

가상 환경 하에서 다감각 변수들의 영향도 평가 (Analysis of Effectiveness of Multiple Sensory Modalities in Virtual Environments)

홍정훈[†] 정동현^{**} 심송용^{***} 송창근^{****}
(Jeong-Hun Hong) (Dong-Hyun Jeong) (Song-Yong Sim) (Chang-Geun Song)

요약 본 논문은 가상환경 속에서 사용되는 다감각(시각, 청각, 후각, 촉각)요소가 현실감에 끼치는 영향력을 평가한다. 이번 실험에 80명의 피실험자가 참가하였으며, 여러 감각 요소들을 조합한 가상환경을 경험하게 하여 얻은 실험 데이터를 분석함으로써 각 요소들의 영향도를 평가한다. 주된 평가 요소는 가상 현실 환경 속에서 피실험자가 주관적으로 느끼는 현실감과, 감각 요소들이 피실험자들의 기억력에 미치는 영향도를 객관적으로 측정할 결과를 가지고 분산분석법을 사용하여 검증하여 본다. 이번 실험을 통하여 우리는 이러한 다중 감각 요소들이 단일한 감각요소가 있을 때에 비하여 가상 환경 속에서의 사물에 대한 기억력과 현실감을 증가시킬 수 있다는 결과를 얻는다. 또한, 피실험자가 느꼈던 가상환경 속의 현실감과 사물에 대한 기억력에 대하여, 시각적인 요소를 증가시키는 것보다 그 외의 다른 요소(청각, 후각, 촉각)들을 첨가시키는 것이 현실감과 기억력을 배가시키는 요소로써 더 효과적이고 민감하게 반응한다.

Abstract Experimental study is performed to investigate the effects of tactile, olfactory, audio and visual sensory cues on a participant's sense of presence in a virtual environment and on their memory for the environment and the objects in that environment.

In this study, we build a virtual environment that includes four sensory modalities - visual, auditory, tactile, and olfactory. By systematically varying the types and amounts of different sensory inputs we build a model of how information from different modalities are combined to create a sense of presence. We perform the statistical analysis such as analysis of variance(ANOVA) to measure the effectiveness of multiple sensory modalities in virtual environment.

Results strongly indicate that increasing the modalities of sensory input in a virtual environment can increase both the sense of presence and memory for objects in the environment. In particular, the addition of tactile, olfactory and auditory cues to a virtual environment increased the user's sense of presence and memory of the environment. And it is more effective to add tactile, olfactory and auditory cues rather than to increase the level of visual detail to improve the user's sense of presence or memory of the environment.

1. 서론

가상 현실의 궁극적인 목표인 현실감을 구성하는 주요 요소로는 지각(perception), 몰입(immersion), 상호작용(interaction)등을 들 수 있다. 어떠한 가상환경 속에서도 1차적이고, 궁극적인 목표는 효과적으로 현실세계와 차단된 몰입할 수 있는 상태에서, 가상환경과 자유롭게 상호 작용함으로써 높은 수준의 현실감을 경험하여 마치 그곳에 자신이 있는 듯한 착각을 느끼게 하는 것이다. 또한, 인간은 그가 접해있는 환경에서 눈, 귀, 코, 입, 피부 등을 통해 입력되는 각종 감각 신호들을 분석하여 환경에 관한 정보를 얻고 이들 정보가 통일성을 가질 때 현실감을 느낀다고 한다[1]. 이렇듯 우리가 지

· 이 논문은 1997년도 한림대학교 학술연구 조성비 지원으로 이루어진 것임

† 비 회 원 : (주)케이아시아시스템 부설 기술연구소 연구원
jhong@ksi.co.kr

** 비 회 원 : 한림대학교 정보통신공학부
dhyeong@center.cie.hallym.ac.kr

*** 비 회 원 : 한림대학교 수확통계학부 교수
sysim@sun.hallym.ac.kr

**** 종신회원 : 한림대학교 정보통신공학부 교수
cgsong@sun.hallym.ac.kr

논문접수 : 2000년 2월 18일

심사완료 : 2000년 6월 3일

각하는 요소인 시각, 청각, 후각, 촉각은 현실감을 이루는데 있어서 큰 비중을 차지함은 별다른 검증이 없어도 누구나 수긍하고 있는 사실일 것이다.

1962년 Morton Heilig는 Sensorama Simulator를 만들어 특허 출원을 하였다[2]. 그로부터 37년이 지난 지금의 대부분 가상현실 환경은 Heilig가 만들었던 환경과 비교해 볼 때 그 당시 사용되었던 감각요소의 기술적인 표현력에 차이가 있을 뿐 감각 요소의 추가나 획기적인 발전은 거의 없어 왔다고 말해도 과언이 아닐 것이다. 그동안 일반적으로 경험할 수 있었던 가상환경의 감각적 요소들을 보면, 시각적 요소가 거의 필수적으로 나타나고, 그 다음으로 청각적 요소가 수반되며, 드물게 촉각적 요소가 포함된다. 기타 다른 감각 요소들은 보통 나타나지 않거나, 나타나더라도 오히려 가상 환경에 부정적인 요인으로 작용한다. 지금까지의 연구들은 대부분 독립적으로 각각의 감각요소들에 대해 수행되어져 왔다. 가상현실 공간에서 주요하게 사용되어 오던 시각뿐만 아니라 청각, 촉각, 후각 등을 포함하는 요소들을 조합하여 가상 현실 속에 구현한다. 그리고, 이러한 다감각 요소들의 조합이 사용자가 느끼는 현실감에 미치는 영향을 체계적인 실험을 통하여 정량적으로 분석한다.

1992년 Fontain에 의해 제안된 "감각 요소의 범위를 넓히는 접근은 더 큰 현실감을 만든다." [3]는 것에 착안하여 이번 작업에서 우리는 시각, 청각, 촉각, 후각 요소를 갖는 가상환경을 만든다. 시각적으로 두 가지 수준을 가지고 각각에 청각, 후각, 촉각 요소를 첨가하여 얻은 16가지의 환경에서 경험한 피실험자들에게 현실감과 사물에 대한 기억력을 실험을 통하여 조사한다.

