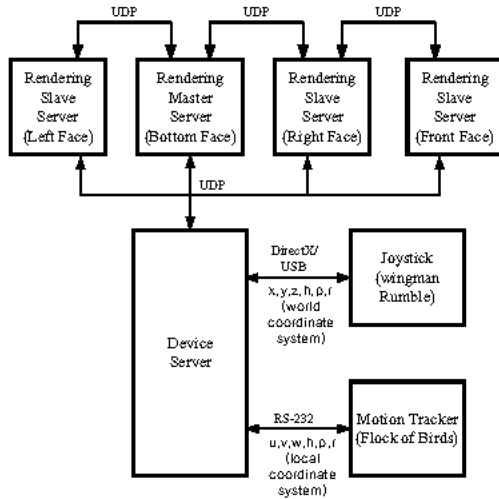


Fig. 3. Communication of CAVE system

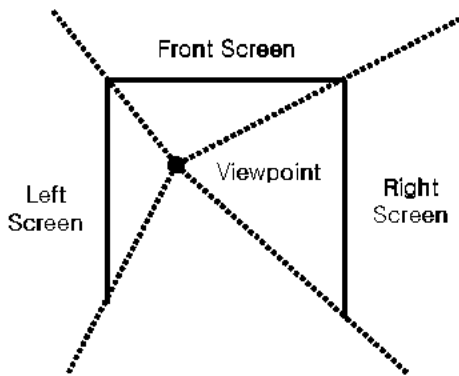


Fig. 4. CAVE projection for each face

3.4 투영기법

CAVE 안에서 참여자의 위치에 따라 각 면에 대한 시야 각뿔(viewing frustum)을 동시에 결정하게 된다. 이 때, 결정되는 시야 각뿔은 사용자의 움직임에 따라 Fig. 4처럼 비대칭의 형태를 가질 수 있다. 뿐만 아니라, CAVE 안에 있는 참여자가 움직이게 됨에 따라 모든 면에 해당하는 시야 각뿔이 다시 조정되어 렌더링 과정에 실시간으로 반영되어야만 한다.^[1]

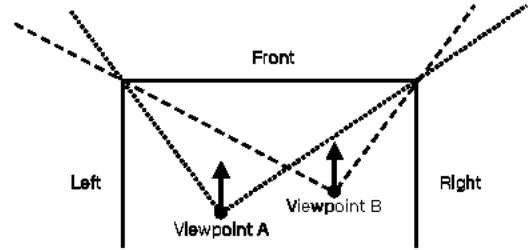


Fig. 5. Difference of view frustum for each Viewer

Fig. 5에서는 사용자의 위치가 A에서 B로 변함에 따라 시야 각뿔의 형태가 변형되는 과정을 나타내고 있으며, 전면뿐만 아니라 다른 모든 면에서도 동일한 효과가 발생한다는 사실을 고려하여야 한다. 이러한 효과를 화면에 제시할 수 있도록 OpenGL에서 다음의 행렬에 의해 원근 투영과정을 기술하게 된다.

$$R = \begin{pmatrix} 2n/(r-l) & 0 & (r+l)/(r-l) & 0 \\ 0 & 2n/(t-b) & (t+b)/(t-b) & 0 \\ 0 & 0 & -(f+n)/(f-n) & -2fn/(f-n) \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

여기서, l, r, b, t, n, f 는 각각 *left, right, bottom, top, near, far*를 의미하고, 이 때의 제한조건은 $l \neq r, t \neq b, n \neq f$ 이다.

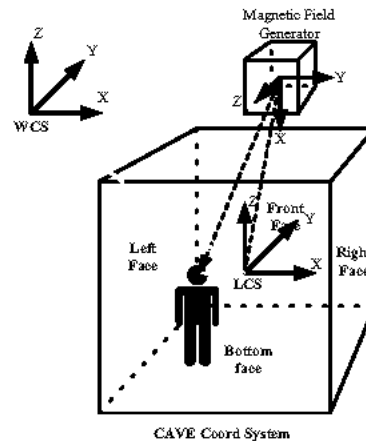


Fig. 6. Coordinate of CAVE

또한, CAVE 안에서 3차원 스테레오 효과를 구현하기 위해서 능동 입체(active stereo) 영상의 경우에 일반적으로 CRT 프로젝터, 액정 입체안경과, 스테레오 발진기(stereo emitter)를 사용한다. 이 장비를 통해 스크린 갱신 비율과 양안의 영상을 동기신호에 맞추어 좌우 액정의 반복 개폐작용에 따라, 합성된 입체영상을 양안에 번갈아 보여줌으로써 사용자에게 마치 실제의 사물을 보는 것과 같은 효과를 생성하게 된다.

본 시스템에서는 SGI Onyx에서 이러한 방식을 통해 전면에서 스테레오를 실현하여 검증하였고, PC에서는 CAVE의 한 면에 대해서 Another World사의 "Another Eye 2000"을 사용하여 싱크 더블링(Sync-Doubling)²을 통해 입체영상 효과를 구현하였다.

3.5 사용자의 위치 추적

본 시스템에서 사용한 위치추적 장비는 Ascension Technology Corporation사의 "Flock of Birds"라는 제품을 사용하였다. 공간상의 6자유도를 제공하는 2개의 센서를 사용하며, 하나의 센서는 공간에서 사용자의 위치와 시선 방향을 추적하도록 하고, 나머지 센서는 조이스틱의 위치를 추적하도록 하여, 사용자 환경을 구축하였다. 이러한 센서의 위치 추적 반경은 약 2.5m이로 CAVE내의 전영역에서 높은 분해능의 정밀도를 가진다. 또한, 컴퓨터와는 별도로 초당 144번의 위치와 자세에 대한 연산을 수행하여 디바이스 서버로 전달하는 역할을 수행한다.

