

□ 특 집 □

인공현실감의 인간공학적 측면

한국표준과학연구원 이남식*·윤정선*·박재희

● 목 차 ●

I. 서 론	
1.1 가상의 현실	
II. 인간의 감각과 현실감	
2.1 현실감이란?	
2.2 인공현실감에 있어서의 인간요소	
III. 인간감각의 생리심리학적 특성	
3.1 시각의 특성	
3.2 청각의 특성	
3.3 촉각의 특성	
3.4 가상세계에서의 공간인식(Spatial perception)	
	3.5 감각의 융합
	IV. 가상세계 및 가상객체와의 상호작용 메타포
	4.1 가상세계 및 가상객체의 추상화 정도
	4.2 가상세계와의 상호작용 메타포
	V. 입출력 장치의 인체적합도와 안전성
	5.1 개인차와 입출력 장치
	5.2 인공현실감의 안전, 보건상의 문제점
	5.3 Cybersickness
	VI. 인공현실감의 성능향상

I. 서 론

1.1 가상의 현실

인간의 특징중에 하나는 꿈을 가진다는 것이며 누구든지 상상의 나래를 마음껏 펼칠수 있다는 것이다. 이러한 인간의 욕구를 채워줄 수 있는 수단으로써 연극과 영화를 들 수 있는데, 연극은 이미 수 천년의 역사를 가지고 있으며, 영화는 약 100여년 전 에디슨에 의해 활동사진이 발명된 이래 약 50년전부터 새로운 커뮤니케이션 수단으로 자리잡게 되었다. 연극이나 영화를 통하여 관객들은 울기도하고 웃기도하면서 그 내용 속으로 몰입된다. 특히 영화의 경우 등장인물, 배경, 줄거리의 대부분이 가공(fiction)임에도 불구하고 관객들은 영화가 제공하는 시각적인 효과와 음향효과, 臺詞를 통한 상황(context)의 전개 등을

통하여 잠시나마 영화속의 세계로 빠져들게 된다. 이와 같이 우리들은 이미 인위적인 현실감을 체험해본 경험을 가지고 있다. 다만 이러한 현실감은 수동적이며, 따라서 “나”는 가상세계(virtual world)의 관찰자일 뿐 가상세계와의 어떠한 상호교류(interaction)도 불가능하다. 내가 영화속 주인공의 상대자가 될 수는 없을까? 또는 나의 역할에 따라 영화의 방향이 전혀 다르게 진행되도록 할 수는 없을까? 하고 누구든지 상상해 볼 수 있겠다. 오늘날 인공현실감 연구의 궁극적인 목표는 아마도 이러한 꿈을 실현하는데 있다고 할 수 있겠다. MIT의 Zeltzer[7]는 인공현실감의 세가지 요건을 臨場感(presence, being there), 자율성(autonomy), 그리고 상호작용(interaction)으로 정의하였다. 입장감은 영화속의 세계를 실제처럼 느끼는 것이고, 자율성은 영화속 배역이나 물체들이 스스로 움직일 수 있는 것이며, 상호작용은 나와 영화속 배역들이 의사소통을 하

* 정회원

거나 영화속 물체들을 조작할 수 있는 것을 의미한다. 입장감, 자율성, 상호작용 세 요소 모두가 충실히 구현되어 어느 것이 현실이고 가상인지를 구별하기 어려울 때 이러한 상태를 궁극의 인공 현실감이라 할 수 있다.

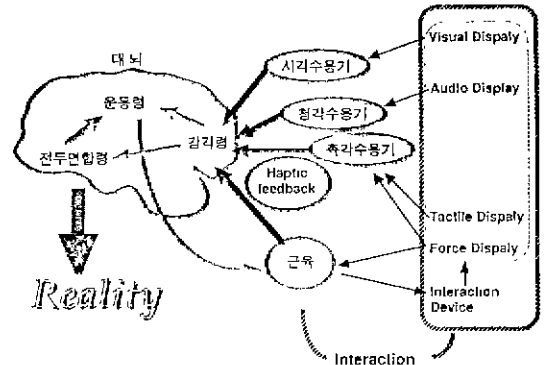
물론 현재의 기술로서는 꿈같은 이야기이며 인공현실감의 어느 요소하나 제대로 구현하기가 어려운 것이 사실이나 이미 1960년대에 가상의 체험을 기계적으로 맛 볼 수 있도록 하는 *Sensorama*라고 하는 가상체험기가 등장하였으며, 입체영화도 이미 1950년대부터 상업화 되기 시작하였다. 또한 컴퓨터의 개발초기인 1960년대에 *Sutherland*는 *Head Mounted Display(HMD)*를 개발하고 이를 훈련용 시뮬레이터에 사용하였다 [4]. 이처럼 인공현실감기술은 컴퓨터의 출현과 함께 이미 수십년간에 걸쳐 점진적으로 발전되어오는 과정에 있으며 따라서 현재에는 불가능해 보이지만 인간의 꿈을 실현하기 위하여 인공현실감의 제반 기술은 끊임 없이 발전될 것으로 전망된다[2].

본고에서는 현재의 제약적인 기술하에서 인공 현실감을 보다 효율적으로 구현하기 위한 여러 가지 기술적인 측면 중에서 특히 인간공학적인 부분을 조명해 보고자 한다.

II. 인간의 감각(五感)과 현실감

2.1 현실감이란?

현실감(reality), 또는 *臨場感(presence)*이라는 것은 인간이 외부로부터 받아들이는 자극에 의하여 야기되는 다분히 주관적이며 심리적인 현상이다. *臨場感*을 극대화 시키기 위해서는 우선 전달되는 감각정보의 양과 질이 충분해야하고, 가상세계로부터의 감각궤환(sensory feedback)을 사용자가 자유롭게 조종할 수 있어야 하며, 동시에 가상세계와의 상호작용이 가능해야 한다 [8]. 따라서 인위적으로 현실감을 창출할 때 인간감각의 특성 및 인식(perception) 특성에 관한 고려가 없이는 인공현실감을 만들어내거나 향상 시키기 어려우므로 인간공학적인 연구가 매우 중요하다고 할 수 있겠다[1].



(그림 1) 인공현실감을 위한 감각의 대체.