2장에서는 과거에 각 감각요소들이 가상환경에서 나타나고 구현되었던 사례를 설명한다. 3장에서는 본 연구의 목적을 기술하고 4장과 5장에서는 본 논문에서 사용한 실험에 대하여 실험 환경과 방법 및 절차에 관해 설명할 것이다. 6장에서는 실험에 대한 결과를 설명하고 7장에서 결론과 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 과거의 연구

2.1 시 각

주로 연구되는 시각적인 인자로는 얼마나 상세히 묘사되었는지에 대한 수준이다. 즉 재질(texture), 다각형의 개수(number of polygons), 사람이 보는 시야, frame rate 등이다. 일반적으로 시각에 관한 연구들은 더 자세한 시각적인 사실감과 더 그럴 듯한 현실감을 찾고자 하는데 있다고 할 수 있다[4][5]. 인간이 외부로부터 자극을 수용하는 감각 중 시각이 70%를 차지한다는 사실에서[6]

시각적 요소에 대한 연구는 중요하다. 또한, 시각적 정밀도를 높임으로써 사실감과 현실감을 증가시키기 위해서는 상당량의 추가적인 계산 비용이 불가피하다. 또한, 그에 따른 시스템 응답 문제도 감수해야 할 것이다. 그러나 시각적으로 보여지는 구체화 정도를 높임으로써 나타나는 시스템 지연 현상(time delay)은 적절치 못한 frame rate를 초래하게 되고 이는 오히려 사람들에게 가상환경속에서의 현실감을 감소시키는 원인으로써 작용하여 역효과가 나타나게 한다. 시각적으로 보여주는 장치(특히 HMD)는 기술적인 한계로 인하여 시각적인 상세도가 제한적인 장치이고, 가격의 폭이 크다. 보통의 HMD는 실제 사람이 보는 정상적인 시각의 정밀도나 시각폭에 비하여 현저히 차이가 나서 매우 제한된 양의 시각적 정밀성과 시각폭만을 제공해 준다. 이러한 제한성으로 인하여 단순히 시각적인 정밀도를 높이는 것만으로는 현실감의 증가를 얻어낼 수 없다는 것은 잘 알려져 있다.

2.2 청 각

최근 가상 환경 속에서 현실감을 증가시키는 방법으로 시각적 요소에 보조적인 요소로 청각적 요소를 보충하여 사용하려는 시도가 있어 왔다[7]. 청각적인 요소는 컴퓨터의 계산 비용을 줄이는데 한 몫을 하였고, 그로 인해 시스템 지연 없이 현실감을 증가시키는데 적절한 방법으로서 사용되어 지고 있다. 청각적 요소의 사용은 시각적 정밀성이 낮은 가상 환경에서 정밀성이 높은 수준이 제공하는 현실체험감을 얻는데 사용할 수 있다는 것을 시사하고 있다.

2.3 후 각

후각은 실제계에서 우리들의 경험에 중요한 역할을 하고 있다. Cater[8]는 가상환경 속에서의 후각요소에 대한 장치의 개발에 관한 연구를 하였다. 국내에서는 한국과학기술연구소(KIST)에서 감성공학 기반기술 개발사업으로 추진중인 '감성측정평가 시뮬레이터'의 주요분야로서 후각환경제시 시스템을 개발[9] 하였다. 1996년 Barfield와 Danas는 생리학적, 심리화적인 후각의 형태를 논했고 가상환경 속에서의 후각 표현의 잠재성을 논했다[10]. Krueger는 잠재적으로 가상현실의 응용 개발에 있어서 가장 중요한 것 중의 하나로 냄새가 없는 불완전한 외과용 훈련 시스템을 지적하며 후각 요소의 중요성을 주장했다[11]. 본 연구는 후각 요소가 현실감의 증대에 주목할 만큼 기여하는지를 평가하며, 후각 요소가 계산 비용을 증가하지 않으면서 시각적 요소를 대체할 수 있는 가능성을 검토한다.

2.4 촉 각

가상 환경 속에서의 촉각 요소의 사용에 관한 연구는

크게 두 가지 방향으로 진행되고 있다[12]. 한 방향은(The haptic sensation : i.e., touch) 손으로 느끼는 촉각으로 진동이 있거나[13], 위 아래로 움직이는[14] pin 배열을 통해 구현되어진 것이다. 또 다른 방향은(The sensations of the skin) 일정한 자극에 노출됨으로서 느끼는 촉각으로, 1996년 Ogi와 Hirose는[15] 거대한 공기의 흐름과 과학적 visualization system에서 방향 정보를 나타내기 위해 사용자의 손에 공기를 불어넣는 작은 fan을 사용했다. 1997년 SIGGRAPH에서 Pausch는 가상의 불을 뿜는 용과 함께 열을 내는 lamp를 사용한 시연을 했다. 본 연구에서 사용된 촉각 요소는 일정한 자극인 열 lamp, fan등에 의한 촉각(The sensations of the skin)에 기반을 두었다.

3. 연구의 목적

지금까지의 연구들은 주로 시각에 대한 것들이다. 후각과 촉각에 대한 체계적인 연구들은 양적인 면에서 매우 적은 편이며, 각각의 감각 요소에 대한 별도의 연구이다. 인간의 오감 중에서 미각을 제외한 감각 요소들이 서로 조합을 이룰 때에 얻을 수 있는 현실감에 대한 체계적인 분석은 전무하다. 본 연구의 목적은 가상 현실 공간에서 주요하게 사용되어 왔던 시각뿐만 아니라 청각, 촉각, 후각 등을 포함하는 인간의 다감각들을 복합적으로 가상 현실 속에 구현하여 그것들이 사용자에게 미치는 효과를 체계적으로 분석하고자 하는 시도이다. 우리는 시각적 상세도가 현격히 낮은 수준에서 얻을 수 있는 현실감을 다른 감각요소의 결합을 통하여 보완시킬 수 있음을 보이고자 한다.

