

가상현실에서 아바타를 통한 정보전달 시 뇌의 활성화와 현존감의 관계*

The Relationship between Brain Activities and Presence on Communication using an Avatar in Virtual Reality

이 형 래** (Hyeonrae Lee)	구 정 훈** (Jeonghun Ku)	김 소 영*** (Soyoung Kim)	윤 강 준**** (K J Yoon)
남 상 원**** (Sang-Won Nam)	김 재 진*** (Jae-Jin Kim)	김 인 영** (In Young Kim)	김 선 일** (Sun I. Kim)

요 약 가상현실은 감각기관에 전달하는 정보를 조작하여 가상의 경험을 피험자에게 제공하고, 사람은 가상현실에서 제공하는 감각적인 정보를 뇌에서 통합하여 상황을 판단한다. 그러한 판단을 통해 가상현실이 얼마나 실제와 같은지 아닌지 지각하고 판단하게 된다. 이렇게 어떤 특정한 또는 이해할 수 있는 장소에 존재한다고 생각하는 인간의 지각상태를 나타내는 요소를 ‘현존감’이라고 한다. 가상의 환경을 사용자가 실제처럼 느끼고 그 내용을 받아들이도록 하는 것은 중요한 목표이다. 또한 현존감은 가상현실에서 경험하게 되는 여러 가지 감각적인 정보들을 통하여 느끼는 종합적인 느낌을 반영한다. 따라서 여러 가지 감각적인 정보들을 통합하는 과정에서 현존감과 관련된 뇌의 메커니즘이 존재할 것이다. 현존감은 매체를 통한 정보전달 시, 매체에서 전달되는 여러 가지 정보나 자극에 대한 사용자의 지각 및 인식과 중요한 관련이 있기 때문에 현존감의 정도는 개인이 지각하는 정보의 명확성에 영향을 준다. 이를 알아보기 위해서 사회적인 상황에서의 명확성의 차이를 가지는 내용을 아바타를 통해 전달하고 피험자가 그 내용을 바탕으로 추론해보는 가상현실을 구성하였다. 그리고 피험자가 전달받은 내용을 바탕으로 추론하는 동안 뇌 영역 활성화의 차이와 가상현실에 대한 현존감 점수가 관련된 뇌 영역을 알아보았다. 실험 결과 우측 허이랑, 우측 췌기소엽, 좌측 허이랑, 우측 방추상이랑, 좌측 하측두이랑, 전대상피질 그리고 우측 후대상피질에서 유의미한 양의 상관관계가 있었다. 본 연구는 가상현실을 통한 정보의 전달 시 현존감의 영향을 뇌 기능영상 촬영을 통해서 내부 메커니즘의 측면에서 살펴보았다는 것에 의의가 있다.

주제어 현존감, 가상현실, 뇌기능영상, 전대상피질, 후대상피질

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10533-0)지원으로 수행되었음.

** 한양대학교 의용생체공학과

교신저자: 구정훈, 한양대학교 의용생체공학과 조교수

(133-791) 서울시 성동구 행당동 17, 한양대학교 제2의학관, E-mail: kujh@bme.hanyang.ac.kr

*** 연세대학교 세브란스 정신건강병원 행동과학연구실

**** 강남 베드로 병원

***** 한양대학교 전자전기공학과

Abstract Virtual reality (VR) provides a virtual experiment (VE) context consisting of information presented to the senses of the user. The user perceives and interprets the VE context, and then naturally recognizes a level of realism in the VE. Presence is often thought of as the sense of 'being there' in the VE. Presence includes overall feelings about the information conveyed from a virtual avatar to the user. Therefore, there must be brain mechanisms for integrating sensory information about presence. 'Feeling of presence' is related with the user's cognition and perception about information on communication through medium. Thus 'feeling of presence' may characterize perceptual mechanisms in the brain. We studied these mechanisms by presenting a VR that consisted of an avatar telling a story about a social conversation. We performed covariance analysis on subjective brain activity (fMRI) during the story presentation with a presence score. The data analysis revealed that activity in several brain areas was correlated with the presence score. A positive correlation was shown in the right lingual gyrus, right cuneus, left lingual gyrus, right fusiform gyrus, left inferior temporal gyrus, anterior cingulate cortex and right posterior cingulate cortex of the brain. This study showed the brain mechanism to be related the feeling of presence and brain activities in our subjects, using VR to communicate information.

Keywords presence, virtual reality, fMRI, anterior cingulate cortex, posterior cingulate cortex

서론

우리는 정보를 습득하는데 있어서 대부분 어떤 매체(media)를 통해서 정보를 습득하게 된다. 매체란 인간 상호간에 정보, 지식, 감정, 의사 등을 전달하는 수단을 의미한다. 주변을 살펴보다라도 소설을 읽을 때, TV를 시청할 때, 인터넷을 이용할 때, 컴퓨터로 대화할 때, 가상현실 기구를 사용할 때 등 우리는 수많은 매체를 이용하여 여러 가지 정보를 습득하거나 생활에 활용하고 있다.

이러한 여러 가지 매체들 중에서 가상현실 기술은 3차원의 환경과 멀티 모달리티의 자극을 실제와 유사하게 제시하여 사용자가 컴퓨터가 만들어낸 세계에 실제 존재하는 것처럼 느끼고, 가상현실의 사건에 대해 실제적으로 반응할 수 있게 할 수 있는 이유로 가장 주목 받고 있다. 또한 가상현실은 컴퓨터로 통제되는 가상환경 안에서의 사용자의 행동들은 컴퓨터에 모두 저장이 가능하며, 객관적인 분석

을 용이하게 하는 장점을 지닌다. 이러한 장점들로 인해 이미 산업, 군사, 엔터테인먼트, 의료 분야에 적용되고 있다. 또한 교육 분야에서 가상현실의 장점을 활용하여 교육의 효율성을 증가시키기 위해서 가상현실을 교육매체로서 활용하려는 시도가 이루어지고 있다 (Bronack, Riedl, Tashner, & Greene, 2006; Richard, Tijou, & Richard, 2006). 그리고 사용자의 콘텐츠에 대한 현존감을 강력히 요구하고 이를 활용하여 진단이나 치료에 응용하는 의료분야에서의 활용 예를 살펴보면 공포증(Rothbaum et al., 1995; Jang et al., 2002; Wiederhold et al., 2002)이나 집중력장애가 있는 환자의 치료(Rizzo, 2000; Cho et al., 2002)와 정신분열병 환자의 인지능력 평가(Ku et al., 2003), 뇌 손상 환자의 재활훈련에 적용(Lee et al., 2003)된 바 있다. 또한 3차원공간에서 공간을 탐색하고 기억하는 인간의 특징을 연구(Vidal, Amorim, & Berthoz, 2004)하거나 평가(Oman et al., 2002)하는 데에도 가상현실이 사용되었다. 또한 기술

의 발전으로 인해 사람과 비슷한 아바타라는 에이전트(agent)가 도입되어 가상현실을 활용한 원격회의(Shirmohammadi & Georganas, 2001)나 가상현실에서 아바타를 청중으로 한 연설 훈련 프로그램(Slater, Pertaub, & Sreed, 1999)에 적용되었고, 수많은 온라인 MMORPG¹⁾ 게임에 활용되는 등 가상환경에서 중요한 사회적인 객체로 활용되고 있다.