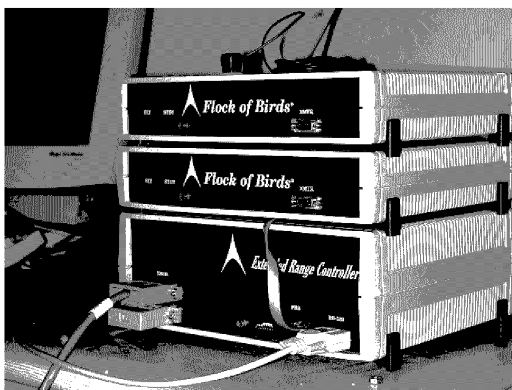


Fig. 7. Flock of Birds system

² 양안의 그래픽 출력을 프레임 버퍼의 상하로 나누어 왼쪽 영상은 프레임 버퍼의 상단에 오른쪽 영상은 하단에 출력하여 스테레오 효과를 구현하는 기술.

이 제품에서의 자장 발진기의 경우 직류전류를 사용하여 교류전류 방식의 위치추적 장비를 사용했을 때 나타나는 주변기기와의 자기장 왜곡을 줄였다. 그러나 알루미늄재질의 CAVE 프레임에서 유도전류가 발생하여 각 프레임의 연결부위를 모두 부도체로 차단시킴으로써 문제를 해결하였다.

이러한 위치 추적 장비는 눈의 위치를 정확히 측정하여 원근감과 시차 등 앞서 논의한 정밀도 높은 가상현실을 구현할 수 있도록 한다.^{[1][8]}

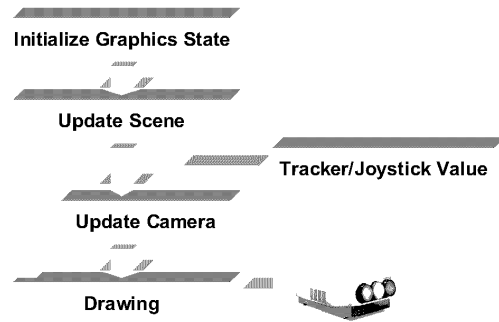


Fig. 8. Flow chart of CAVE system

4. 결론 및 향후 계획

CAVE 시스템은 기존의 가상현실 시스템이 보완해야 할 과제인 능동적인 화면제시를 구현함으로써, 사용자에게 보다 높은 가상현실을 제공한다. 이를 통해, 설계 및 자료의 가시화와 오락 및 여가 사업 등에 이용될 수 있을 것이다. 또한, 여러 개의 CAVE 시스템을 연결하는 작업을 수행함으로써, 각 사용자들은 보다 현실감 있는 원격작업을 수행할 수 있을 것이다.

KIST CAVE의 경우, 음향 및 음성 영역을 삽입하여 현실감을 높이고, 국내외의 CAVE 시스템과 원격작업을 수행할 수 있도록 하여야 할 것이며, CAVE내에서 여러 장치들과 가상의 물체를 결합하는 작업을 수행해야 할 것이다.

후기

본 연구는 감성공학 기반기술 개발사업의 지원 하에 연구되었음.

참고 문헌

[1] DeFanti T. A., "Surround-Screen Projection-based Virtual Reality : The Design and Implementation of the CAVE," In proceedings Siggraph. ACM SIGGRAPH, 1993.
 [2] Leigh, J., "A Review of Tele-Immersive Applications in the CAVE Research Network," Virtual Reality, 1999. Proceedings., IEEE , pp. 180-187, 1999.

[3] Eckel, G., "Benches and Caves," Industrial Electronics Society, 1998. IECON '98. Proceedings of the 24th Annual Conference of IEEE , Volume: 4, pp. 1996-1999, 1998.

[4] Zaiane, O., Ammoura, A., "On-line Analytical Processing while Immersed in a Cave," User Interface to Data Intensive Systems, 2001. UIDIS 2001. Proceedings, Second International Workshop on , pp 102-115, 2001.

[5] Jurriaan D. Mulder, Robert van Liere and Jarke, "Computational steering in the CAVE," Future Generation Computer System, Volume 14, pp. 197-207, 1998.

[6] Cai, Y., Ishii, M., Sato, M., "A Human Interface Device for CAVE : Size Virtual Workspace," Systems, Man and Cybernetics, 1996., IEEE International Conference on , Volume: 3 , pp. 2084-2089, 1996

[7] Cruz-Neira, C., "Scientists in Wonderland : A Report on Visualization Applications in the CAVE Virtual Reality Environment," Virtual Reality, 1993. Proceedings., IEEE International Conference on , Volume: 3 , pp. 2084-2089, 1996.

[8] Kida, K., Ihara, M., Shiwa, S., Ishibashi, S., "Motion tracking method for the CAVE system," Signal Processing Proceedings, 2000. WCCC-ICSP 2000, 5th International Conference on, Volume: 2 ,pp. 859-862, 2000.

[9] 박창훈, 박경동, 고희동, "가상현실 시스템을 위한 외부 모듈 인터페이스의 개발," HCI 학술대회 논문집, pp. 351-355, 1999.

[10] 진중욱, 고희동, "시각 제시에 근거를 둔 다중 감각 제시 통합 방법론," 한국감성과학회 추계학술대회 논문집, pp. 185-188, 2000.



(a)



(b)

Fig. 9. (a) PC screen (b)CAVE screen