또한 어떠한 감각 요소들의 조합이 가장 최적의 현실 체험감을 제공하는지, 감각 요소들을 추가하면 할수록 현실 체험감은 증가를 하는지 등에 대한 물음들에 답하고자 한다. 이러한 물음에 대한 답변은 단순한 가상 환경에서부터 복잡한 가상 환경까지 다양한 환경이 제공하는 현실감에 대한 우리의 지식을 넓혀 줄 것이다.

4. 실험 환경 구축

시각, 청각, 촉각 및 후각들을 가상 환경 내에 구현하려면, 컴퓨터 시스템에 이미 부착되어 있는 마우스, 키보드 혹은 조이스틱 등과 같이 이러한 감각 요소들을 구현하는 장치들이 부착된다. 따라서 이들을 통합하고 제어하는 시스템이 필요해 진다. 본 연구의 첫 작업은 이러한 감각 요소들을 구현하는 장치들을 설계해서 개발하는 것이며, 각 장치들을 통합 관리하는 가상 환경 시스템을 만

드는 것이다.

4.1 실험 환경

가상환경 구축과 실험에 사용된 컴퓨터는 IBM 호환 개인용 데스크탑 PC로 주된 사양은 다음과 같다.

CPU : Pentium III 450MHz Dual,

RAM : 256 Mbyte,

Graphics Card : Diamond사의 FireGL 1
(AGP Bus Type),

Motion Tracking Device : Polhemus사의 InsideTrak,

Platform : Windows NT 4.0.

4.2 부가 장치 (감각 구현 장치)

시각 장치로는 i-glass를 사용하였고(최대 해상도 640×480), 청각 장치로는 i-glass에서 제공되는 스피커가 있지만 좀더 정확하고 더 큰 몰입감을 위한 소리를 제공하기 위해 컴퓨터와 직접 연결된 헤드폰을 사용한다.

후각과 촉각에 상응하는 장치를 구동시키기 위하여 의장형으로 제어상자(Control Box)를 설계하였다. 이 장치를 통해 각 디바이스를 제어하도록 설계하였다. 이 제어상자는 PC의 직렬 포트(Serial Port)와 연결되어 있고 이곳으로부터 전송되는 명령에 의해 동작을 함으로써 제어상자에 연결되어 있는 각각의 감각 구현 장치들을 작동시키는 역할을 하게된다.

후각 요소는 아주 짧은 시간에 극히 소량의 향기를 사용자가 인식 가능한 위치에 분사시키는 방법을 사용하였다. 이러한 방법은 순간 후각요소를 느낄 수도 있고, 미세한 양이 순간적으로 분사되기 때문에 냄새 잔존 문제도 해결할 수 있다. 이 방법에서 이용한 분사 장치는 향기를 액체 가스 형태로 갖고 있는 can을 내장하고 있다. 노즐 부분은 솔레노이드 방식으로 설계되어 있기 때문에 분사되는 양을 조절할 수 있다. 가상 환경 안에서 원하는 시점에 감각 구현 장치를 정확히 사용할 수 있도록 제어상자가 받아들이는 명령어 형식을 설계한다. 크게 나누어 감각 구현 장치를 제어하는 명령과 분사장치를 제어하기 위한 명령으로 구분한다. 분사 장치를 사용하는 명령어에는 분사 양을 지정하는 부분을 가지고 있다. 세 개의 분사장치 중 사용하고자 하는 분사장치에 원하는 양을 분사시키라는 형태로 전달된다. 분사 양을 조절함으로써 실험하는 주변 환경을 고려하여 적절하게 적용시킬 수 있다.

촉각요소로는 직접 신체에 물리적인 힘을 가하는 장치를 사용하기보다는 일상적인 생활에서 쉽게 느낄 수 있는 바람이나 열을 사용하여 간단하면서도 효과가 큰 요소들로 구성하여 적용시키고 구현한다.

4.3 가상 환경 개발 도구

본 실험에는 가상 환경 구축 시스템인 조지아 공대의 SVE(Simple Virtual Environment) Toolkit(<http://www.cc.gatech.edu/gvu/virtual/SVE/>)을 사용한다. 위에서 언급하였던 것과 같은 장비들을 가상 환경에 동기화 시키고 작동시키기 위해서 SVE를 확장하였다. 모델링 도구로는 3D Studio Max 2.5를 사용하고, Sound 제작 및 편집을 위한 도구로 Sound Forge 4.0을 사용한다. Compiler로는 Microsoft Visual Studio 6.0을 사용한다. 실험 결과의 수치를 통계적으로 분석하는데 사용된 도구는 SAS 2.0을 사용한다.

5. 실험 방법

5.1 실험 참가자

실험에 참가한 피실험자는 모두 80명이 참가하였으며, 이들은 모두 컴퓨터를 전공하지 않는 학부생들이다. 피실험 대상자가 가상 환경에 많이 노출된 경우와 그렇지 않은 경우에서 있을 수 있는 응답의 차이를 없애기 위하여, 모든 참가자들은 컴퓨터에 대하여 기초적인 지식이 있는 사람들이지만, 실험에서 제공되는 가상 환경의 형태를 전혀 접해 보지 못했거나, 한번 정도 경험해 본 사람들이다.