가상환경에서의 경험은 크게 세 단계로 나누어져 이루어지게 되는데, 먼저 가상환경에서 사용자는 가상환경과 같은 물리적 환경에서 주어지는 다감각적인(multi-sensory) 자극을 여러 감각기관(시각, 청각, 촉각 등)을 통해서 받아들여지게 된다. 그 다음 사용자는 받아들인 자극을 뇌에서 감각의 지각, 인지 과정의 상호작용을 거쳐서 통합하는 정신적인 과정을 거쳐 가상현실을 현실처럼 지각한다. 그 결과 사용자는 가상현실에 대해서 생체신호, 행동, 감정의 변화 등 가상현실에 대한 반응을 나타낸다(Ijsselsteijn, 2002).

여기서 사용자가 가상현실을 현실처럼 지각하는 정도 다시 말해 ‘어떤 특정한 또는 이해할 수 있는 장소에 존재한다고 생각하는 인간의 지각’상태를 나타내는 것이 ‘현존감(presence)’이다. 가상현실은 다감각적인 경험을 통해 사용자를 가상공간에 완전히 몰입시킬 수 있는 효과(immersion effect)를 내는 것을 목적으로 하고 있다. 그래서 현존감은 가상환경에서 사용자가 얼마나 그 가상환경을 실제로 느끼는지를 알 수 있는 중요한 파라미터 중

하나이다. 그러나, 현재 기술 수준의 한계로 인해서 가상의 환경을 실제와 똑같이 구현하는 것은 매우 어려운 일이기 때문에 한정된 자원을 효율적으로 활용하여 최대의 효과를 내기 위해서 ‘현존감’에 관한 연구는 필수적이고 그동안 많은 연구들이 이루어져왔다(Sanchez-Vives & Slater, 2005).

먼저 가상환경에서 주어진 자극을 사용자가 받아들이는 과정에서 현존감에 영향을 주는 요소는 여러 가지가 있는데, 크게 ‘어떤 자극을 어떻게 경험하는가?’를 나타내는 외부적인 요소와 ‘주어진 자극을 사용자가 어떻게 받아들이는가?’를 나타내는 내부적인 요소로 구분할 수 있다. 여기서 외부적 요소는 가상환경에서 실재감을 위해 제공하는 객관적인 요소로서 대체로 기술적인 부분과 관련이 있고, 내부적 요소는 각각의 피 실험자가 제공된 자극을 받아들이는 심리적인 양상을 가리킨다.

외부적인 요소인 기술 인자와 관련하여, 이미지 크기 또는 시야(field of view)(Prothero & Hoffman, 1995; W. Ijsselsteijn, 2001; J.J.-W. Lin, 2002), 장면 업데이트 속도(the update rate)(W. Barfield, Baird, & Bjorneseth, 1998), 입체영상(stereoscopy)(Freeman, Avons, Meddis, Pearson, & Ijsselsteijn, 2000; Hendrix & Barfield, 1996; W. Ijsselsteijn, 2001), 기하학적 화각(geometric field of view)(Hendrix & Barfield, 1996), 그림의 사실성(pictorial realism)(Welch, Blackmon, Liu, Mellers, & Stark, 1996), 그림의 움직임(image motion)(W. Ijsselsteijn, 2001), 사용자의 주변을 프로젝터 스크린을 통해 가상환경이 제시되는 CAVE²⁾ 환경과 데스크탑 환경의 비교(A. Axelsson, 2001), CAVE 환경과 HMD환경의 비교(Krijn et al.,

1) MMORPG: Massively Multiplayer Online Role Playing Game을 줄여서 말하는 것이며, 동시에 수천 명 이상의 플레이어가 인공적으로 구현된 게임 속 가상 현실세계에 접속하여 각자의 역할을 맡아서 플레이하는 게임

2) CAVE: Computer-Assisted Virtual Environment

2004), 소리의 공간감성(spacial sound) 및 소리 채널의 개수(the number of audio channels)(Västfjäll, 2003), 촉각 자극(tactile)(Dinh, 1999; H. Hoffman, 1996), 후각자극(olfactory cues)(Dinh, 1999), head tracking의 사용(W. Barfield, Hendrix, & Bystrom, 1997), 피드백의 지연(feedback delay)(Welch, Blackmon, Liu, Mellers, & Stark, 1996), 제시 및 개입된 감각 차원 및 경로의 수(Steuer, 1992), 실제 환경의 분리(Witmer & Singer, 1998)가상 환경에서 상호작용의 가능성(P. Larsson, 2001; Welch, Blackmon, Liu, Mellers, & Stark, 1996), 가상환경에서 몸의 움직임의 가능성(Slater, Steed, McCarthy, & Maringelli, 1998), 장비의 편안함과 이동의 용이성(Bystrom, Barfield, & Hendrix, 1999) 등 미디어의 형태와 관련된 연구들이 주로 보고되었다.

사용자 인자와 관련하여 시스템 기능 적용 및 학습(Loomis, 1992), 기술을 다루어본 경험과 친숙성(Loomis), 가상 환경에 대한 주의 집중 또는 참여(McGreevy, 1992; Slater & Usoh, 1993; Witmer & Singer, 1998), 성별(J.J.-W. Lin, 2002; Lombard), 분위기(Russell, 1994), 가상환경에서의 자신의 움직임에 대한 지각(Witmer & Singer, 1998), 가상적인 자신에 대해 지각된 위험 요소(Slater & Usoh, 1993), 공간지각력(spatial intelligence), 내향성(introversion) 및 가상현실에 대한 불안감(anxiety)(Jurnet, Beciu, & Maldonado, 2005)이 사용자의 현존감에 영향을 주는 것으로 연구되었다. 이러한 요소들의 영향에 의해서 사용자는 가상환경에서 현존감의 차이를 가지게 되고, 이러한 차이는 각성(arousal)(Heeter, 1992), 분위기(mood)(Bystrom, Barfield, & Hendrix, 1999), 기억력(memory)(Bionca, 1999), 업무 수행 및 기능 교육 개선(Pausch, Shackelford, & D., 1993, October) 등에 영향을 미치는 것으로 밝

혀져 있다.

그러나 기존의 연구들은 자극의 다양한 입력에 따른 인간의 반응의 차이를 이야기 하고 있을 뿐, 어떤 과정을 거쳐서 그런 차이가 발생하고 있는지에 대해서는 설명하지 못하고 있다. 다만 Ijsselsteijn, W.는 현존감이 뇌의 기능과 관련이 있다고 생각하고, 현존감 발생 과정과 관련된 뇌 영역들이 뇌의 감각의 입력 통로와 관련된 영역, 감각 및 운동 관련 영역, 여러 감각의 조정 및 통합 및 그와 관련된 집중(attention)과 관련된 영역, 공간감과 관련된 영역들이 관련이 있을 것으로 이론적인 모델을 제시하였다(Ijsselsteijn, 2002). 현존감에 대한 근본적인 이해를 위해서는 입력이 출력으로 연결되는 그 중간과정을 이해하는 것이 필요하고, 이 중간과정은 뇌의 여러 기능들의 복합적인 작용에 의한 것으로 뇌의 직접적인 관찰을 통해서만 정확한 이해가 가능할 것인데 아직 현존감과 관련된 뇌의 기능적인 작용을 살펴본 연구는 없었다.