2.2 인공현실감에 있어서의 인간요소

일반적으로 인공현실감을 창출하기 위해서는 그림 1에서와 같이 인간의 감각기관에 입력되는 감각들을 인공적인 감각자극들로 대체하여야 한다. 시각을 대체하기 위한 HMD나 청각을 대체하기 위한 3차원 음향 디스플레이를 사용하고 거기에다 촉각 디스플레이, 힘궤환(force feedback) 디스플레이, 후각 디스플레이 등 각종 감각제시 장치를 덧붙이면, 제시되는 감각 자극과 함께 상호작용의 궤환정보가 대뇌피질에 전달되고 종합되어 현실감을 느끼게 된다.

그러나 현실에서 제공되는 감각을 똑같이 만들어 내기란 어려운 일이므로, 우선적으로 인간의 생리심리학적 특성 및 상호작용 방법 등의 인간공학적 요소들이 검토되어, 인간의 감각 능력 및 습성과 현재의 기술수준 간의 타협점이 만들어져야 하겠다. 따라서 본고에서는 다음과 같은 인공현실감과 관계된 인간공학적 요소들에 대하여 언급하기로 하겠다.

- (1) 시각, 청각, 촉각 등 인간감각의 생리심리학적(psychophysical)인 특성
 - 감각기관들의 공간적 해상도(spatial resolution)
 - 감각기관의 적응(adaptation)
 - 감각의 융합
 - 인식구조(perceptual organization) 및 인식 단서(perceptual cues)
- (2) 가상세계 및 가상객체와의 상호작용 메타

감각기관	자극의 종류	디스플레이	현재의 기술수준
시각	기시광선 (400 700nm)	CRT monitor Projection screen HMD Direct retinal image Holography	0 ██████████ 100
청각	음파 (20 Hz - 20KHz)	Speaker (Surround sound) Headphone (3D HRTF audio)	██████████ ██████████
촉각	힘, 진동, 표면질감, 온도	Force feedback Vibrating array Tactor array Heater/Cooler/Fan	██████████ ██████████ ██████████ ██████████
후각	화학적인 방향성분	Aromatic display (특정 방향 성분) Interactive universal aromatic display	██████████ ██████████
평형감각	가속도	Motion Base Gravity alternation	██████████ ██████████
체성감각 (Proprioceptors)	자세	Exoskeleton with forced movement Viscosity controlled suit	██████████ ██████████
내부감각 (Interoceptors)	체내상태 (배고픔, 목마름, 피로)	Direct neural connection Hormonal display	██████████ ██████████
미각	향미성분	Display based on 7 basic taste chemicals	██████████

(그림 2) 인간의 감각기관과 현실제공 디스플레이의 수준.

포

- 가상세계 및 가상객체의 추상화 정도(충실도)
- 가상객체와의 상호작용 메타포
- 가상세계 내에서의 운항제어

(3) 각종 디스플레이나 입출력 장치의 인체적 합도

- 입출력 장치의 크기, 형상 등이 인체특성과 부합되는지의 여부
- 이러한 기기들이 유발시키는 피로에 대한 검토
- 안전 및 보전상의 문제점(motion sickness 등)

(4) 인공현실감의 성능 평가(performance evaluation)

- 현실감에 대한 객관적, 주관적 평가 기준
- 경험전달 효과(learning efficiency)
- 가상세계에서의 작업성능(task performance)

그림 2에서는 인간의 감각기관과 현실감을 제공하는데 쓰이는 디스플레이의 종류와 현재의

기술수준을 보여주고 있는데 앞으로 기술적으로 해결해야 할 많은 문제들이 있음을 알 수 있다.

III. 인간감각의 생리심리학적 특성

3.1 시각의 특성

우리가 외부로부터 받아들이는 자극은 70%가 視覺을 통하여 20%는 聽覺을 그리고 嗅覺 5%, 觸覺 4%, 味覺 1%의 순으로 전달된다고 한다 [4]. 자극의 강도나 상황에 따라 특정 감각이 다른 감각에 비하여 우세한 역할을 할 때도 있으나, 가장 많은 양의 정보가 시각을 통하여 전달되며 시각이 현실감에 미치는 영향이 가장 크다고 할 수 있다. 따라서 시각에 인위적으로 현실감을 제공하기 위해서는 영상의 질이나 크기 또는 영사속도, 주어진 임무에서 요구되는 시각적 암시(visual cue) 특성등에 대한 이해가 필요하다[25]. 특히 인공현실감의 상징처럼 되어 있는 HMD는 눈과 디스플레이의 밀착, 머리위치추적장치(head position tracking system)의 입력에 따른 입체영상의 제시를 통하여 몰입감(immersiveness)을 제공하는데 이러한 HMD의 설계를 위해서는 시각에 대한 이해가 필요하다.

우리 눈은 대단히 민감하여 10³ cd/m²의 밝기하에서 중심시 부근(시야의 중심 2°에서 1.0~2.0 (시각 0.5~1 min 간격을 식별)의 시력을 가지고 있으며 주변시 영역(중심시 주변의 20°)에서는 0.3 (시각 3 min의 간격을 식별) 정도의 시력을 가지고 있는데, 중심시를 충분히 만족시키기 위해서는 디스플레이의 해상도가 약 90 line/degree 정도는 되어야 하며 적어도 15 line/degree 정도는 되어야 불편함을 느끼지 않는 것으로 알려져 있다[13]. 그러나 현재의 HMD에 사용되고 있는 300×200 pixel 정도의 LCD는 겨우 2.5 line/degree 정도의 영상을 제공할 뿐이어서 현실감의 생성에 큰 장애가 되고 있다[19].

인간의 시야가 좌우로 200°, 상하로는 120° 정도인데 반하여, 대부분의 디스플레이들은 이

보다 훨씬 작은 범위의 시야(일반적으로 $100^\circ \times 80^\circ$ 정도)를 제공하므로 이를 늘리기 위해 특별한 광학계를 사용하여야 한다. 그러나 지나치게 시야를 늘리다 보면 화면의 변두리 부분에서 렌즈에 의한 왜곡이 심해지고, 최근의 연구결과에서도 현재의 평면디스플레이를 가지고 광학계를 사용할 때 좌우시야를 100° 이상으로 늘리면 왜곡현상 때문에 오히려 현실감이 상실되는 것으로 알려져 있다[14].