5.2 실험 개요

피실험자가 경험하게 될 가상환경을 시각적으로 두 가지(High detail version, Low detail version)와 후각 요소의 유무, 청각 요소의 유무, 촉각 요소의 유무로 나눈다. 특히 시각적 요소는 기존의 연구[16]에도 Monoscopic을 사용한 것으로 조사 되었으며, 본 연구에서도 같은 방식을 사용하였다. 각각의 요소들을 조합하여 총 16가지의 실험 환경을 만든다. 16가지의 상태에 각각 5명 이상의 피실험자를 임의로 배정하여 실험을 실시하였으며, 실험 도중의 오류에 의한 경우와 데이터 분석 중 타당치 않은 실험자의 결과를 제외하더라도 최소한 각 상태에 5명의 인원을 최종 실험 인원으로 결정하였다. 이들 각 피실험자들은 제공되는 가상환경을 경험한 후 크게 2가지 종류의 설문지를 작성한다. 첫째는 피실험자가 느꼈던 현실감의 정도를 측정하기 위해 14개 문항의 객관식 형태를 갖는 질문들과 1부터 100까지의 값으로 자신이 느꼈던 현실감을 평가하는 1개의 문항으로 이루어진 설문지이다. 두 번째로는 피실험자가 경험한 가상환경에서의 기억력을 테스트하기 위한 설문지로서 가상환경의 공간적 구조를 어느 정도 파악하고 있는지를 묻는 8개 문항의 객관식 형태의 질문들과, 피실험자가 경험한 가상환경 속에서 나타났던 사물들의 위치를 파악하고 있는 정도를 평가하기 위한 9개 문항

의 객관식 유형을 가진 질문들, 그리고 마지막으로 피실험자가 임의로 경험하게 된 각각의 가상환경에서 나타나는 감각요소 개개의 인식 유무를 묻는 문항으로 구분된다.

5.3 질의 사항(설문지)

크게 두 가지로 나뉘는 질의문은 기존의 연구들[3][16][17]에서 사용되었던 질의문을 이번 실험에 맞도록 수정을 하였다. 질의문 중에서 현실체감도를 측정하기 위한 설문지는 모두 15개의 문항으로 되어있으며, 이중 14개 문항은 모두 5개의 선택할 수 있는 보기를 가지고 있다. 단, 2번째 문항은 현실감의 정도를 1부터 5까지의 값들을 0.5씩 차이를 두어 총 9가지 수준에서 선택하도록 되어있다. 현실감을 정량화 하기 위하여 사용된 각 질문들은 모두 쉽게 점수화 할 수 있도록 높은 번호의 보기일수록 긍정적인 대답으로 대응시킨다(따라서, $14 \times 5 = 70$: 최고 점수). 현실감의 수준을 9가지 수준에서 선택하는 문제는 '실세계에 있는 듯한 느낌' = 5, '영화를 보는 듯한 느낌' = 4 등과 같이 피실험자가 선택하는데 있어서 막연하지 않도록 가능한 객관적인 기준을 둔다. 그리고, 마지막 15번 문항(The Rating Question)은 피실험자로 하여금 1부터 100까지의 값으로 현실감을 표현하도록 하였다.

[표1]은 Witmer와 Singer가 사용한 현실 체감도 측정(PQ Item Analysis) 방법[17]을 사용하여 표현을 하였다. 이 표의 결과(ITCorr1)는 Witmer와 Singer의 측정결과와 비슷한 결과를 얻는다. Witmer와 Singer가 사용한 문항 중 전체문항의 합과 관계가 있다고 할 수 없는 두 개의 문항이 이번 실험의 현실체감도를 측정하는 문항에 사용되었다(5번과 10번 문항). 그러나, 본 연구의 결과(ITCorr1)는 5번과 10번 문항의 값이 전체항목의 합과 통계적으로 유의한 관계가 있다고 할 수 있다.

본 실험에서는 15번 문항(The Rating Question)의 값과 각 문항의 상관관계를 측정하였는데, 측정결과(ITCorr2)를 통해 알 수 있는 것은 5번과 10번 문항은 15번 문항과 관계가 있다고 할 수는 없다는 것이다($p=0.001$). 본 실험에서는 촉각(The haptic sensation : i.e., touch)장치를 사용하지 않았기 때문에 10번 문항과 15번 문항의 값이 서로 관계가 없게 나타났을 것으로 생각된다. 5번 문항은 외부세계(현실세계)에서의 행동이 피실험자로 하여금 가상환경에서의 몰입감을 떨어뜨림으로서 15번 문항의 값을 감소시키는 결과를 가지고 왔으리라 생각된다.

각 문항이 본 실험에 적합한지를 알아보기 위해

표 1 현실체감도 설문지 문항. CF = Control Factors, SF = Sensory Factors, DF = Distraction Factors, RF = Realism Factors. Subscales : INV/C = Involvement/Control, NATRL = Natural, HAPTC = Haptics, IFQUAL = Interface Quality. ITCorr1 = 측정된 PQ 전체 문항(15번 문항 제외)의 합과 각 문항의 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficients)($p < 0.001$), ITCorr2 = 15번 문항과 기타 문항의 피어슨 상관계수($*p < 0.001$), Alpha = Cronbach Coefficient Alpha.

문항	Factors	Subscale	ITCorr1	ITCorr2	Alpha
1. 당신은 가상 쇼퍼몰의 장단점을 파악할 수 있었습니까?	RF		0.53	0.30*	0.88
2. 만약 현실감의 수준을 다음과 같은 9단계로 표시할 때 당신이 방문했던 가상 세계의 현실감 수준은 어느 정도라고 할 수 있습니까?	RF	NATRL	0.57	0.41*	0.88
3. 당신이 경험한 가상 환경에서의 현장감은 다음 중 어느 정도입니까?	RF, CF	NATRL	0.72	0.60*	0.88
4. 당신이 경험한 가상 환경에서의 몰입 정도는 어느 정도입니까?	RF, CF, SF	INV/C	0.76	0.40*	0.87
5. 가상환경을 경험하는 동안 가상환경 밖의 주변 연구실 환경을 어느 정도 인식하였습니까?	DF		0.39	0.20	0.89
6. 자신이 가상 환경하에 어느 정도 취화 되었다고 생각합니까?	RF	INV/C	0.68	0.40*	0.88
7. 당신에게 비추어진 가상세계에 대한 일반적인 사실성은 어느 정도입니까?	CF	NATRL	0.64	0.40*	0.88
8. 가상세계에서 움직임(이동)은 어느 정도 사실적이었다고 생각합니까?	SF	INV/C	0.58	0.32*	0.88
9. 가상 환경을 상하좌우로 살펴볼때의 움직임은 어느 정도 자유로웠습니까?	CF	INV/C	0.66	0.32*	0.88
10. 가상 세계에서 보이는 물체들을 잡아보고 싶은 충동은 어느 정도 느꼈습니까?	RF, SF	HAPTC	0.57	0.21	0.88
11. 이번 가상 환경에서 전체적으로 어느 정도 편안 했습니까?	CF	NATRL	0.71	0.42*	0.88
12. 가상 환경에서 느꼈던 전체적인 즐거움은 어느 정도였습니까?	RF, CF, SF	INV/C	0.73	0.42*	0.88
13. 컴퓨터가 생성해 낸 세계가 당신에게 주었던 만족감은 어느 정도 이었습니까?	RF	INV/C	0.71	0.38*	0.88
14. 가상현실을 위해 사용한 장비의 시각적인 질(quality)은 어떻습니까?	DF, CF	IFQUAL	0.64	0.45*	0.88
15. 당신이 보았던 가상 환경을 현실 세계와 비교해 볼 때, 현실 세계를 100으로 본다면 만큼 경험한 가상 환경은 얼마로 표현 하겠습니까?					