앞에서 살펴본 바와 같이 현존감은 매체를 통한 정보전달 시, 매체에서 전달되는 여러 가지 정보나 자극에 대한 사용자의 지각 및 인식과 중요한 관련이 있다. 가상현실은 정보를 전달하는 매체 중에 아주 대표적인 매체로서, 이를 통해 전달되는 사회적 정보를 잘 인식하여 우리가 필요로 하는 정보를 인식, 유지 및 가공하는 데는 현존감의 역할이 매우 중요하다. 즉, 매체에서의 현존감은 매체를 통한 사회적 상황에서의 정보전달에서 발생할 수 있는 정보의 왜곡의 정도에 영향을 끼친다고 말할 수 있으며, 이는 현존감의 정도에 따라 개인이 지각하는 정보의 명확성에 영향을 준다는 것을 말한다. 또한, 현실에서 사회적 정보의 전달의 대부분은 타인과의 의사소통

통해서 이루어지는데, 가상현실에서는 타인을 대변하는 아바타나 가상의 아바타가 현실의 타인을 대신하는 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 가상현실에서 아바타를 통한 사회적 상황에서의 대화(social conversation)를 통하여 전달된 정보의 처리에 있어서 현존감이 어떻게 영향을 미치는지 뇌의 직접적인 관찰을 통해 알아보았다. 가상현실 콘텐츠는 아바타가 명확한 정보와 명확하지 않은 정보를 전달하는 것으로 상황을 구성하였고, 뇌의 직접적인 관찰을 위해 뇌기능영상(fMRI, functional Magnetic Resonance Imaging) 촬영을 하였다.

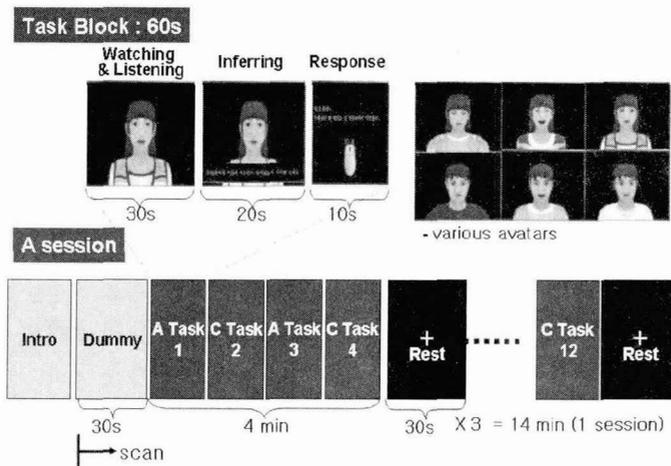
실험/연구

가상현실 내용 및 실험 디자인

본 연구에서 사용된 가상현실 콘텐츠는 우

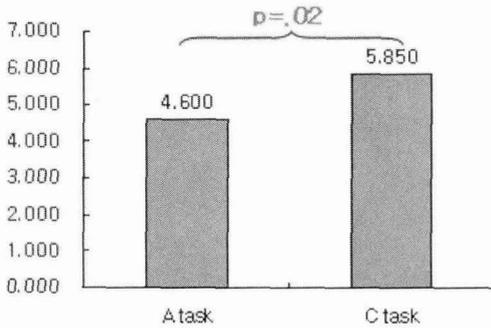
리가 타인과 대화하는 수많은 상황 중 가장 보편적인 상황은 상대를 마주보고 있는 상황 이므로, 실험 환경에서 개인의 지각적 차이를 발생시킬 수 있는 요소를 최대한 배제하기 위해 몸짓이나 손짓 등의 제스처를 제외하였고, 얼굴표정만을 가진 아바타가 정면에서 마주보고 사용자에게 이야기를 하는 상황으로 구성하였다. 또한, 아바타의 말과 입술의 움직임은 동기화하여 자연스럽게 하였다.

대화 내용은 위에서 기술한 사회적 상황에서의 정보의 명확성에 영향을 주는 현존감의 영향을 살펴보기 위해 실험과제로는 사회적 상황과 관련된 내용으로 중요한 정보를 생략하고 알려주는 과제(애매한 과제, Ambiguous Task, 이하 A task)와 컨트롤 과제로 명확하게 모든 정보를 알려주는 과제(명확한 과제, Clear Task, 이하 C task) 두 가지로 구성하였다(표 1). 하나의 task블록의 구성은 아바타가 이전에 어떠한 일이 있었을 지를 이야기하는 것을 30



(그림 1) 가상현실 실험 디자인

하나의 task블록은 보고, 듣는(Watching and Listening) 경험 부분, 추론하는(Inferring)부분과 응답(Response)부분으로 구성. 하나의 session에는 C task 6개와 A task 6개를 무선 적으로 배열. 피험자는 총 24개의 task로 이루어진, 내용이 서로 다른 2개의 session을 수행



(그림 2) 과제의 애매함 차이를 알아보기 위한 예비실험 결과.

A task와 C task 사이에 유의미한 차이를 보임($p < .05$)

초 동안 보고, 듣는(Watching and Listening) 경험 부분, 아바타의 이야기를 들은 후 20초 동안 추론하는(Infering)부분과 피험자가 실험 동안 집중력을 유지하도록 하기위해서 아바타가 이야기한 내용과 관련된 O/X문제에 응답(Response)하는 10초 부분으로 이루어져있다. 하나의 session에는 총 12개의 블록(C task 6개와 A task 6개)를 무선 적으로 배열하여, 피험자는 총 2개의 내용이 서로 다른 session을 수행하도록 하였다. 추론 구간에서는 ‘주인공에게 이전에 어떠한 일이 있었을 지를 생각해 보세요.’라고 지시문이 화면 하단부에 주어졌다

(그림 1).

두 종류의 과제(A task와 C task)에서 정보의 명확한 정도의 차이를 알아보기 위해서 정상인 5명을 대상으로 pre-test를 하였다. 실험 디자인은 (그림 1)과 같이 구성하였고, 매 블록마다 진행을 잠시 멈추고 ‘주인공에게 어떤 일이 있었는지 생각해본 내용을 확신 할 수 있습니까?’ 라는 질문을 하였다. ‘가장 확신할 수 있었다’를 7점으로 하고 ‘전혀 확신 할 수 없었다’를 1점으로 한 리커트 척도(Likert scales)로 두 과제의 차이를 비교하여 보았다. 예비 실험에서 C task는 평균 6점으로 내용을 거의 확신하는 것으로 보였고, A task는 평균 4.5점 정도로 약간 확신을 하지만 C task보다는 정보의 명확성을 약하게 인식하는 결과를 보였다 (그림 2).

피험자

피험자는 일반적인 사회적인 상황에서의 대화를 이해하는데 어려움이 없는 건강한 오른손잡이 성인 남자 7명, 여자 8명을 모집하였다. 평균나이는 26.21(표준편차: 1.94, 범위: 23~31)이었다.

<표 1> 실험에 사용된 재료의 예시. (가) A task의 내용과 관련 O/X문제, (나) C task의 내용과 관련 O/X문제

(가) 아, 졸려. 시간은 오전 11시쯤 됐네. 아, 근데 왜 이렇게 잠이 오지? 나른하고 눈이 자꾸 감기려고 하네. 그렇지 않아도 아까 얘기할 때부터 슬슬 졸음이 왔었거든. 근데 지금은 너무 졸리네 오라~ 왜 이렇게 졸린 가 했더니 그래서구나. 하긴 뭔가 이유가 있다 했지. 더 졸리기 전에 일단 세수부터 하고 와야겠다.