입체시도 현실감을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 가까운 거리의 입체감은 좌우 망막에 맺히는 映像의 차이(retinal disparity), 두눈이 물체의 위치에 따라 초점을 맞추는 과정(조절작용, accommodation)과 안구를 움직이는 과정(폭주, convergence)에서 발생하는 암시(cue)에 의해 나타나게 된다. 그런데 입체 디스플레이는 좌우가 다른 영상을 인위적으로 제공하지만 눈에서 像까지의 거리가 항상 일정하므로 초점 맞추기나 안구운동이 비정상적으로 되는 문제가 있다. 또한 10m 이상의 거리에 대한 입체감은 두눈에 맺히는 영상의 차이 보다는 물체의 크기, 질감(texture), 선형원근(linear perspective), 또는 운동시차(motion parallax) 등에 의해 형성되므로 원거리인 경우 입체 디스플레이가 반드시 필요한 것은 아니다[13].

3.2 청각의 특성

시각과 함께 청각을 통한 자극의 제공은 보다 현실감을 증가 시키는데 중요한 역할을 한다[9]. 실세계에서의 모든 상호작용에는 음향이 수반되며, 음향효과가 물체와의 접촉, 위치파악 등에 크게 도움을 준다.

사람은 음원으로부터의 소리가 양쪽 귀에 도달하는 시간의 차이(ITD; Interaural Time Difference), 크기의 차이(IIT; Interaural Intensity Difference) 및 주파수별 감쇄특성(FIR; Finite Impulse Response)의 차이에 따라 음원의 위치를 인식하게 되는데, 外耳(pinnae)에 도달하는 소리의 특성(HRTF; Head Related Transfer Function)을 모형화하여 인위적으로 재생함으로써, 입체음향(Synthesized 3D audio)을 자유로이

생성할 수 있다(그림 3).

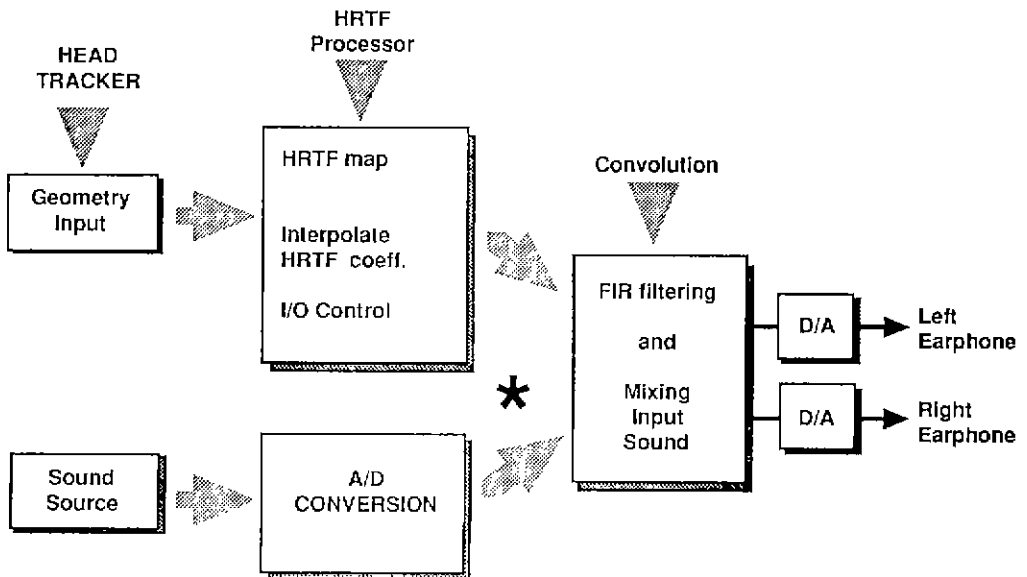
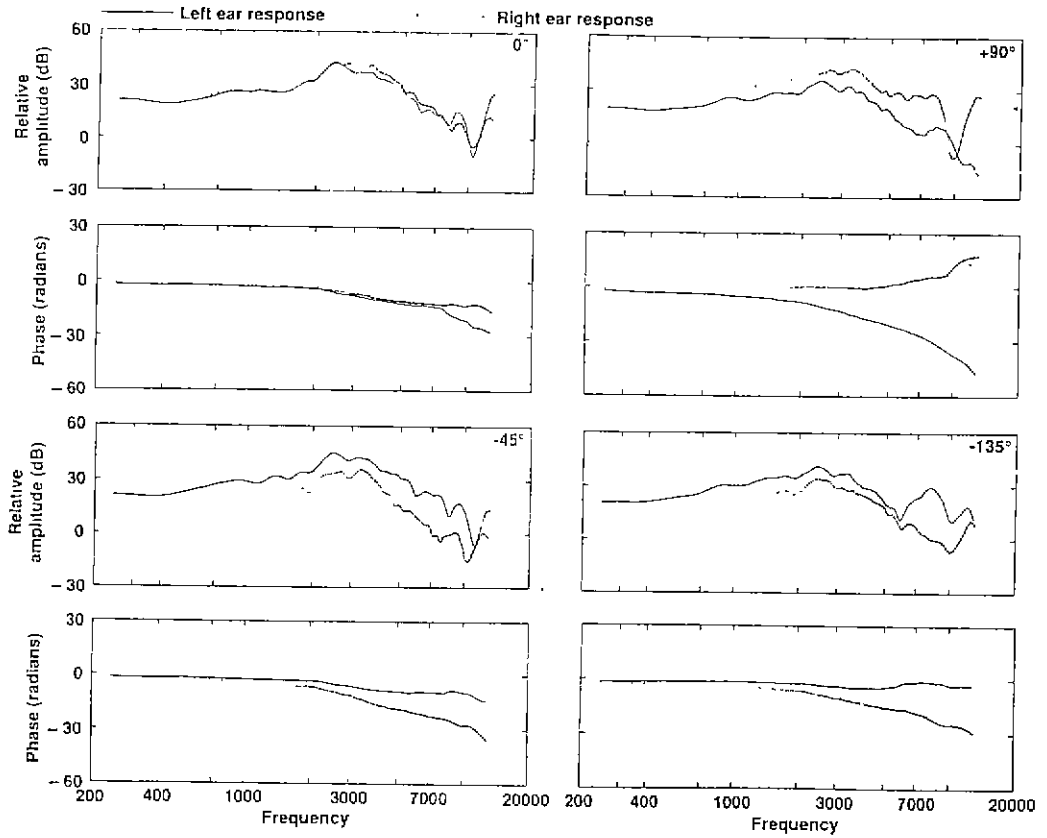
3.3 촉각의 특성

촉각은 가상세계에서 물체와의 상호작용에 있어 중요한 역할을 한다. 특히 가상환경의 확장인 원격조작(telemanipulation)의 경우 더욱 중요하다[6]. 수작업(장갑을 끼거나 하여)을 할 때 손가락에 촉각적인 감각이 없으면 작업수행 시간, 작업중 발생오류의 수, 에너지소모량 등이 증가하는 것으로 보아 촉각적 cue가 중요하다는 것을 알 수 있다(그림 4). 일반적으로 손가락은 0.5 N(Newton)의 힘의 변화, 0.2 N/cm^2 의 압력의 변화를 감지 할 수 있으며, 최대 30~50 N의 힘을 낼 수 있으나 지속적으로는 4~7 N의 힘을 유지 할 수 있다. 현재 제안된 촉각cue환의 방법으로는 시각, 공압(pneumatic), 진동(vibrotactile), 전기자극(electro-tactile)과 신경자극(neuro-muscular stimulation) 등이 제안되고 있다.