Cronbach alpha분석을 통해 각 문항의 신뢰도를 계산하였으며, alpha값은 모든 문항에 대해 0.86이상이므로 제외할 문항은 없다.

두 번째로 피실험자가 가상 환경을 경험하고 보았던 사물들을 어느 정도 기억하고 있는지를 묻는 설문지에는 직접 사물의 위치를 기억해내는 9개의 객관식 문항과(모두 맞추었을 경우 9점), 가상환경을 공간적으로 어느 정도 파악하였는지를 테스트하는 8개의 객관식 문항(모두 맞추었을 경우 8점)으로 크게 나누어 볼 수 있다. 사물의 위치와 관련된 질문은 ‘다음 중 꽃이 있었던 곳은 어느 곳입니까?’, ‘다음 중 쇼퍼몰에 없었던 물건은 무엇입니까?’ 등이 있고, 공간적 개념을 묻는 질문은 ‘TV 라운지를 방문하기 전에 머물렀던 곳은 다음 중 어느 곳입니까?’ 등이 있다. 기억력을 테스트하기 위한 설문지는 각 문항 별로 피실험자가 맞춘 개수를 합산하여 분석에 필요한 자료를 만들어 낸다. [부록 A]

5.4 환 경

이번 실험을 위해 제작한 가상 현실 환경의 내용은 가상 쇼퍼몰로써, 극장, 커피숍, 옷가게, 공중전화 박스, TV 라운지, 그리고 실외 라운지 등으로 구성되어 있다. 이 가상 환경에서 피실험자는 시각적인 요소뿐만 아니라, 청각, 촉각, 후각적인 요소도 경험하게 된다. [그림 1~5]

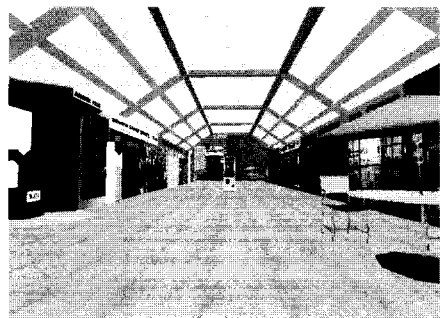


그림 1 초기 위치

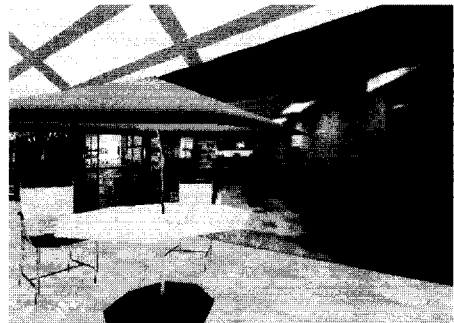


그림 2 커피숍

비디오 소리, 극장에서 나오는 소리, 시내의 소음 등이 있다.

촉각요소는 피실험자에게 직접 물리적으로 작용하는 요소를 사용하지 않고, 바람이나 열 같은 매체를 이용하여 간접적으로 피실험자에게 영향을 미치는 요소들을 사용한다. 본 실험에서는 가상환경에서 나타나는 촉각 요소를 될수록 실제 환경에 있는 장치들과 일치시키는데 초점을 두었다.

후각요소는 실내에서 쉽게 접할 수 있고, 실내에서 충분히 구별 가능하며, 거부감 없는 요소들을 선택한다. 본 실험에서는 커피숍에서 맡을 수 있는 커피향과, 꽃가게에서의 장미향, 그리고 실내 화장실에서의 방향제로 쓰이는 레몬향을 사용한다. 가상환경의 정해진 위치에 도달하였을 때 분사기를 사용하여 짧은 시간에 아주 소량의 향을 분사하여 모든 피실험자는 항상 동일한 위치에서 향을 맡게 된다.

감각 요소들의 조합으로 구성되는 16개의 다감각 실험 상태를 각기 다른 피실험자에게 무작위로 선정하여 실험을 실시한다.

실험 진행 도중 가상 환경 내에서의 이동은 미리 정해진 위치를 향해 자동으로 움직이도록 프로그래밍 한다. 피실험자 한 명이 가상 환경을 경험하는데 걸리는 시간은 5분이고, 설문지의 작성은 현실체감도에 답하는 설문지는 7분 이내에 작성하도록 하며, 기억력을 측정하는 설문지에는 시간을 제한하지 않는다.

6. 결 과

이번 실험의 결과는 크게 두 가지 측면에서 분석한다. 첫 번째는 가상 환경 속에서 감각요소(시각, 청각, 촉각, 후각)들이 현실 체험감에 미치는 영향을 분석하고, 다음으로는 피실험자들이 체험한 가상 쇼pping에 대한 내용을 기억하는데, 복합된 감각요소들이 얼마나 도움을 주었는가에 대해서 분석한다. 이들 감각 변수들이 사용자가 느끼는 현실 체험감과 기억력에 미치는 영향을 평가하기 위한 통계적 처리로서 분산분석법(ANOVA)을 사용하여 검증한다.