O/X: 주인공이 밤새 컴퓨터 게임을 하느라고 잠을 많이 못 잤다.(O)

(나) 이따 뭘 입고 나가야 할까? 검은색 정장을 입을까 생각 중인데, 괜찮아 보일런지 모르겠다. 일단 서류전형은 통과했다고 그러고, 며칠 전부터 예상 질문 뽑아서 연습도 했으니까 당황하지 않고 잘 말할 수 있겠지? 질문에 또박또박 잘 대답하는 것도 중요하지만 일단은 첫인상이 좋아야할 거 같아. 그러니까 역시 단정해 보이는 검은색 정장을 입고 가는 것이 좋겠어.

O/X: 주인공이 단정한 옷차림과 함께 면접 보러 오라는 연락을 받았다. (O)

fMRI 데이터 측정

fMRI 촬영은 강남 베드로 병원의 1.5T MRI 장비(GE Medical System) 사용하였다. BOLD (Blood Oxygenate Level Dependent) 신호는 EPI sequence (Gradient Echo)로 Axial 방향으로 촬영하였다(64x64x30 matrix with 3.75x3.75x5-mm spatial resolution, TE: 14.3, TR: 2s, FOV: 240mm, Slice thickness: 5mm, FA=90, # of slices: 30). T1 이미지는 FSPGR sequence로 Coronal 방향으로 촬영하였다(256x256x116 matrix with 0.94x0.94x1.50-mm spatial resolution, FOV: 240mm, Thickness: 1.5mm, TR: 8.5s, TE: 1.8s, FA: 12, # of slices: 116). 피험자가 잠시 쉬면서 기운을 회복할 수 있도록 하기 위해서 1 session을 진행하고 T1 이미지를 촬영한 후 다음 2 session을 진행하였다.

현존감 점수 측정

fMRI 촬영 후 피험자는 MR방에서 나와서 경험하였던 가상현실에 대해서 현존감 점수를 보고하였다. 현존감 설문지는 현존감 측정 설문지 중 가장 많이 사용되고 있는 Bob G. Witmer의 현존감 설문지(Ver. 2.0)를 사용하였다. 설문지 문항들은 관여도/조종성(Involvement/Control), 자연스러움(Natural), 소리(Auditory), 촉감(Haptic), 해상도(Resolution), 인터페이스의 질(Interface Quality)과 관련된 문항으로 나눌 수 있고, 각 문항들은 조종적 요소(Control factors), 감각적 요소(Sensory factors), 산란적 요소(Distraction factors), 사실적 요소(Realism factors) 중 하나 또는 둘 이상의 요소를 가지고 있다(Witmer & Singer, 1998). 설문 문항에서 촉감과 관련된 문항은 제외하여 사용하였다. 각 피험

자의 현존감 점수는 각 문항의 점수를 모두 더하여 구하였다. 수정된 현존감 설문지에서 나올 수 있는 점수의 범위는 0~190이다. 수정된 현존감 설문지는 SPSS(Ver. 12.0.1)를 사용하여 신뢰성 분석을 한 결과 신뢰성이 있다고 판단되었다(피험자 수=15.0, 설문 문항 수=19, Alpha=.8385).

fMRI 데이터 분석

데이터 분석은 AFNI(Analysis of Functional NeuroImages, Ver. 2005_12_30_0934)를 이용하였다. 머리의 움직임에 의한 MR signal의 비정상적인 값을 제거해주기 위해서 median filter를 사용하여 시간적 평활화(Temporal Smoothing)를 하였다. 이미지 데이터를 탈라이라 좌표(Talairach space)로 변환해주기 위해서 AFNI 소프트웨어에서 같이 제공하는 Montreal Neurological Institute (MNI) N27 template을 사용하여 이중선형 보간법(bilinear interpolation)으로 공간적 표준화(Spatial Normalization)을 하였다. EPI 데이터는 표준화(Normalization)한 T1 이미지를 사용하여 2x2x2mm³의 해상도로 이중선형 보간법(bilinear interpolation)으로 공간적 표준화(Spatial Normalization)를 하였다. 공간적 평활화(Spatial Smoothing)는 FWHM(full-width at half maximum)을 9mm로 하여 가우시안 필터(Gaussian filter)를 사용하였다.

전처리(Preprocessing) 후 개인의 fMRI 데이터를 General Linear Model을 사용한 분석을 통하여 가상현실을 구간을 나누어 경험구간(30초)과 추론구간(20초)에서 각각의 피험자 별로 A task와 C task의 대조영상의 뇌 활성화 맵을 얻었다. 그리고 피험자 각각의 가상현실에서 아바타를 통한 정보 전달시 가상현실 경험 동

안의 현존감과 관련된 뇌 활성화 영역을 알아보기 위해서 경험구간과 추론구간 각각의 A task와 C task의 뇌 활성화 차이와 현존감 점수의 상관분석(correlation analysis)을 하였으며 $p < 0.01$ 의 유의수준에서 관련 영역을 관찰하였다. 또한, 사후 분석으로, 현존감에 영향을 받는 뇌의 영역만을 살펴보기 위해 정답률과 현존감 점수를 고려한 공변량 분석을 수행하였으며, 이때 정답률에 의한 영향을 제거한 후 결과를 관찰하였다. 응답구간(10초)은 본 연구에서 피험자의 실험 참여 집중도를 유지하기 위한 목적이었기 때문에 행동반응을 분석하였으나 뇌 활성화 분석은 수행하지 않았다.

결 과

현존감 점수

현존감 점수 피험자의 현존감 점수 평균은 107.86 이었다(표준편차: 15.51, 범위: 80~132). 점수의 분포를 살펴보면 평균에서 극단적으로 벗어난 값은 관찰되지 않았으며, 본 연구에서 예상했던 바와 같이 가상현실 경험에서 모든

피험자들에서 현존감 차이를 보였다.

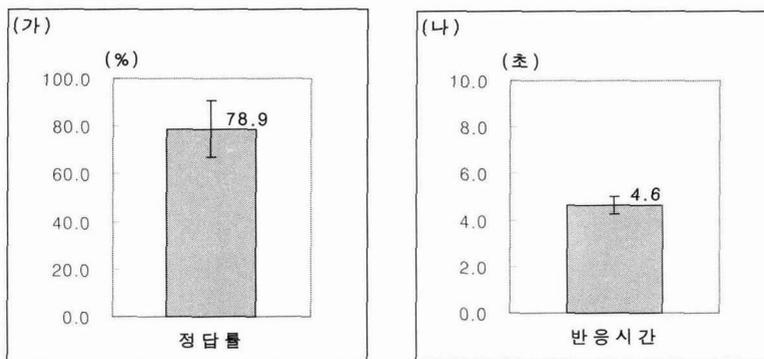
행동반응 결과

피험자 O, X문제 반응시간과 정답률은 (그림 3)과 같았다. 응답률의 평균은 99.4였다.