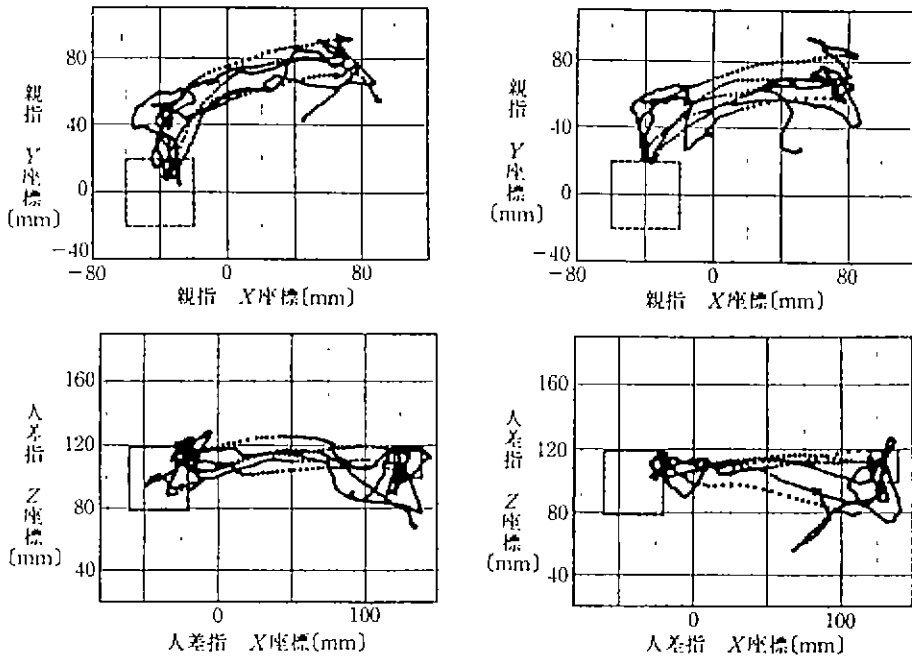
3.4 가상세계에서의 공간인식(Spatial perception)

가상세계에서의 공간인식에 대한 최근의 연구[12]에 의하면 실제에서 보다 거리나 크기를 작게 인식하는 경향이 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 몰입형의 인공현실감 시스템에서는 수평방향의 경우 실제보다 20%까지 작게 평가하는 것으로 나타났다. 이것은 몰입형의 HMD의 시야가 좁아 상대적으로 길이가 과소평가되며, HMD의 경우 눈이 디스플레이의 끝부분에 머물게 될 때의 왜곡과 walk-through에 대한 감각cue환이 없어 특히 수평방향의 거리 인식에 오차가 생기기 때문이다.

따라서 현재로는 데스크탑 형태의 인공현실감 시스템이 몰입형에 비해 공간지각의 측면에서 유리할 것으로 보인다(그 외에도 화질, 경제성 등에서 유리함). 그러나 앞으로 고해상도의 소형 디스플레이가 나오게 되면 몰입형의 장점을 충분히 살릴 수 있을 것으로 예상되며 외부의 세계와 융합시키는 augmented reality도 가능해질



(그림 3) 3차원 입체음향의 원리



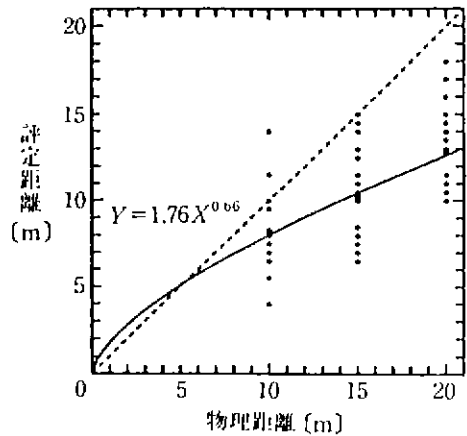
(그림 4) 촉각제한에 따른 가상물체와의 상호작용 (a) 촉각제한이 없는 경우 보다 (b)촉각제한이 있는 경우 물체와의 정확한 접촉이 가능하며 손이 움직인 전체 거리도 줄어드는 것을 알 수 있다(네모는 가상의 box 객체).

것으로 보인다[26].

그림 5에서는 가상세계에서 walkthrough 사용자 느끼는 거리와 실제거리와의 차이를 보여주고 있다.

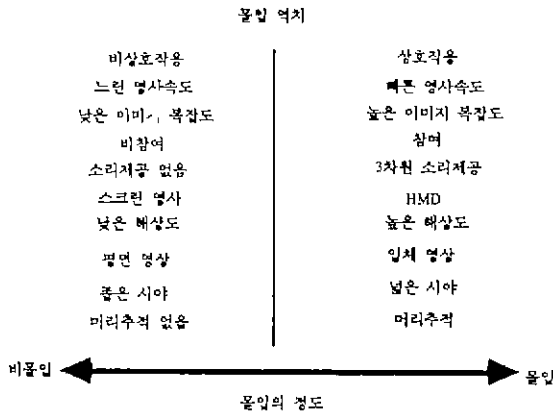
3.5 감각의 융합

가상세계로의 몰입에 관여하는 인자들은 그림 6과 같이 매우 다양한데 모든 인자들이 균형을 이루어야 효과적으로 몰입감을 얻을 수 있다. 따라서 시각과 청각, 또는 시각과 몸의 움직임 사이의 동기화(synchronization)는 현실감에 큰 영향을 미친다. 시각과 음향사이의 200 msec 이상의 불일치는 쉽게 인지되어 부자연스러운 느낌을 준다. 또 몸의 움직임과 디스플레이되는 내용사이에 100 msec 이상의 지연이 발생되면 사용자들의 움직임이 이러한 지연에 적응하기 위하여 느려지고 조심스러워지며 특히 머리의 움직임에 비하여 화면의 움직임이 지연되는 경우 멀미를 일으키게 된다[22].



