

## 생체신호 피드백을 적용한 가상 주행환경에서 사이버멀미 감소 효과 The Efficacy of Biofeedback in Reducing Cybersickness in Virtual Navigation

김영윤\* · 김은남\* · 정찬용\* · 고희동\*\* · 김현택\*

Young-Youn Kim, Eun-Nam Kim, Chan-Yong Jung, Hee-Dong Go, Hyun-Taek Kim

**Abstract :** Our previous studies investigated that narrow field of view (FOV : 50°) and slow navigation speed decreased the frequency of occurrence and severity of cybersickness during immersion in the virtual reality (VR). It would cause a significant reduction of cybersickness if it were provided cybersickness alleviating virtual environment (CAVE) using biofeedback method whenever subject underwent physiological agitation. For verifying the hypothesis, we constructed a real-time cybersickness detection and feedback system with artificial neural network whose inputs are electrophysiological parameters of blood pulse volume, skin conductance, eye blink, skin temperature, heart period, and EEG. The system temporary provided narrow FOV and decreased speed of navigation as feedback outputs whenever physiological measures signal the occurrence of cybersickness. We examined the frequency and severity of cybersickness from simulator sickness questionnaires and self-report in 36 subjects. All subjects experienced VR two times in CAVE and non-CAVE condition at one-month intervals. The frequency and severity of cybersickness were significantly reduced in CAVE than non-CAVE condition. Virtual environment of narrow FOV and slow navigation provided by electrophysiological features based artificial neural network caused a significant reduction of cybersickness symptoms. These results showed that efficiency of a cybersickness detection system we developed was relatively high and subjects expressed more comfortable in the virtual navigation environment.

**Key word :** Virtual Reality, Cybersickness, Electrophysiological Features, Biofeedback

**요 약 :** 이전 연구에서 가상현실에 몰입하는 동안 넓은 시야(field of view : 150°)와 빠른 운행속도(70km/sec)가 사이버 멀미를 심화시킨다는 결과를 얻었다. 피험자의 90%가 좁은 시야(50°)와 느린 운행속도(30km/sec)에서 사이버멀미 증상이 적었다. 본 실험에서는 피험자가 생리적인 동요를 경험할 때마다 바이오피드백 방법을 사용하여 사이버 멀미 감소 가상환경(cybersickness alleviating virtual environment ; CAVE)을 제시한 후, 그 효과를 관찰하였다. 피부전도도, 말초체온, 말초 혈류량, 심박률, 눈 깜박임, 뇌전위의 변수들을 입력하는 인공 신경망으로 구성된 실시간 멀미 탐지 시스템과 CAVE-제시 피드백 시스템을 구축하였다. 이 시스템들은 생리적 측정치들이 사이버 멀미의 출현을 신호할 때마다 피드백 출력으로 좁은 화면과 감소된 운행속도를 일시적으로 제공하였다. 36명의 피험자를 대상으로 SSQ(simulator sickness questionnaire)와 자기보고를 이용하여 사이버 멀미의 빈도와 심각도를 조사하였다. 모든 피험자는 한 달 간격으로 CAVE 조건과 non-CAVE 조건에서 두 번 가상현실을 경험하였다. 사이버멀미의 빈도와 심각도는 non-CAVE 조건보다 CAVE 조건에서 유의미하게 감소하였다. 즉, 전기 생리학적 특징들에 기반한 인공 신경망에 의해 제공된 좁은 시야와 느린 운행의 가상환경은 사이버 멀미 증상들을 감소시켰다. 이러한 결과들은 생체신호 피드백 시스템을 이용하여 인간 친화적 가상환경을 구축할 수 있는 가능성을 보인 것이다.