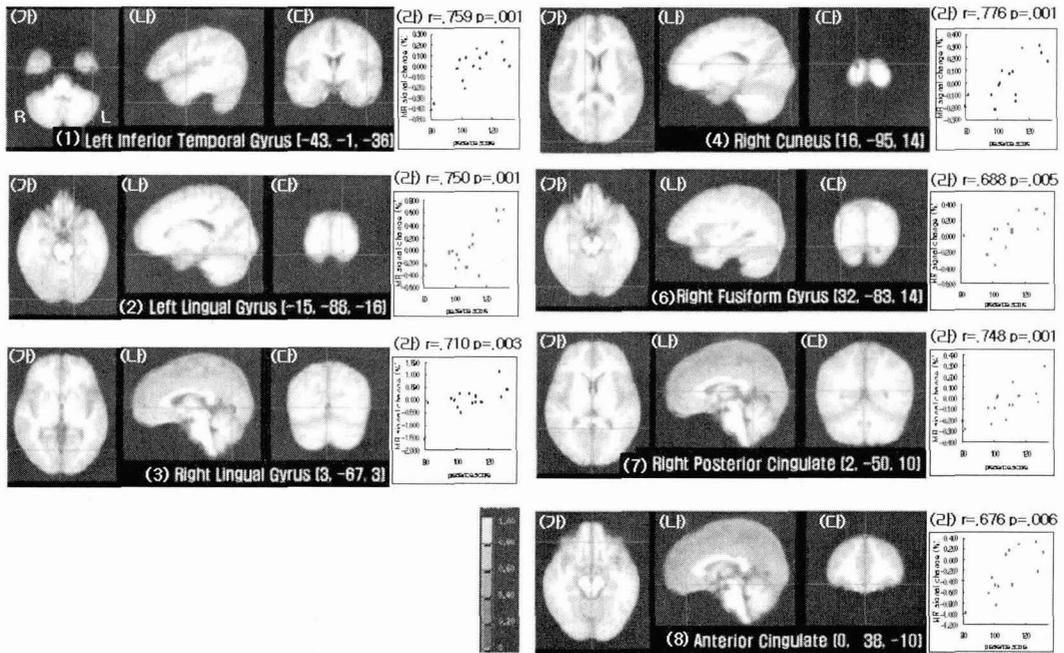
fMRI 데이터와 현존감 점수 상관 분석 결과

먼저 경험구간(30초)에서의 A task 와 C task의 대조영상의 뇌 활성화 차이와 피험자의 현존감 점수와의 상관관계가 유의수준 $p < 0.01$ 에서 유의미하게 나타나는 영역은 없었다.

추론구간(20초)에서는 A task와 C task의 대조영상의 뇌 활성화 차이와 피험자의 현존감 점수와의 상관 분석 결과 정적 상관관계가 유의수준 $p < 0.01$ 에서 유의미하게 나타나는 영역이 있었다. 모두 정적 상관관계를 보였는데, 그 영역들은 우측 혀이랑(right lingual gyrus), 우측 췌기소엽(right cuneus), 좌측 혀이랑(left lingual gyrus), 우측 방추상이랑(right fusiform gyrus), 좌측 하측두이랑(left inferior temporal gyrus), 전대상피질(anterior cingulate cortex) 그리고 우측 후대상피질(right posterior cingulate



(그림 3) O,X 문제 (가) 평균 정답률 (나) 평균 반응시간



(그림 4) 추론구간에서 뇌 활성화 차이(A task - C task)와 현존감 점수와 관련 있는 뇌 영역 (가) Axial view (나) Sagittal view (다) Coronal view (라) 각 영역에서 A task관련 뇌 활성화와 C task관련 뇌 활성화의 차이와 피험자 현존감 점수 분포와 상관관계 그래프 (가로축: 현존감 점수, 세로축: MR signal change(%)), 각 위치의 명칭 옆의 좌표는 뇌에서 탈라이라 좌표

cortex)이었다(그림 4).

논 의

매체를 통한 정보의 전달 시 현존감과 관련된 뇌의 메커니즘을 이해하기 위해, 사회적 상황에서의 대화(social conversation)와 관련된 내용을 아바타가 전달하는 내용으로 가상현실을 구성하고, 매체를 경험하고 정보를 처리하는 동안 현존감과 관련지어 전달되는 정보를 처리하는데 있어서 뇌의 메커니즘을 알아보고자 하였다. 결과를 보면 추론구간에서 A task와 C task의 뇌 활성화 차이가 피험자들의 현존감 점수 분포와 정적 상관관계를 보였다.

결과를 보면, 뇌에 사회적 정보를 처리하는 과정 중에 현존감에 영향을 받는 영역은 우측 혀이랑(right lingual gyrus), 우측 췌기소엽(right cuneus), 좌측 혀이랑(left lingual gyrus), 우측 방추상이랑(right fusiform gyrus), 좌측 하측두이랑(left inferior temporal gyrus), 전대상피질(anterior cingulate cortex) 그리고 우측 후대상피질(right posterior cingulate cortex)들이다.

본 결과에서 나타난 영역들은 현존감이 아니라 정보를 처리하는 과정을 수행하는데 있어서 유의미한 뇌의 활성화 차이를 나타내는 영역이라고 생각되어질 수도 있을 것이지만, 본 과제의 결과에서 나타난 영역들은 과제와 관련된 뇌의 영역을 나타내는 것이 아니라고 말할 수 있다. 이는, 위의 가설을 검증하기 위

해 실시한 사후분석의 결과에 의해서도 지지된다. 즉, 공변량 분석 시 현존감 점수와 정답률(Performance)을 같이 고려하여 분석해 본 결과 정답률에 대한 영향을 제외하고 현존감 점수만을 고려하여 도출한 결과가 본 연구에서 제시한 상관관계 분석을 통해 도출된 결과와 다르지 않게 도출되었다. 이는 정보처리의 과제와 관련되는 영역이라 할 수 있는 정답률과 관련된 영역은 정보의 불명확함을 해소하는데 관여하는 영역이라고 생각할 수 있는데, 이 영향을 제거한 분석에서 현존감과 관련된 영역이 유지되는 것으로 보아, 본 연구에서 관찰한 영역은 정보를 처리하는데 있어 현존감의 영향을 받는 영역이라 할 수 있을 것이다.

본 연구에서 관찰된 영역들 중에서 중심으로 살펴봐야 할 영역은 전대상피질과 후대상피질이다. 먼저 전대상피질을 살펴보면, 전대상피질은 뇌의 많은 부분과 연결되어 있고, 다양한 인지 작용(cognitive process)에서 조정(control), 관찰(monitored)과 관련되어 있는 것으로 기존의 뇌기능영상 연구와 양전자방출단층촬영(PET, positron emission tomography) 연구에서 보고되고 있다. 기존의 연구들은 살펴보면 의미의 애매함(Chan et al., 2004), 감정의 애매함(Simmons, Stein, Matthews, Feinstein, & Paulus, 2006), 새로운 것의 인식(Kim et al., 1999), 단어의 독해(Fiez & Petersen, 1998), 단어의 생성(Crosson et al., 1999), 작업 기억(Bunge, Ochsner, Desmond, Glover, & Gabrieli, 2001), 감정(Phan, Wager, Taylor, & Liberzon), 집중력(Corbetta et al., 1998; Mesulam, 1981)등과 관련이 있는 것으로 보고되고 있다.