(그림 5) 가상세계에서 사용자가 느끼는 거리와 실제거리와의 차이.

한편 Bolas [15]는 회화적인 사실성을 높이지 않고도 사용자들이 현실감을 충분히 느끼며 가상세계에 몰입할 수 있도록 하는 것이 가능함을 보였으며 Belasco [15]는 여러 감각기관이 동시에 인위적으로 자극될 경우 오히려 가상세계



(그림 6) 몰입에 기여하는 인자들.

로의 몰입이 어려워지게 됨을 관찰하였다. 즉 가상세계내에서의 사용자들의 역할(role)을 잘 정의하고 가상세계에서의 상호작용에 관한 메타포설정을 잘하면 보다 경제적으로 현실감을 창출하는 것이 가능하다고 할 수 있다.

IV. 가상세계 및 가상객체와의 상호작용 메타포

가상세계에서는 가상 객체들뿐 아니라 사용자가 하나의 참여자로 존재하게 되므로, 사용자가 가상세계 안의 여러 객체들과 상호작용을 할 수 있어야 한다. 따라서 가상세계 내에서 사용자가 현실과의 거리감을 느끼지 않고 활동할 수 있는 상호작용 방법의 고안이 중요한데, 이러한 상호작용 방법을 설계하기 위해서는 여러 기술적인 제약점들을 고려하여 적절한 상호작용 메타포를 선정하고, 가상세계 내에서 사용자의 활동을 어떻게 제어할 것인가에 대한 연구가 필요하다.

4.1 가상세계 및 가상객체의 추상화 정도(총실도)

인공현실감의 총실도(fidelity)는 얼마나 효과적으로 현실감을 제공하고 또한 경험의 질이 실제와 얼마나 비슷한가를 나타내는 척도로서, 다음과 같이 세가지로 분류될 수 있다[27].

(1) 회화적 총실도(pictorial fidelity) : 영상이 얼마나 충실하게 표현 되었는가, 즉 얼마나 사실적으로 표현 되었는가를 나타낸다.

(2) 변환 총실도(transformational fidelity) : 가상세계 내에서의 상호작용 방법들이 특수상황에 관계 없이 얼마나 일관성이 있는가? 예를 들면 방안을 walkthrough 한다고 할때 책상 서랍을 여는 방법과 캐비닛 문을 여는 방법이 유사하다면 변환 총실도가 높다고 볼 수 있겠다.

(3) 동적 총실도(dynamic fidelity) : 가상세계에서의 상호작용 방법이 실제세계에서의 방법과 얼마나 유사한가를 나타낸다.

이러한 총실도는 인공현실감이 출현하기 전에 이미 시뮬레이션 분야에서 제기된 문제이고, 총실도와 시뮬레이션 효과에 관한 연구도 현재 상당수준 진척되어 있다. 여러 연구자들이 시뮬레이터의 효율성(총실도와 훈련효과와의 관계, 총실도와 비용과의 관계 등)에 대하여 비교 연구를 하였고, 대부분이 공통된 결론을 내리고 있다[18]. Robert B. Miller(1954)는 시뮬레이터의 회화적 총실도가 그것을 구현하는데 드는 비용과는 밀접한 관계가 있지만, 시뮬레이터의 효율성과는 정비례하지 않는다고 주장한다. 영상의 현실감을 단계별로 나누어 점차 높여 갈때 비용은 급속도로 증가하지만 효율성은 그렇지 않다. 따라서 회화적 총실도는 낮더라도 인간행동에 관한 연구를 반영하여 변환 총실도나 변환 총실도를 높인다면 적은 비용으로도 더 높은 효과를 볼 수가 있다.

인공현실감은 인간이 컴퓨터가 만들어주는 세계를 경험한다는 측면에서 보다 확장된 개념의 시뮬레이터라고 볼 수 있으므로, 이러한 문제는 인공현실감에서도 고려해 볼만한 문제이다. 가상세계를 구현하는데 있어서도 그 추상화의 정도를 어느정도로 하는 것이 공학적인 측면, 경제성, 몰입 효과 등과의 균형을 맞추는데 효과적인지 실험 연구가 필요하다. 시뮬레이션의 경우와 마찬가지로 고화질의 영상이 반드시 가장 좋은 몰입감을 준다는 보장도 없고, 고화질의 영상은 그만큼 가상세계의 수행속도를 떨어트림으로 시간 지연을 초래할 수 있기 때문이다. 무엇보다도 고화질의 영상을 제공하기 위해서는

많은 비용이 필요하다.

현실세계에서 객체를 다루는 상호작용 방법을 가상세계에 똑같이 구현하기 위해서는 많은 기술적 제약과 비용의 문제가 따르므로, 동적 충실도를 어느 정도로 해주는 것이 효율적인가는 것도 연구가 필요하다. 자유롭게 가상의 방을 실제의 방을 다니듯이 걸어다니거나, 몸으로 제스처를 취하여 가상의 객체와 의사소통을 하고, 가상의 객체를 실세계에서와 같은 방법으로 조작하는 것. 이러한 것들은 여러 기술적인 측면에서도 아직 불가능한 부분이 많다.

이와같이 가상세계 내에서의 상호작용을 추상화 하는 것이 효과적이므로 상호작용 메타포의 선정은 매우 중요한 의미를 갖는다.

4.2 가상세계와의 상호작용 메타포

가상세계와의 상호작용 메타포에 대해 기술하기 전에 가상세계에서 필요한 상호작용에는 어떠한 것들이 있는지 분류 설명하기로 하겠다.

(1) 운항(navigation)

운항은 viewpoint를 3차원 공간 안에서 바꾸는 것을 말한다. 즉, 가상세계 안을 돌아다니면서 이곳 저곳을 탐험하는 것을 말하며, 가상세계 안에서 걸어다니고, 공간 위를 날아다니고, 회전하고, 위로 혹은 아래로 오르락 내리락 하는 것들이 이동에 포함된다. 따라서 navigation은 사용자가 가상세계를 경험하는데 있어서 가장 기본적인 상호작용 방법이라 할 수 있다. 사용자가 navigation하는 중에 길을 잃어버리는 경우가 종종 있어서 운항시 길 안내에 관한 연구도 아울러 진행되고 있다.