**주요어 :** 가상현실, 멀미, 생리신호, 바이오피드백

\*고려대학교 심리학과

\*\*한국과학기술연구원 영상미디어센터

## 1. 서론

가상현실은 인간과 컴퓨터 상호작용을 통해 새로운 의사소통 매체를 제공한다. 가상현실은 실제로 교육, 의료, 오락, 예술, 과학 전반에 다양하게 응용되고 있으며, 인간과 컴퓨터의 상호작용을 위한 새로운 의사소통 매체로서 사회 전반에 엄청난 변화를 가져올 것으로 기대되고 있다[3, 4]. 가상현실은 인간과 컴퓨터 사이에 새로운 상호작용 패러다임을 제공하며, 사용자들은 더 이상 컴퓨터 화면상의 자료나 이미지들에 대한 단순한 관찰자가 아니다. 사용자들은 컴퓨터가 만들어 낸 3차원의 가상세계에 적극적으로 참여한다. 가상현실은 컴퓨터 그래픽 기법과 다양한 디스플레이, 자료입력 기법들이 하나로 통합되어 사용자에게 그 환경 내에 존재하거나 혹은 몰입해 있다는 느낌을 제공한다[1].

가상현실에 대한 실제적인 정의들이 많지만 단순하면서도 가장 설득력 있는 것은 Burdea와 Coiffet[2]의 3 I를 들 수 있다. 가상현실의 3 I는 몰입(immersion), 상호작용(interaction), 상상(imagination)이라는 삼각형을 만든다. 이 중에서 몰입의 측면을 살펴보면, 기술적 한계에도 불구하고 많은 가상현실 환경들은 사용자가 그 속에 있다는 실재감 혹은 몰입감을 느끼도록 한다. 몰입은 현실세계 대신 가상현실에 주의를 두는 것을 말한다. 몰입정도는 시각적 상상력에 영향을 받는다. 인간은 시뮬레이션 장면, 그림, 사진 등의 영상과 상호작용으로 자동적으로 가상의 자신을 형성하게 되고 마치 자기가 그 곳에 있는 것처럼 그 공간에 들어가게 된다. 즉, 기하학적 공간 내에 자신이 존재한다는 느낌은 몰입에서 가장 중요한 요소이다[5, 6].

가상현실 환경에서 몰입을 경험하는 사람들은 많은 개인적인 차이를 체험하게 되는데, 그 원인으로 내적인 요인과 외적인 요인을 들 수 있다. 내적인 요인으로는 가상현실 시스템에 몰입할 수 있는 개인의 능력 및 성격특성을 들 수 있고, 외적인 요인은 인간과 컴퓨터 상호작용에 필요한 가상현실 시스템의 기술적인 면을 의미한다. 예를 들면, 몰입은 시야(field of view; FOV)의 넓이가 60°보다 커야 체험할 수 있다고 보고되고 있다. 테크놀로지의 발달로 컴퓨터 속도가 빨라

지고 장비들의 고성능화가 이루어져서 기술적인 한계가 극복되면 후자로 인한 몰입의 방해요인이 제거될 것으로 기대된다. 현재는 HMD (head-mounted display)나 다채널 시스템을 이용하여 가상환경에서 사용자에게 몰입을 유도해 내고 있으며, 장비개발의 목적은 현실감, 효율성의 측면에서 짧은 시간에 많은 양질의 정보를 사용자에게 제공하는 데 두고 있다.

가상현실의 장점에도 불구하고 사용자가 가상현실을 이용하는 것을 방해하는 가장 큰 요인은 사이버 멀미(cybersickness)이다. 사이버 멀미는 가상환경에서 경험하는 멀미증상으로, 그 원인은 시각기관으로 들어오는 정보입력과 전정기관으로 들어오는 정보입력 사이의 불일치로 인해 형성된다는 전정-시각 불일치 이론이 가장 유력하게 받아들여지고 있다[10, 11]. 또한, 사이버 멀미는 FOV나 화면 업그레йд 속도 등의 시뮬레이터 요인에 의해서 영향을 받게 된다. 시뮬레이터 요인의 변화가 가상현실에서 몰입, 상호작용, 상상의 측면에 영향을 미친 결과, 사용자에게 사이버 멀미를 유발하는 것으로 생각되고 있다[12].