전대상피질에서 정적 상관관계를 보인 것은 전대상피질과 시각관련 영역들이 같이 작용하여 가상환경의 자극을 받아들인데 있어서

어색함을 해결하는 것과 관련된 것으로 생각된다. 가상현실은 분명히 현실과 차이가 존재하고 그 차이가 어색함이라고 한다면 그 어색함을 적절히 잘 해소한다면 가상현실을 실제와 같다고 느낄 것이고, 그 어색함을 그대로 어색함으로 인지한다면 가상현실을 실제처럼 인지하지 못할 것이다. 허이랑은 생물학적인 움직임의 인식(Servos, Osu, Santi, & Kawato, 2002), 패턴의 지각과 학습(Roland & Gulyas, 1995), 시각적인 목표점으로 몸의 움직임 때 조절에 관련(Astafiev, Stanley, Shulman, & Corbetta, 2004)하여 보고되었고, 본 연구에서는 우측 방추상이랑 중에서도 후(posterior) 부분이었는데, 이 영역은 동물이나 탈것의 사진을 구분하여 확인할 때(Rogers, Hocking, Mechelli, Patterson, & Price, 2005), 종류의 이미지를 시각적인 'bottom-up' 방식 구분할 때와 단어를 'top-down' 방식으로 구분할 때 관련(Devlin, Rushworth, & Matthews, 2005)되어 보고되었다. 전체적으로 허이랑과 후방추상이랑은 시각 및 시각과 연관된 자극의 조절과 구분에 관여하고 있는데, 전대상피질은 이 영역들과 같이 가상현실의 시각적인 자극을 받아들여서 인식하고, 구별하고 조절하는 상호작용을 통해서 가상현실의 어색함을 해소하는 것과 관련된 영역으로 생각된다. 이러한 어색함의 해결은 몰입 정도, 즉 집중력과도 관련이 있을 것으로 생각된다. 또한 전대상피질은 정보의 처리에도 관련이 있는 것으로 생각되는데, 아바타로부터 전달된 정보의 기억과 모자관 정보를 바탕으로 아바타에게 어떤 일이 있었는지 추측하는 동안 발생하게 되는 애매함의 해결이나 새로운 단어의 생성에도 관련된 것으로 생각된다.

후대상피질과 다른 시각관련 영역에서 피험자의 현존감 점수 분포와 뇌 활성화의 차이가

정적 상관 관계를 보이는 이유는 현존감의 차이가 과제의 명확성의 인지에 영향 주는 것과 관련된 것으로 생각된다. 후대상피질에 관한 기존연구를 살펴보면 크게 기억, 고통 그리고 감정과 관련된 연구에서 보고되고 있는데, 후대상피질 상부가 주로 고통과 관련된 부분으로, 본 연구에서 나타나는 부분인 하부는 주로 기억과 관련된 연구에서 보고되고 있다 (Nielsen, Balslev, & Hansen, 2005). 그 중에서도 익숙한 내용과 관련된 기억(Kim et al., 1999), 자신 또는 자신의 주변과 관련된 일화 기억(episodic memory)과 관련되어 보고(Maddock, Garrett, & Buonocore, 2001)되고 있고, 다른 사람이 어떠한 생각을 하는지 생각(Theory of Mind)해 볼 때도 후대상피질이 관련된 영역으로 보고(Fletcher et al., 1995)되고 있다. 또한 특정한 상상의 형상을 그려내는 것에도 관련이 있는 영역으로 보고되고 있다(Gardini, De Beni, Cornoldi, Bromiley, & Venneri, 2005). 우측췌기소엽 역시 자신과 관련된 특정한 기억의 회상(Addis, McIntosh, Moscovitch, Crawley, & McAndrews, 2004)과 관련된 영역으로 보고되고 있고, 또한 특정한 이미지의 생성(Gardini, Cornoldi, De Beni, & Venneri, 2006)과 관련된 영역으로 보고되고 있다. 일화 기억은 개인의 시공간적으로 그 기억과 관련된 공간에 존재하는 듯한 선명한 느낌을 가지게 되는 기억이다(Mesulam, 1998). 본 연구에서는 명확하지 않은 과제에서 자신과 관련된 일화 기억과 관련된 영역들이 더 활성화 된 것으로 나타난다. 사람은 타인을 이해하기 위해서 자신의 경험을 바탕으로 하는데(Calarge, Andreasen, & O'Leary, 2003) 전달된 정보가 명확하지 않으면 모자란 정보를 추론하기 위해서 자신의 경험을 더 많이 그리고 더 구체적으로 떠올려서 비교해 보아야 할 것

이다. 그런데, 실제 환경에서의 지시나 내용의 전달이 그 효과가 명확한 것으로 생각한다면, 직접경험과 가까운 경험을 가상의 공간에서 할수록 그 과정을 통해 이루어진 지시나 정보 전달의 정확도는 직접경험 만큼의 효과를 낼 것이다. 다시 말해서 직접경험과 유사한 경험의 정도를 현존감이라 한다면 현존감이 전달된 정보의 명확성을 인지하는데 영향을 주었을 것이라고 할 수 있다. 따라서 현존감이 자신과 관련된 기억을 떠올리는 것과 관련하여 영향을 주었기 때문에 후대상피질과 우측 췌기소엽에서 피험자의 현존감 점수 분포와 뇌 활성화의 차이가 정적 상관관계를 보이는 것으로 생각된다. 좌측 하측두이랑도 자신과 관련된 일반적인 기억의 회상(Addis, McIntosh, Moscovitch, Crawley, & McAndrews, 2004)과 관련된 영역으로 보고되고 있고, 또한 전대상피질이나 후대상피질과 시각관련 영역들을 연결하는 역할을 하고 있는 것으로 생각된다.

현존감의 정보의 명확성에 대한 영향은 O/X문제의 정답률에도 영향을 미쳤을 것이 예상되었다. 그러나 피험자의 현존감 점수 분포와 정답률 분포는 유의수준 $p < .05$ 에서 유의미한 상관성이 없었다. 이는 지시사항에서 아바타의 이야기를 듣고 문제의 내용이 들은 이야기의 정황으로 봤을 때 일어날 수 있는 일이라고 생각되면 'O'를 아니면 'X'를 누르라고 하였기 때문에 정보의 명확성에 대한 인지의 차이가 없다고 하더라도, 일어날 수 있는 일이라고 판단하는데 있어서 차이가 발생하였기 때문으로 생각된다.

전체적으로 피험자의 현존감 점수 분포와 정적 상관관계가 뇌의 몇몇 영역들에서 관찰되었다. 전대상피질과, 혀이랑, 우측 방추상이랑은 가상현실의 시각 및 시각관련 자극의 인

식, 구별 및 조절하는 상호작용을 통해서 가상현실과 실제와의 차이 정도인 어색함을 해소하고 이는 현존감과 관련된 작용으로 생각된다. 이러한 현존감의 차이는 정보의 명확성의 인식에 영향을 주어 본 연구에서는 후대상 피질과 우측뿔기소엽 및 좌측 하측두이랑에서 자신과 관련된 일화기억과 관련된 활성화에 영향을 주는 것으로 보인다. 이러한 작용은 독립적으로 이루어지는 것이 아니라, 가상현실에서 어색함의 해소는 현존감에 영향을 주게 되고 정보의 명확성의 인식은 다시 현존감에 영향을 주게 되는 상호작용을 하는 것으로 생각된다. 여기서 좌측 하측두이랑이 전대상 피질 및 후대상피질과 시각관련 영역들을 연결해주는 역할을 하는 것으로 생각된다.