(2) 선택(selection)

선택은 3차원 세계 안에서 어떤 동작을 취하기 위해서 특정 요소를 취하는 것을 말한다. 벽의 색깔을 바꾸기 위해서 벽을 선택한다거나, 가상세계 안의 객체를 손으로 집어 올리기 위해서 선택한다거나 하는 것들이 이에 속한다.

(3) 조작(manipulation)

조작은 객체를 선택한 후 그 객체에 대해 행위를 취하는 것을 말하며, 객체를 옮기고, 회전시키고, 모양을 바꾸고 하는 것들이 이에 속한다. 객체를 손쉽게 조작하기 위해서는 상호작용 디바이스와 밀착성이 유지되어야 한다. 따라서 가상세계 안에서 자연스럽게 객체를 조작할 수 있는 하드웨어 장치가 필요하고, 이런 장치를 보완할 수 있는 소프트웨어적 방법이 중요하다. 그리고 객체를 옮기는 것도 객체의 종류에 따라 여러가지 방법이 있을 수 있으므로 객체에 따라 자연스러운 조작방법이 고안되어야 한다.

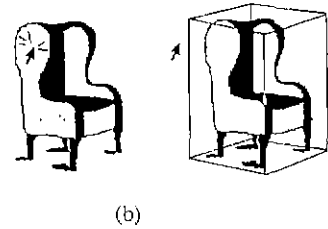
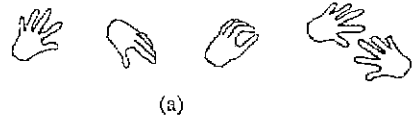
(4) 명령(command)

명령은 객체를 선택한 후 버튼을 조작하거나, 스틱을 돌리거나 해서 특정 행동을 하도록 지시하는 것으로 어떤 물체의 색깔을 바꾸는 등의 일을 명령할 수 있다. 명령을 내릴 때에 하드웨어 디바이스 등을 사용할 수도 있겠지만 HMD를 착용할 경우 사용자는 바깥 세계를 볼 수 없으므로 키보드 등의 디바이스는 명령 도구로 사용할 수 없다. 이러한 경우를 위하여 3차원 메뉴 방법이 연구되고 있다. 이것은 모니터 화면 상의 2차원 메뉴를 선택하는 방식과 유사하게 가상세계의 공간 상에서 3차원 메뉴박스를 선택하도록 하는 것이다. 무엇보다도 가장 이상적인 방법은 음성으로 명령을 내리는 것이다. 그러나 음성을 이용한 명령에는 현재의 인공지능 분야의 음성인식 및 자연어 처리 기술 수준을 볼 때 아직 요원한 일이다.

표 1은 각각의 상호작용 방법에 사용될 수 있는 디바이스들을 구분하여 정리하였다. 위에서 언급한 네가지 상호작용을 현재의 입출력 디바이스로 실세계에서 하는 것과 똑같은 방법으로 수행하는 것은 불가능하다. 따라서 위의 상호작용을 현재의 기술수준으로 구현하기 위해서는 입력장치의 종류(mouse, 3D-mouse, 3D-trackball, glove, position tracker 등)에 따라 다양한 상호작용 방식을 고안하는 것이 필요하다. 실제에 가장 근접하게 하기 위해서는 손의 제스처를 감지하는 glove와 가상세계의 객체와의 상호작용을 느끼게 해주는 촉각피드백(tactile feedback)이 있어야 한다. 또한 실감나는 운항(navigation)

〈표 1〉 상호작용 방법과 해당 디바이스

interaction methods	interaction devices
navigation	glove, 3D position tracker, force ball, treadmill, keyboard, 3D mouse
selection	glove, 2D/3D mouse, keyboard
manipulation	glove, 3D position tracker, 2D/3D mouse keyboard
command	glove, keyboard, 2D/3D mouse, microphone(speech)



(그림 7) (a) Houde의 narrative hand (b) bounding box의 이용.

을 위해서는 treadmill과 같은 장치가 필요하고, 가상세계로부터 운동 피드백을 얻기 위해서는 motion base와 같은 장치도 필요하다. 그러나 손짓의 센싱 및 인식과 촉각피드백(tactile feedback)은 아직은 경제적이지 못하며 팔이 피로해진다는 단점이 있고, treadmill이나 motion base도 경제성과 기술성을 고려할 때 아직 만족할만한 수준은 아니다. 따라서 현실과의 유사성은 다소 떨어지더라도 효과는 그에 필적할만한 메타포의 발견이 중요하다.

Houde는 2차원 환경하에서 인터페이스 도구로 널리 쓰이고 있는 마우스를 가지고 3차원 물체를 옮기는 방법에 대한 연구를 하였다[16]. 그는 커서를 narrative hand(조작의 각경우의 의미를 표현하는 손 모양들)로 바꾸어서 사용자로 하여금 물체의 조작 방법을 스스로 터득하게 하였고, 물체에 3차원 bounding box를 입혀서 조작하도록 하는 것이 3차원 조작에서 도움이 된다는 결과를 얻었다(그림 7). 또한 필요에 따라서는 물체의 조작에 있어서 불필요한 자유도는 제한하는 것이 더 효율적이라는 결과도 얻었다. 이러한 점들은 제한된 입력 디바이스를 가상세계의 상호작용 도구로 사용하고자 할 때 적용 가능하다.

한편 가상세계의 walk-through를 제어하는 메타포로서 glove의 제스처 보다는 몸의 기울

어짐을 head tracker를 이용 감지하여 전후좌우의 방향제어 메타포로 사용하는 것이 바람직하다는 결과도 있다[17]. virtual body를 등장시키거나, 3차원 커서를 등장시켜서 사용자의 움직임과 진행방향을 파악하게 하는 것도 walk-through를 제어하는데 도움이 된다. 이러한 방법은 현실의6 방법과는 다르므로 동적 충실도는 낮지만 사용자가 가상세계에서 자신의 위치를 찾는 데 도움을 줄 수 있다. 시각적 디스플레이에 의한 방법 외에 적절한 음향을 삽입하는 것도 효과적인 메타포가 될 수 있다.