6.1 현실감 측정

첫 번째 설문지를 통해 나타난 현실체감도를 나타내는 정량화된 자료들(14개 문항 중 각 문항의 최고 점수는 5점으로 최대 70점)을 가지고 현실 체감도를 측정하는 기준으로 삼았다. 분산분석을 수행한 결과, 현실 체감도에 영향력 있는 감각 변수로 나타난 것은 후각 요소이다[$P(F>4.17)=0.0447$]. 나머지 감각 변수(시각, 청각, 후각)들의 효과는 통계적으로 유의하지는 않았으나, [표2]에서

보는 것과 같이 현실감을 측정된 결과에서 각 감각 변수 별로 나누어 통계를 내 보았을 때, 청각 요소의 경우는 현실감을 나타낸 설문지에서 나온 14개 문항의 평균과 1부터 100까지의 값으로 표현한 마지막 15번 문항의 평균이 청각 요소가 없을 때 각각 34.8과 48.8로 나타난 반면에 청각 요소가 있을 경우 각각 36.7과 54.35로 증가한 것을 볼 수 있다. 또한, 후각 요소는 현실감을 나타내는 값이 후각 요소가 없을 경우에 34.0에서 후각 요소가 추가되었을 때 37.5로 증가하였고, 마지막 15번 문항의 평균은 49.85에서 53.3으로 증가 한 것을 볼 수 있다. 그리고 촉각 요소는 있고 없음에 따라 현실감 평균은 각각 35.6과 35.8이고, 15번 문항의 평균은 50.5과 52.65로 촉각 요소가 이번 실험에서 별다른 작용을 하지 않았음을 알 수 있다.

표 2 각 감각변수들의 변화에 따른 현실체감도 평균과 표준편차. (최대 70점, '상'·'하' : 시각적 상세도 수준, ○·× : 감각요소의 유무, 15번 문항 : 첫 번째 설문지의 마지막 문항으로 1부터 100 사이의 값으로 현실감 표현)

현실감			
시각	평균	sd	15번 문항
'하' 평균	36.85	7.83	56.68
'상' 평균	34.63	7.51	46.48
전체 평균	35.74		51.58
청각	평균	sd	15번 문항
× 평균	34.80	8.13	48.80
○ 평균	36.70	7.24	54.35
전체 평균	35.70		51.50
후각	평균	sd	15번 문항
× 평균	34.00	6.72	49.85
○ 평균	37.50	8.31	53.30
전체 평균	35.70		51.60
촉각	평균	sd	15번 문항
× 평균	35.80	6.23	52.65
○ 평균	35.60	9.02	50.50
전체 평균	35.70		51.60

시각요소의 작용은 현실감 증대의 부정적인 요인으로 나타나 있다. 이것은 다시 말해서 현실감을 이루는데 다른 감각요소가 추가됨으로서 시각적 정밀도의 차이가 큰 영향으로 작용하지는 않는다는 것을 알 수 있다. 이러한 내용은 다음의 표들에서 확인할 수 있다.

표 3 시각적 상세도가 '상'인 경우와 '하'인 경우에 다른 감각 요소 1개를 추가했을 때의 비교

환경 #	시각	청각	후각	촉각	14개문항	15번 문항
1	상	×	×	×	31.3	47
10	하	○	×	×	35.1	53
11	하	×	○	×	41	65.4
13	하	×	×	○	38.7	57

[표3]에서 시각적 정밀도 수준이 높고 다른 감각 변수가 포함되지 않은 환경과(환경 번호 1), 시각적 정밀도가 낮지만 나머지 감각 요소 청각, 후각, 촉각 요소들이 각각 하나씩 포함되어 있는 환경(10, 11, 13번 환경)의 결과를 살펴보면 시각적 정밀도가 낮음에도 불구하고 더 높은 현실감을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다.

표 4 청각요소는 고정하고 다른 감각요소를 추가했을 때의 비교

환경 #	시각	청각	후각	촉각	14개문항	15번 문항
2	상	○	×	×	36.7	49.8
12	하	○	○	×	36.8	59
14	하	○	×	○	33.8	58

[표4]는 청각 요소가 포함되어 있는 실험 환경에서 나머지 감각 요소(후각, 촉각)가 추가되어 질 때 나타난 결과를 보여 주고 있다. 시각적 정밀도가 높지만 청각 이외의 감각요소가 없을 경우보다 시각적 정밀도가 낮지만 청각과 후각 요소가 결합하여 더 좋은 현실감을 보여 준다. 반면에 촉각 요소가 추가되어 현실감이 감소하는 현상을 보여 주는데, 이러한 현상은 [표5]에서도 같은 결과를 보여주고 있다. [표2]에서 보았듯이 전체적인 평균에서 촉각 요소가 별다른 반응을 하지 않았다는 사실과 결합하여 생각해 볼 때 이번 실험에 사용되었던 촉각에 대한 구현이 현실감을 측정하는데 별로 효율적이지 않았음을 알 수 있다.

표 5 후각요소는 고정하고 다른 감각요소를 추가했을 때의 비교

환경 #	시각	청각	후각	촉각	14개문항	15번 문항
3	상	×	○	×	34.8	48
12	하	○	○	×	36.8	59
15	하	×	○	○	32.9	46

[표5]는 후각요소만 포함되어 있는 시각적 정밀도가 높은 환경(3번 환경)과 시각적 정밀도가 낮으면서 후각 요소와 다른 감각 요소가 추가된 환경(12, 15번 환경)을 비교한 것이다. 청각 요소가 추가된 환경(12번 환경)은 현실감이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

표 6 촉각요소는 고정하고 다른 감각요소를 추가했을 때의 비교

환경 #	시각	청각	후각	촉각	14개문항	15번 문항
5	상	×	×	○	30.5	46
15	하	×	○	○	32.9	46
14	하	○	×	○	33.8	58

[표6]에서는 촉각 요소가 있고 시각적 정밀도가 높은 환경(5번 환경)과 촉각요소와 다른 감각 요소가 결합되어 있는 환경(14, 15번 환경)들을 비교한 것이다. 촉각 요소가 고정되어 있는 상태에서는 다른 감각 요소의 추가가 현실감을 증가시키는 역할을 하고 있다.