결 론

본 연구에서는 매체를 통한 사회적 상황에서 정보 전달에서 현존감이 미치는 영향과 관련된 뇌 영역을 현존감이 중요한 역할을 하는 가상현실이라는 대표적인 매체를 통하여 알아보았다. 결과에서 관찰된 영역들은 크게 현존감이 가상현실의 어색함을 해소와 정보의 명확성의 인식에 영향을 줌으로써 자신과 관련된 일화기억에 회상에 영향을 주는 것을 나타내고 있다. 하지만 이는 관찰된 영역들의 기존연구에서 밝혀진 역할에 근거해서 추론한 것일 뿐 본 연구에서 밝혀진 영역들이 현존감과 관련하여 정확히 어떤 역할을 한다고 명확히 결론을 내리기는 힘든 점이 있다. 현존감은 가상현실에서 사용자의 인지하고 지각하는 감각의 복합적인 반영이기 때문에 추후 더 많은 현존감과 관련된 연구들이 뇌의 메커니즘

적인 관점에서 시도되어 밝혀져야 할 것이다. 본 연구에서의 실험 디자인은 뇌기능영상 촬영이라는 실험방법이 가지는 제약들 때문에 실제로 가상현실이 가져야 할 많은 상호작용들을 반영하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 또한 뇌의 직접적인 촬영을 관찰하였다고 하지만, 그 것이 피험자의 주관적인 보고와 상관관계를 살펴본 것이므로 정확한 객관적인 관찰이라고 할 수는 없다.

따라서, 현존감에 대한 더 심도있는 이해를 위해 추후 연구에는 간단하더라도 가상환경과 상호작용이 있는 콘텐츠의 가상환경을 구성하여 현존감의 영향과 관련된 뇌 영역을 살펴보는 연구 등이 필요할 것으로 생각된다. 이러한 제한점에도 불구하고, 본 연구에서는 제한적이긴 하지만 가상현실에서 현존감의 영향을 뇌 기능영상 촬영을 통해서 내부 메커니즘의 측면에서 살펴보았다는 것에 의의가 있다.

참고문헌

- A. Axelsson, A. A., I. Heldal, R. Schroeder, J. Wideström. (2001). Cubes in the cube: A comparison of collaboration in virtual and real environments. *Cyberpsychology and Behavior*, 4(2), 279-286.
- Addis, D. R., McIntosh, A. R., Moscovitch, M., Crawley, A. P., & McAndrews, M. P. (2004). Characterizing spatial and temporal features of autobiographical memory retrieval networks: a partial least squares approach. *Neuroimage*, 23(4), 1460-1471.
- Astafiev, S. V., Stanley, C. M., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2004). Extrastriate body area in

- human occipital cortex responds to the performance of motor actions. *Nature Neuroscience*, 7(5), 542-548.
- Barfield, W., Baird, K. M., & Bjorneseth, O. J. (1998). Presence in virtual environments as a function of type of input device and display update rate. *Displays*, 19(2), 91-98.
- Barfield, W., Hendrix, C., & Bystrom, K. E. (1997). Visualizing the structure of virtual objects using head tracked stereoscopic displays. Paper presented at the Virtual reality annual international symposium (VRAIS' 97).
- Biocca, F. (1999). The Cyborg's Dilemma: Progressive embodiment in virtual environments. *Human factors in information technology*, 13, 113-144.
- Bronack, S., Riedl, R., Tashner, J., & Greene, M. (2006). Learning in the Zone: A social constructivist framework for distance education in a 3D virtual world. *TECHNOLOGY AND TEACHER EDUCATION ANNUAL*, 1, 268-275.
- Bunge, S. A., Ochsner, K. N., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (2001). Prefrontal regions involved in keeping information in and out of mind. *Brain*, 124 (Pt 10), 2074-2086.
- Bystrom, K. E., Barfield, W., & Hendrix, C. (1999). A conceptual model of the sense of presence in virtual environments. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 8(2), 241-244.
- Calarge, C., Andreasen, N. C., & O'Leary, D. S. (2003). Visualizing how one brain understands another: A PET study of theory of mind. *American Journal of Psychiatry*, 160(11), 1954-1964.
- Chan, A. H., Liu, H. L., Yip, V., Fox, P. T., Gao, J. H., & Tan, L. H. (2004). Neural systems for word meaning modulated by semantic ambiguity. *Neuroimage*, 22(3), 1128-1133.
- Cho, B. H., Ku, J., Jang, D. P., Kim, S., Lee, Y. H., Kim, I. Y., et al. (2002). The effect of virtual reality cognitive training for attention enhancement. *Cyberpsychology and Behavior*, 5(2), 129-137.
- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Ollinger, J. M., Drury, H. A., et al. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, 21(4), 761-773.
- Crosson, B., Sadek, J. R., Bobholz, J. A., Gokcay, D., Mohr, C. M., Leonard, C. M., et al. (1999). Activity in the paracingulate and cingulate sulci during word generation: an fMRI study of functional anatomy. *Cerebr Cortex*, 9(4), 307-316.
- Devlin, J. T., Rushworth, M. F. S., & Matthews, P. M. (2005). Category-related activation for written words in the posterior fusiform is task specific. *Neuropsychologia*, 43(1), 69-74.
- Dinh, H. Q. W., N., Hodges, L.F., Song, Chang, Kobayashi, A., (1999). Evaluating the importance of multi-sensory input on memory and the sense of presence in virtual environments. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Virtual Reality 1999 Conference, Houston.
- Fiez, J. A., & Petersen, S. E. (1998).

- Neuroimaging studies of word reading. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95(3), 914-921.
- Fletcher, P. C., Happe, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S., et al. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of "theory of mind" in story comprehension. *Cognition*, 57(2), 109-128.
- Freeman, J., Avons, S. E., Meddis, R., Pearson, D. E., & IJsselstein, W. I. (2000). Using behavioral realism to estimate presence: A study of the utility of postural responses to motion stimuli. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 9(2), 149-164.
- Gardini, S., Cornoldi, C., De Beni, R., & Venneri, A. (2006). Left mediotemporal structures mediate the retrieval of episodic autobiographical mental images. *Neuroimage*, 30(2), 645-655.
- Gardini, S., De Beni, R., Cornoldi, C., Bromiley, A., & Venneri, A. (2005). Different neuronal pathways support the generation of general and specific mental images. *Neuroimage*, 27(3), 544-552.
- H. Hoffman, J. G., S. Rousseau, A. Hollander, W. Winn, M. Wells, T. Furness. (1996). Tactile augmentation: Enhancing presence in virtual reality with tactile feedback from real objects. Paper presented at the meeting of the American Psychological Society, San Francisco, CA.
- Heeter, C. (1992). Being There: The Subjective Experience of Presence, *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*.
- Hendrix, C., & Barfield, W. (1996). Presence within virtual environments as a function of visual display parameters. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 274-289.
- IJsselstein, W. (2002). Elements of a multi-level theory of presence: Phenomenology, mental processing and neural correlates. Paper presented at the Proceedings of PRESENCE 2002, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.
- J. J-W. Lin, H. B. L. D., D.E. Parker, H. Abi-Rached, T.A.Furness. (2002). Effects of field of view on presence, enjoyment, memory and simulator sickness in a virtual environment. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2002 (VR' 02).
- Jang, D. P., Ku, J. H., Choi, Y. H., Wiederhold, B. K., Nam, S. W., Kim, I. Y., et al. (2002). The development of virtual reality therapy (VRT) system for the treatment of acrophobia and therapeutic case. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 6(3), 213-217.
- Jurnet, I. A., Beciu, C. C., & Maldonado, J. G. (2005). Individual Differences in the Sense of Presence. Paper presented at the PRESENCE 2005.
- Kim, J. J., Andreasen, N. C., O'Leary, D. S., Wiser, A. K., Ponto, L. L., Watkins, G. L., et al. (1999). Direct comparison of the neural substrates of recognition memory for words and faces. *Brain*, 122, 1069-1083.
- Krijn, M., Emmelkamp, P. M. G., Biemond, R., de Ligny, C. D., Schuemie, M. J., & van der Mast, C. A. P. G. (2004). Treatment of acrophobia in virtual reality: The role of immersion and presence. *Behaviour Research and Therapy*, 42(2), 229-239.