일반적으로 사용자가 쉽게 친숙해질 수 있는 메타포는 실제와의 유사성이 덜하더라도 쉽게 적응이 가능하므로 기술적인 제약 때문에 실제와 동일한 상호작용이 어려울 때에는 적응이 쉬운 메타포를 발견하는 것이 매우 중요하게 된다. 또한 이때에 기존에 사용되고 있는 메타포와의 호환성을 고려하는 것도 변환 충실도를 높이는 방법이 된다.

V. 입출력 장치의 인체적합도와 안전성

5.1 개인차와 입출력 장치

인공현실감은 개개인에게 보다 실감나는 경험을 전달하고자 하므로 HMD나 입체음향헤드폰, 또는 글러브를 사용하는 경우가 많은데, 보다

높은 현실감을 얻기 위해서는 이러한 기구들이 착용감을 느끼지 않도록 가볍고 우리 몸에 잘 맞아야 하며 각 개인의 신체특성에 맞도록 조절 가능해야 한다.

예를 들어 HMD의 경우 그림 8[14]에서와 같이 눈에서부터 HMD화면까지의 거리가 변화됨에 따라 시야의 범위가 크게 영향을 받는다. 접안경에서부터의 거리가 2cm 정도만 멀어져도 시야가 120°에서 80°로 감소되는데, HMD를 착용할 경우 동양인과 서구인의 두 형의 차이로 접안거리가 멀어져 몰입감에 크게 감소하게 된다. 또한 입체디스플레이의 설계에 있어서도 동공사이의 거리(IPD : Inter-pupilar Distance)에 따라 입체감이 달라지므로 유의해야 한다[11].

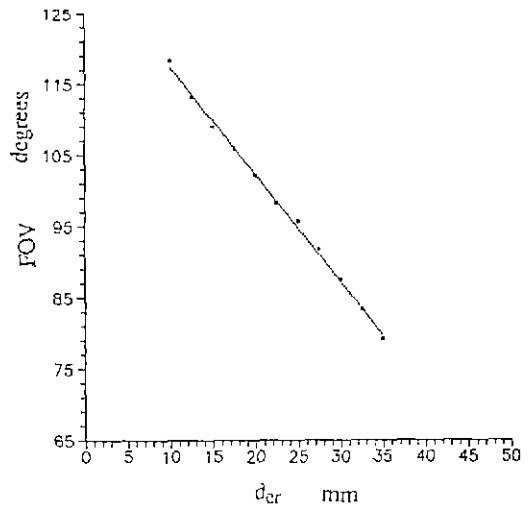
입체음향 디스플레이에 있어서도 개인마다 HRTF의 형태가 다르므로 개인차에 대한 적절한 보상을 해주지 않으면 사용자가 음원의 정확한 위치를 판별하는 것이 불가능해진다[10]. 또한 글러브의 경우에도 손의 크기에 따른 장갑크기가 고려되어야 손짓(gesture)이 정확하게 입력될 수 있다.

5.2 인공현실감의 안전, 보건상의 문제점

인공현실감과 관련하여 사용자들에게 미치는 안전 보건상의 문제점들이 지적되고 있다. 초기의 HMD의 경우 무게가 2~3 kg이 되어 장시간 사용시 머리를 지탱하는 목의 근육에 큰 부담을 주었을 뿐만 아니라 낮은 화면해상도는 눈의 피로를 유발하고 현실감을 상실케 하는 원인이 되었다. 인공현실감을 응용한 게임기의 경우에는 몰입된 환경에서 게임을 진행하는 도중 넘어지거나 부딪치는 경우가 생기지 않도록 설계하여야 한다. 몸에 접촉되는 HMD나 글러브와 같은 장비는 여러사람이 번갈아 사용하므로 위생상의 문제점도 야기될 수 있다.

입체디스플레이는 앞에서 설명한 바와 같이 장시간 사용시 인위적인 안구운동으로 말미암아 눈의 피로가 유발된다. HMD를 10분간 사용한 것은 8시간 동안 컴퓨터모니터를 사용한 것과 같은 효과를 나타낸다는 연구보고도 있다.

그러나 인공현실감의 가장 큰 문제중의 하나



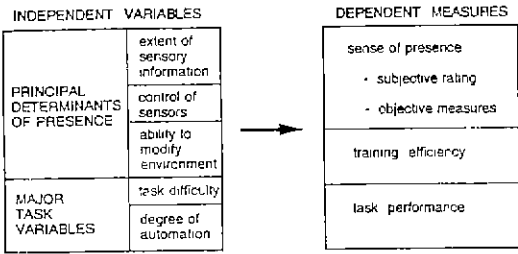
(그림 8) 시야의 범위와 접안거리와의 관계.

는 모의훈련장치(simulator)에서 발생하는 것과 같은 멀미(motion sickness, cybersickness)나 후유증(aftereffect)이다.

5.3 Cybersickness

감각제한의 지연(delay), 실제세계에서의 경험과 위배되는 가속운동 등으로 인하여 시각, 전정기관(vestibular system) 및 체성감관(proprioceptor)으로부터 대뇌에 전달되는 감각 사이의 불일치가 발생된다. 이로 인하여 대뇌가 혼란을 일으키게 되어 어지러움, (시각) 피로감, 구토, 진땀 흘림, 방향감 상실, 복부팽만감 등을 나타내게 되는데 이러한 현상을 cybersickness라 한다[3]. 이를 방지하기 위해서는 사용자가 가상세계에 서서히 적응할 수 있도록 하여야 하며, walk-through시 선형 또는 회전 가속도가 큰 움직임은 피하도록 한다. 또한 저고도에서 빠른 속도로 fly-through하는 것은 되도록 피하도록 하는 것이 좋다[5].

인공현실감 체험후의 후유증에 대해서도 주의하여야 한다. 특히 자동차를 운전하거나 또는 기기를 조작해야할 때, 가상세계에 적응된 감각이 제대로 실제세계에 재적응이 안된 경우에는 사고를 유발할 가능성이 높아진다. 모의비행훈련장치에서 훈련을 마친 조종사가 바로 운전을



(그림 9) 인공현실감의 성능평가에 있어서의 독립변수와 종속변수.

하다가 사고를 내는 경우가 종종 있어 모의훈련 뒤에는 일정시간 동안 운전을 금하고 있다 [13]. 따라서 인공현실감의 사용에 있어서도 감각의 적응-재적응에 대한 문제점에 유의하여야 하겠다.