표 7 시각적 정밀도가 '상'일 때 두 가지의 감각 요소들이 있을 경우와, 시각적 정밀도가 '하'인 환경에 모든 감각요소가 추가되었을 때의 비교

환경 #	시각	청각	후각	촉각	14개문항	15번 문항
4	상	○	○	×	35.2	48
6	상	○	×	○	30.2	37
7	상	×	○	○	33.5	30
16	하	○	○	○	40.7	64

[표7]은 시각적 정밀도가 높은 환경 중 나머지 감각 변수들이 두 개씩 결합한 환경(4, 6, 7번 환경)들과 시각적 정밀도가 낮지만 모든 감각 요소들이 포함되어 있는 환경(16번 환경)을 비교한 표이다. 모든 감각 요소가 포함된 환경에서 현실감이 높게 측정되었음을 볼 수 있다.

현실감 측정에 사용된 마지막 문항인(15번 문항) 1부터 100까지의 값으로 표현한 문항에 대해 통계적으로 유의한 값을 나타낸 감각 요소는 시각적인 요소로 나타났다. $[P(F>6.23)=0.0148]$

6.2 기억력 측정

기억력 측정은 피실험자가 가상환경 속에서 보았던 사물의 위치에 대한 기억력을 측정하는 것과, 공간적으로 위치적 개념을 어느 정도 파악했는지를 검토함으로

표 8 각 감각변수들에서의 공간적 위치 파악에 대한 평균과 표준편차 (최대 8점)

기억력 (공간 개념)		
시각	평균	sd
'하' 평균	4.6	1.34
'상' 평균	5	1.85
전체 평균	4.8	
청각	평균	sd
× 평균	4.7	1.67
○ 평균	4.8	1.58
전체 평균	4.8	
후각	평균	sd
× 평균	5	1.48
○ 평균	4.5	1.72
전체 평균	4.8	
촉각	평균	sd
× 평균	4.8	1.34
○ 평균	4.8	1.87
전체 평균	4.8	

표 9 각 감각변수들에서의 사물의 위치 기억에 대한 평균과 표준편차 (최대 9점)

기억력 (사물의 위치)		
시각	평균	sd
'하' 평균	5.3	1.19
'상' 평균	6.1	1.43
전체 평균	5.7	
청각	평균	sd
× 평균	5.8	1.35
○ 평균	5.6	1.37
전체 평균	5.7	
후각	평균	sd
× 평균	5.6	1.53
○ 평균	5.7	1.18
전체 평균	5.7	
촉각	평균	sd
× 평균	5.4	1.4
○ 평균	5.9	1.29
전체 평균	5.7	

서 결과를 분석하였다.

6.2.1 공간적 구조 파악 (Spatial Layout)

공간적 위치 개념에 대한 인식이 있어서, 이번 실험을

통하여 통계적으로 유의한 요소를 찾을 수는 없었다. [표8]에서 각 감각 요소별로 나누어 통계치를 내 본 결과에서도 감각 요소들이 공간적 구조 파악에 별다른 차이를 내고 있지 않음을 확인할 수 있다.

6.2.2 사물의 위치

사물에 대한 위치를 기억하는데 통계적으로 유의한 값을 나타낸 감각요소는 시각 [P(F>6.28) = 0.0144] 요소이다. 나머지 요소는 사물의 위치를 기억하는 부분에서 통계적으로 유의한 효과는 주지 못하였다.

[표9]에서도 사물의 위치를 기억하는 것에 시각적 요소를 제외하고 다른 요소들은 감각 요소의 유무에 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 청각적 요소 이외의 다른 요소들은 근소한 차이이지만 감각요소가 추가되었을 때 조금 더 기억력에 도움을 주고 있는 것을 볼 수 있다. 현실감 측정과는 달리 촉각 요소의 추가는 가상환경에서 사물에 대한 기억력에 도움을 주는 것으로 나타났다.

7. 논의 사항 및 향후 연구 과제

우리는 이번 실험에서 시각적 정밀도를 '상', '하'로 구분할 객관적인 판단 기준을 갖는 정량화된 근거 제시가 불확실한 가운데 이번 실험을 통하여 제시한 시각적 상세도가 다른 수준에서 나타나는 현실감에 대한 일상적 견해를 다른 감각요소의 결합을 통하여 보완시킬 수 있음을 보이고자 하였다. 실제로 실험 결과는 전반적으로 그러한 영향력을 보여 주고 있지만, 앞에서 살펴보았듯이 몇 가지 부분에서 영향력을 판단할 수 없거나 상반된 결과를 보여주었다. 시각적 상세도가 높을수록 현실감과 비례한다는 가정하에, 낮은 시각적 상세도를 갖는 환경 속에 다른 감각요소를 첨가하여 현실감을 유지할 수 있다는 전반적인 결과를 얻어냈다. 그러나 우리가 이번 실험에서 수행한 현실체감도, 사물의 위치 파악, 공간적 개념 파악에 대한 조사에서 통계적 분석을 통하여 모든 감각 요소의 영향이 유의하다고 판단하는 데에는 부족한 결과를 보여 주고 있다. 이러한 문제는 역시 감각 요소들을 표현해 내는 방법에 있어서 해결해야 할 많은 사항들이 있음을 나타내 준다고 할 수 있다. 특히 촉각 장치에 대한 계속적인 연구가 요구됨을 볼 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 원광연, "전산학으로서의 가상현실", 정보과학회지 제 15권 제 11호, pp.5-13, 1997.
 [2] Heilig, Morton, U.S. Patent #3,050,870.