- Ku, J., Cho, W., Kim, J. J., Peled, A., Wiederhold, B. K., Wiederhold, M. D., et al. (2003). A virtual environment for investigating schizophrenic patients' characteristics: assessment of cognitive and navigation ability. *Cyberpsychology and Behavior*, 6(4), 397-404.
- Lee, J. H., Ku, J., Cho, W., Hahn, W. Y., Kim, I. Y., Lee, S. M., et al. (2003). A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. *Cyberpsychology and Behavior*, 6(4), 383-388.
- Lombard, M. (1995). Direct responses to people on the screen: Television and personal space. *Communication Research*, 22(3), 288-324.
- Loomis, J. M. (1992). Distal attribution and presence. *Presence-Teleoperators and Virtual Environment*, 1(1), 113-119.
- Maddock, R. J., Garrett, A. S., & Buonocore, M. H. (2001). Remembering familiar people: the posterior cingulate cortex and autobiographical memory retrieval. *Neuroscience*, 104(3), 667-676.
- McGreevy, M. W. (1992). The presence of field geologists in Mars-like terrain. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 1(4), 375-403.
- Mesulam, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Ann Neurol*, 10(4), 309-325.
- Mesulam, M. M. (1998). From sensation to cognition. *Brain*, 121 (Pt 6), 1013-1052.
- Nielsen, F. A., Balslev, D., & Hansen, L. K. (2005). Mining the posterior cingulate: segregation between memory and pain components. *Neuroimage*, 27(3), 520-532.
- Oman, C. M., Shebilske, W. L., Richards, J. T., Tubre, T. C., Beall, A. C., & Natapoff, A. (2002). Three dimensional spatial memory and learning in real and virtual environments. *Spat Cogn Comput*, 2(4), 355-372.
- P. Larsson, D. V., M. Kleiner. (2001). The actor-observer effect in virtual reality presentations. *Cyberpsychology and Behavior*, 4(2), 239-246.
- Pausch, R., Shackelford, M. A., & D., P. (1993, October). A user study comparing head-mounted and stationary displays. Paper presented at the Proceedings of the IEEE Symposium on Research Frontiers in Virtual Reality, San Jose, CA.
- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, 16(2), 331-348.
- Prothero, J., & Hoffman, H. G. (1995). Widening the field of view increases the sense of presence in immersive virtual environments. Technical Report TR-95-2, Human Interface Technology Lab.
- Richard, E., Tijou, A., & Richard, P. (2006). Multi-modal virtual environments for education: From illusion to immersion. *Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, Proceedings*, 3942, 1274-1279.
- Rizzo, A. A. B., J. G.; Bowerly, T.; van der Zaag, C.; Humphrey, L.; Neumann, U.; Chua, C.; Kyriakakis, C.; Van Rooyen, A.; Sisemore, D. (2000). The Virtual Classroom: A Virtual Reality Environment for the assessment and Rehabilitation of Attention

- Deficits. *Cyberpsychology and Behavior*, 3(3), 483-500.
- Rogers, T. T., Hocking, J., Mechelli, A., Patterson, K., & Price, C. (2005). Fusiform activation to animals is driven by the process, not the stimulus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(3), 434-445.
- Roland, P. E., & Gulyas, B. (1995). Visual Memory, Visual-Imagery, and Visual Recognition of Large Field Patterns by the Human Brain-Functional-Anatomy by Positron Emission Tomography. *Cerebral Cortex*, 5(1), 79-93.
- Rothbaum, B. O., Hodges, L. F., Kooper, R., Opdyke, D., Williford, J. S., & North, M. (1995). Effectiveness of computer-generated (virtual reality) graded exposure in the treatment of acrophobia. *Am J Psychiatry*, 152(4), 626-628.
- Russell, G. W. (1994). The Dangerous Edge - the Psychology of Excitement-Apter, Mj. *Aggressive Behavior*, 20(2), 153-155.
- Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nat Rev Neurosci*, 6(4), 332-339.
- Servos, P., Osu, R., Santi, A., & Kawato, M. (2002). The neural substrates of biological motion perception: An fMRI study. *Cerebral Cortex*, 12(7), 772-782.
- Shirmohammadi, S., & Georganas, N. D. (2001). An end-to-end communication architecture for collaborative virtual environments. *Computer Networks-the International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 35(2-3), 351-367.
- Simmons, A., Stein, M. B., Matthews, S. C., Feinstein, J. S., & Paulus, M. P. (2006). Affective ambiguity for a group recruits ventromedial prefrontal cortex. *Neuroimage*, 29(2), 655-661.
- Slater, M., Pertaub, D. P., & Steed, A. (1999). Public speaking in virtual reality: Facing an audience of avatars. *Ieee Computer Graphics and Applications*, 19(2), 6-9.
- Slater, M., Steed, A., McCarthy, J., & Maringelli, F. (1998). The influence of body movement on subjective presence in virtual environments. *Human Factors*, 40(3), 469-477.
- Slater, M., & Usoh, M. (1993). Representations systems, perceptual position, and presence in immersive virtual environments. *Presence-Teleoperators and Virtual Environment*, 2(3), 221-233.
- Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *JOURNAL OF COMMUNICATION* 42(4), 73-93.
- Västfjäll, D. (2003). The subjective sense of presence, emotion recognition, and experienced emotions in auditory virtual environments. *Cyberpsychology and Behavior*, 6(2), 181-188.
- Vidal, M., Amorim, M. A., & Berthoz, A. (2004). Navigating in a virtual three-dimensional maze: how do egocentric and allocentric reference frames interact? *Brain Res Cogn Brain Res*, 19(3), 244-258.
- W. Ijsselstein, H. d. R., J. Freeman, S.E. Avons, D. Bouwhuis. (2001). Effects of stereoscopic presentation, image motion, and screen size on subjective and objective corroborative measures of presence. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 298-311.

- Welch, R. B., Blackmon, T. T., Liu, A., Mellers, B. A., & Stark, L. W. (1996). The effects of pictorial realism, delay of visual feedback, and observer interactivity on the subjective sense of presence. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 5(3), 263-273.
- Wiederhold, B. K., Jang, D. P., Gevirtz, R. G., Kim, S. I., Kim, I. Y., & Wiederhold, M. D. (2002). The treatment of fear of flying: a controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 6(3), 218-223.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225-240.
- 1 차원고접수: 2006. 5. 24
2 차원고접수: 2006. 9. 21
최종게재승인: 2006. 11. 18