우리의 이전 연구[8, 9]에서 가상현실을 이용하는 이용자들에게 있어서 1) 가상현실을 경험하는 동안 다양한 생리적인 변화가 일어난다는 것, 2) 사이버 멀미를 경험하는 동안 매우 특이적인 생리적 변화가 일어난다는 것, 3) 가상현실 시스템의 시야와 운행속도가 사이버 멀미에 영향을 미친다는 결과를 얻었다. FOV는 사용자의 위치에서 볼 수 있는 시야의 각도를 의미한다. 가상현실에 몰입하는 동안 피험자의 90%가 좁은 시야(50°)와 느린 운행속도에서 사이버 멀미 증상이 유의미하게 감소함으로써 시야가 넓을수록 사이버 멀미를 심화시킨다는 것을 알게 되었다. 그리고 운행속도가 빠를수록 사이버 멀미가 심화된다는 것도 발견하였다.

본 연구에서는 가상현실 이용자에게서 사이버 멀미를 나타내는 생리적 변화가 검출될 때마다 제시환경을 좁은 화면과 느린 운행속도로 전환하는 사이버 멀미 감소 가상환경(cybersickness alleviating virtual environment; CAVE)이 제시된다면 사용자가 멀미를 덜 느낄 것이라는 가설을 세웠다. 가설을 검증하기 위해 피부전도도, 말초체온, 말초 혈류량, 심박률, 눈 깜박임, 뇌전위의 변수들을 입력으로 하는 인공 신경망

(artificial neural network)으로 구성된 실시간 멀미 탐지 시스템과 CAVE-제시 피드백 시스템을 구축하였다. 이 시스템들은 생리적 측정치들의 결과값이 사이버 멀미의 출현을 신호할 때마다 피드백 출력으로 좁은 화면과 감소된 운행속도를 일시적으로 제공하였다. CAVE의 제시가 실제로 가상현실 이용자들의 사이버 멀미를 감소시켰는지에 대해 SSQ(simulator sickness questionnaire)와 자기보고를 이용하여 검사함으로써 실시간 멀미 탐지 시스템과 CAVE-제시 피드백 시스템의 효율을 평가하였다.

## 2. 방법

### 2.1 피험자와 실험장비

18~26세의 대학생 36명이 실험에 참가하였다(남 18명, 여 18명, 평균 22.3세). 모두 약물중독이나 신경학적 장애가 없고 정상시력이었다.

10개 채널의 데이터를 Biopac사의 MP-100(16 bit analog-to-digital system)을 사용하여 획득하였다. 10개 채널은 Fz(정중 전두부), Cz(정중 중심부), Pz(정중 두정부), O1(좌 후두부), O2(우 후두부) 영역의 뇌전위(electroencephalogram ; EEG) 5개 채널과 심전도(electrocardiogram ; ECG), 안전위(electroculogram ; EOG), 말초 혈류량(photoplethysmogram ; PPG), 손가락 끝 피부온도(fingertip skin temperature ; SKT), 피부전도도(skin conductance level ; SCL) 각각 한 채널씩으로 구성되었다. 가상현실 시스템은 KIST의 3D visual and auditory environment generator를 이용하였다(3채널, 해상도 : 3840×1024, constant 30frames/sec). 가상현실은 KIST의 건물, 주행도로, 산과 다리 등을 시뮬레이션한 환경으로 게임패드를 이용하여 수행하는 것이었다.

### 2.2 가상현실 평가 설문지

Motion history questionnaire, Immersive tendency questionnaire, Strong의 진로탐색 검사 중 능력, 성격 특성 부분, Presence questionnaire[13], Simulator sickness questionnaire[7], Flow questionnaire, Questionnaire for user interface satisfaction을 이용하

여 설문지를 개발하였다. 설문지는 가상현실을 경험하기 전에 작성하는 사전 설문지와 가상현실을 경험한 다음에 작성하는 사후 설문지로 구성되었다. 사전 설문지는 피험자들의 멀미이력, 몰입도, 집중력, 현재 컨디션, 성격, 능력특성 등을 조사함으로써 사용자들의 내인적 요인을 조사하였고, 사후 설문지는 피드백 만족도, 현실감, 편안감, 멀미감 요인으로 가상현실을 경험하고 난 후에 가상현실을 평가하도록 하였다. 신뢰성을 검사하였고 Cronbach alpha값이 0.6 이상 되는 요인들을 이용하였다.