VI. 인공현실감의 성능향상

인공현실감이 얼마나 실감이 있는가 하는 평가는 매우 주관적이므로 이를 객관적으로 평가하기가 어렵다. 기본적으로 현실감의 충실도는 개개인의 주관적인 평가에 의해 측정하지만 보다 이를 객관화 시키기 위하여 경험의 전달이 얼마나 잘 일어났는가(training efficiency) 또는 가상세계내에서 주어진 임무를 얼마나 잘 수행했는가(task performance)하는 지표를 이용하여 간접적으로 측정하기도 한다[8]. 그림 9는 인공현실감의 평가에 실험적으로 사용될 수 있는 독립변수와 종속변수를 보여준다.

인공현실감의 공학적인 명제는 기술적 경제적 제약하에서 경험의 전달(delivery of experience)을 최대화하고자 하는 것이므로 보편적인 충실도의 개념보다는 어떤 목적을 가지고 인공현실감을 응용하는가에 대한 선택적인 충실도(selective fidelity)를 정의하는 것이 바람직하다[27]. 또한 인공현실감의 효과를 충분히 나타내기 위해서는 앞에서 살펴본 바와 같이 인간의 감각특성에 대한 이해, 새로운 감각제시방법의 개발 등과 아울러 가상세계에서의 작업의 내용, 목표 등을 잘 파악하여 주어진 임무에 가장 적합하도록 여러가지 암시들을 효과적으로 제공하는 것이

바람직하다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 인공현실감은 기술적 차원의 진보 뿐만이 아니라 인간요소(Human Factor)에 대한 접근이 필수적으로 요구된다고 하겠다.

References

1. K. T. Carr and R. D. England, "The role of realism in virtual reality," VR 93' Proceedings of the 3rd annual conference on Virtual Reality, 24~33, 1993.
2. mind, BusinessWeek, Oct. 5, 1992.
3. Cover story, Virtual reality-how technology can amplify the human mind, Business Week, Oct. 5, 1992.
4. S. M. Ebenholtz, "Motion sickness and oculomotor systems in virtual environments," Presence, 1(3), 302~305, 1992.
5. M. L. Heilig, "The cinema of the future," Presence, 1(3), 279~294, 1992.
6. M. E. McCauley, and T. J. Sharkey, "Cybersickness: perception of self-motion in virtual environments," Presence, 1(3), 311~318, 1992.
7. K. B. Shimoga, "A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation: Part I & II," Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium(VRAIS), 263~279, 1993.
8. D. Zeltzer, "Autonomy, interaction, and presence," Presence 1(1), 127~132, 1992.
9. T. B. Sheridan, "Musing on telepresence and virtual presence," Presence, 1(1), 120~125, 1992.
10. E. M. Wenzel, "Localization in virtual acoustic displays," Presence, 1(1), 80~107, 1992.
11. D. R. Begault and E. M. Wenzel, "Headphone localization of speech," Human Factors, 35(2), 361~376, 1993.
12. L. B. Rosenberg, "The effect of interocular distance upon operator performance using stereoscopic displays to perform virtual depth tasks, Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium(VRAIS). 27~32, 1993.
13. D. Henry, and T. Furness, "Spatial perception in virtual environments: evaluating an archtec-

tural application," Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS), 33~40, 1993.

13. K. R. Boff and J. E. Lincoln, Engineering Data Compendium: Human Perception and Performance, AAMRL, Wright Patterson AFB, Ohio, 1988.

14. W. Robinett and J. P. Rolland, "A computational model for the stereoscopic optics of a head-mounted display," Presence, 1(1), 45~62, 1992.

15. K. Pimentel, and K. Teixeira, Virtual Reality-Through the new looking glass, Intel/WINDCREST/McGraw-Hill, 1993.

16. S. Houde, "Interactive design of an interface for easy 3D direct manipulation," Proceedings of CHI '92, 134~142, 1992.

17. K. Fairchild, B. H. Lee, Loo, J. Ng, H., and L. Serra, "The Heaven and Earth Virtual Reality: Designing Applications for Novice Users," Proceedings of VRAIS '93, 47~53, 1993.

18. Jones, E. R., Hennessy, R. T., and Deutsch, S. et al., Human Factors Aspects of Simulation, National Academy Press, 1985.

19. 이남식 et al., VR 기술동향 및 산업정책에 관한 연구, KRIS-93-078-IR, 과학기술처특정연구보고서, 1993.

20. 이남식 et al., 인공현실감을 이용한 제품평가 기술개발(1차년도), KRIS-93-126-IR, 과학기술처특정연구보고서, 1993.

21. 岩田洋夫 編著, 人工現實感生成技術とその應用, Science社, 1992.

22. M. Friedmann, et al., "Synchronization in Virtual Realities," Presence, 1(1), 139~144, 1992.

23. H. Katura, What's Virtual Reality?, IRA, Tokyo, 1991.

24. R. S. Kalawsky, The Science of Virtual Reality and Virtual Environments, Addison-Wesley, 1993.

25. P. Padmos and M. V. Milders, "Quality criteria for simulator images: a literature review, Human Factors," 34(6), 724~748, 1992.

26. Special report: virtual reality, Part I, II, and III, Computer Graphics World, Mar-May, 1992.

27. R. Warren, "Fidelity issue in flight simulation, self-motion, and virtual reality displays," INSIGHT, 14(3), 1~2, 1992.

이 남 식



1978 서울대학교 농과대학 농화학과 (학사)
 1981 한국과학기술원 산업공학과 (석사)
 1987 한국과학기술원 산업공학과 (박사)
 1988 ~ 1989 미국 미시간대학 Post Doc.
 1990 ~ 현재 한국표준과학연구원 인간공학연구실 책임연구원, 대한인간공학

회 이사, 대한인간공학과 위원장, Human Factors Society, Ergonomics Society, IEEE ACM SIGCHI 회원
 관심 분야: 인간공학, HCI, 맨-머신 시스템 설계, Virtual Reality

윤 정 선



1991 KAIST 학사과정 졸업
 1993 KAIST 전산학 석사
 1993 ~ 현재 한국표준과학연구원
 관심 분야: 컴퓨터 음악, 인공현실감, HCI

박 재 희



1986 서울대학교 산업공학과 (학사)
 1988 KAIST 산업공학과(석사)
 1991 ~ 현재 KAIST 산업공학과 (박사과정)
 1988 ~ 1991 한국생산성본부 경영지도부(선임연구원)
 1991 ~ 현재 한국표준과학연구원 인간공학연구실(선임연구원)

관심분야: HCI, Usability Test, 인지공학