- [3] Fontaine, G., "The experience of a sense of presence in intercultural and international encounters," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.1, No.4, pp.482-490, 1992.
- [4] Barfield, W. and Hendrix, C., "The effect of update rate on the sense of presence in virtual environments," Virtual Reality : Research, Development, Applications, Vol.1, No.1, pp.3-15, 1995.
- [5] Hendrix, C. and Barfield, W., "Presence within virtual environments as a function of visual display parameters," Presence : Teleoperators and Virtual Environments, Vol.5, No.3, pp.274-289, 1996.
- [6] Heilig, Morton. "El Cine del Futuro : The cinema of the future," Presence : 1(3), pp.279-294, 1992.
- [7] Hendrix, C. and Barfield, W., "The sense of presence with auditory virtual environments," Presence : Teleoperators and Virtual Environments, Vol.5, No.3, pp.290-301, 1996.
- [8] Cater, J.P.. "The nose have it?," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.1, No.4, pp. 493-494, 1992.
- [9] 윤창노, 후각환경 제시기술, 감성측정평가 시뮬레이터 기술 개발 '98년도 제2차 Workshop, 한국과학기술연구원
- [10] Barfield, W. and Danas, E., "Comments on the use of olfactory displays for virtual environments," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.5, No.1, pp.109-121, 1996.
- [11] Kruger, M., "Reality stinks and so should virtual reality," Keynote address at VRMM96 in Gifu, Japan, 1996.
- [12] Kay M. Stanney, Ronald R. Mourant, Roberts S. Kennedy, "Human Factors Issues in Virtual Environments: A Review of the Literature," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.7, No.4, pp.327-351, 1998.
- [13] Ikei, Y., Wakamatsu, K., and Fukuda, S., "Texture presentation by vibratory tactile display." Proceedings of the IEEE 1997 Virtual Reality Annual International Symposium, pp.199-205, 1997.
- [14] Shimojo, M., Shinohara, M. and Fukui, Y., "Shape identification performance and pin-matrix density in a 3 dimensional tactile display," Proceedings of the IEEE 1997 Virtual Reality Annual International Symposium, pp.180-187, 1997.
- [15] Ogi, T. and Hirose, M., "Multi-sensory data sensualization based on human perception." Proceedings of the IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium, pp.66-70, 1996.
- [16] Huong Q. Dinh, Neff Walker and Larry F. Hodges, Chang Song, Kobayashi, "Evaluating the

Importance of Multi-sensory Input on Memory and the Sense of Presence in Virtual Environments," Proceedings of the IEEE Virtual Reality, pp.222-228, 1999.

- [17] Bob G. Witmer and Michael J. Singer, "Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire," Presence : Teleoperators and Virtual Environments, Vol.7, No.3, pp.225-240, 1998.
- [18] 김현정, 고희동, 김진우, "VR 시스템의 FOV와 Frame Rate가 Navigation에 미치는 영향에 관한 연구", HCI'2000, pp.712-718, 2000.

부 록 A

기억력 측정(The Location Questions)

1~9는 공간적 구조 파악을 위한 문항이며, 10~17는 사물의 위치파악을 위한 문항이다. 각 문항은 하나 이상을 선택할 수 있는 6~7개의 보기로 구성이 되어 있다. (예: 라운지, 화장실, 커피숍, 꽃가게, 옷가게, 존재하지 않는다, 기억나지 않는다)

1. 다음 중 쇼핑물에서 복도 중앙에 위치해 있던 것은 무엇입니까?
2. 다음 중 에어컨이 위치했던 곳은 어느 곳입니까?
3. 다음 중 라운지에 대한 설명으로 가장 적당하지 않은 것은?
4. 다음 보기 중 가장 적절하게 짝을 이루고 있는 것은? (방금 체험한 가상환경은 어떤 계절이며, 하루 중 어느 시간대로 추측됩니까?)
5. 다음 중 쇼핑물에서 구입할 수 없는 물건은?
6. 다음 중 공중 전화가 위치해 있던 곳을 가장 잘 설명하는 것은?
7. 다음 중 파라솔이 있던 장소는 어느 곳입니까?
8. 다음 중 쇼핑물 내부에 있는 파라솔 앞에 앉아서 경험할 수 없는 것은?
9. 다음 중 둘러보았던 쇼핑물에서 할 수 없는 일은 무엇입니까?
10. 쇼핑물에서 처음으로 방문했던 장소는?
11. 쇼핑물 내부에서 마지막으로 들렀던 장소는?
12. 공중전화 박스 다음으로 방문한 장소는?
13. 쇼핑물에서 처음 시작위치를 기준으로 좌측과 우측으로 나누었을 때 우측에 있던 것은?
14. 꽃가게는 다음 중 쇼핑물의 어느 위치에 있었습니까?
15. 다음 중 방문했던 장소들 중에서 화장실이 가장 가까운 장소는?
16. 다음 중 꽃가게를 정면으로 보았을 때 좌측에 붙어 있던 것은?
17. 꽃가게에 도착하기 바로 전에 보았던 것은?



홍 정 훈

1998년 한림대학교 컴퓨터공학부(공학사). 2000년 한림대학교 컴퓨터공학부(공학석사). 2000년 ~ 현재 (주)케이시아이 시스템 부설 기술연구소 선임연구원. 관심분야는 가상현실, HCI, Animation 등



정 동 현

1999년 한림대학교 컴퓨터공학부(공학사). 1999년 ~ 현재 한림대학교 정보통신공학부 석사과정. 관심분야는 가상현실, HCI, 감성공학 등



심 송 용

1985년 서울대학교 계산통계학과(이학사). 1987년 서울대학교 계산통계학과(이학석사). 1994년 University of Wisconsin-madison(Ph.D.) 현재 한림대학교 수화통계학부 조교수. 관심분야는 statistical computing 등.



송 창 근

1981년 서울대학교 계산통계학과(이학사). 1983년 한국과학기술원 전산과(공학석사). 1992년 University of Oklahoma 전산학 Ph. D. 현재 한림대학교 정보통신공학부 부교수. 관심분야는 과학계산, 병렬알고리즘, 가상현실 등.