### 2.3 실시간 사이버 멀미 탐지 시스템과 CAVE

사이버 멀미시에 변화되는 생리 측정치로서 뇌파 5채널의 세타, 알파, 베타, 감마파의 상대파워, EOG의 표준편차, ECG의 heart period, SKT의 평균, 표준편차, PPG의 평균, 표준편차, SCL의 평균, 표준편차의 28개 변수들이 입력되는 인공 신경망을 구성하였다. 정상기간과 멀미기간의 변수들의 값을 이용하여 training vectors를 구축하고 12개 principal vectors들을 획득하여 인공 신경망의 입력벡터로 이용하였다. 표준에러 backpropagation algorithm의 10 노드 hidden layer를 포함한 2-layer feedforward neural network을 훈련시켰다. 실시간으로 생리신호를 측정하면서 위에서 형성한 인공 신경망을 이용하여 0~1의 멀미 결과값을 갖는 실시간 사이버 멀미 탐지 시스템을 구축하였다. 결과값 0.7을 역치로 하여 역치 이상일 때 CAVE가 제시되도록 하였다. CAVE는 vertical field는 90°로 일정하고 horizontal field는 150°의 시야에서 50°의 시야로 화면이 줄어드는 화면의 변화와, 속도를 줄이고 심호흡을 하라는 음성지시로 구성되어 있다.

### 2.4 실험절차

실험은 3단계로 사전 설문지 작성단계, 가상현실 운행단계, 사후 설문지 작성단계로 이루어졌다. 사전 설문지와 사후 설문지 작성단계는 7분 정도 소요된다. 9분 30초 동안 진행되는 가상현실 운행단계에서 피험자들은 시뮬레이션된 KIST 가상현실을 운행하면서 10개의 목표물을 찾는 시지각 과제를 수행하였다. 어지러움이나 멀미증상을 느끼면 느낀 순간 구두보고를 하게

하였다. 모든 피험자는 한 달 간격으로 CAVE 조건과 non-CAVE 조건에서 두 번 가상현실을 경험하였다.

### 2.5 데이터 수집

EEG는 국제 10/20법으로 A1, A2를 기준으로 측정하였고, 심전도는 lead II법으로 측정하였으며, 안진위는 오른쪽 눈에 위, 아래 수직법으로 측정하였다. PPG는 오른쪽 소지 셋째 마디에서 측정하고 SKT는 오른쪽 약지 셋째 마디에서 측정하였으며, SCL은 오른쪽 검지, 중지 셋째 마디에서 측정하였다.

가상현실 제시 전 1분간 기저선을 측정하고 가상현실이 제시되는 9분 30초, 가상현실 제시 후 1분 동안의 생리신호를 측정하였다. 생리신호 데이터는 400samples/sec로 샘플링되었다. EEG 데이터는 band pass filter(0~50Hz)로 필터링되었고 움직임과 관련된 artifact를 제거하였다. FFT(fast fourier transform)를 이용하여 스펙트럼 분석을 하고 델타, 세타, 알파, 베타, 감마파의 파워를 전체 영역의 파워로 나누고 100을 곱하여 상대파워 백분율을 구했다. ECG 데이터는 R-peak를 검출하여 heart rate, heart period(interbeat interval)를 구하였다. EOG 데이터에서 눈 깜박임을 검출하였고, PPG는 진폭을 구하였으며, SCL과 SKT는 평균을 구하였다. 시지각 과제 수행도는 10개의 전체 목표물 중 번호를 정확히 맞힌 수를 이용하여 적중률을 계산하였다.

### 2.6 통계분석

설문지 분석은 멀미감소 피드백에 따른 일원 반복측정 변량분석을 하였다.

## 3. 결과

### 3.1 멀미 보고 수

CAVE 조건이 non-CAVE 조건보다 멀미 수가 유의미하게 줄어들었다( $F(1, 22)=18.25, p<.001$ ) (그림 1). non-CAVE 조건에서 피험자들은 평균 8회 이상의 멀미를 보고하였는데 반해, CAVE 조건에서는 평균 3회로 멀미 보고 수가 현저하게 줄어들었다.

### 3.2 자기보고와 설문결과 성적

모든 피험자가 CAVE 조건과 non-CAVE 조건을 경험하기 때문에 두 번의 가상현실이 끝난 다음에 두 조건 중에서 어느 조건의 가상현실이 더 편안하였는지와 어느 조건의 가상현실이 더 현실감이 있었는지를 질문하였다. 그 결과 CAVE 조건이 더 편안하다고 응답한 피험자 수가 28명으로 나타났고 non-CAVE 조건이 더 편안했다고 응답한 피험자는 8명으로 나타나서 가상현실에서의 '편안감'은 피드백 제시조건에서 더 높게 나타났다(그림 2). 그리고 CAVE 조건이 더 현실감 있다고 응답한 피험자 수가 11명으로 나타났고 non-CAVE 조건이 더 현실감 있다고 응답한 피험자는 25명으로 나타나서 가상현실에서의 '현실감'은 피드백 비제시조건에서 더 높게 나타났다(그림 3). 재미도에 있어서는 CAVE 조건이 더 재미있었다고 응답한 피험자 수가 17명, non-CAVE 조건은 19명의 피험자가 더 재미있었다고 응답함으로써 가상현실에서의 재미도에 있어서는 두 조건 간에 큰 차이가 없었다.

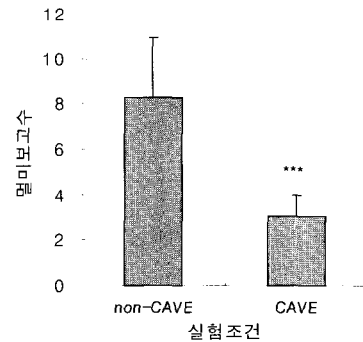


그림 1. CAVE제시 피드백에 따른 멀미보고 수 비교. \*\*\* $p<.001, F(1, 22)=18.25$

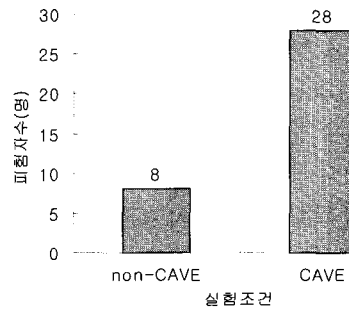


그림 2. 편안감 비교

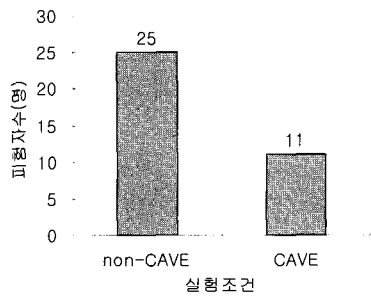


그림 3. 현실감 비교

가상현실 경험에 대한 ‘가상현실 사용 만족도’에서 피드백에 의한 주효과가 나타났다[F(1, 24)=7.95,  $p < .01$ ], 평균 62.3%로 CAVE 조건을 53.8%의 non-CAVE 조건보다 높게 평가함으로써 멀미감소 피드백을 제시한 가상환경을 피험자가 더 만족스럽게 평가하였다(그림 4). ‘신체적 불편감’에서도 피드백에 의한 주효과가[F(1, 24)=12.44,  $p < .001$ ] 나타났다. ‘신체적 불편감’은 non-CAVE 조건에서 평균 59%, CAVE 조건에서 47.6%로 non-CAVE 조건에서 신체적 불편감을 더 많이 나타냈다(그림 5).

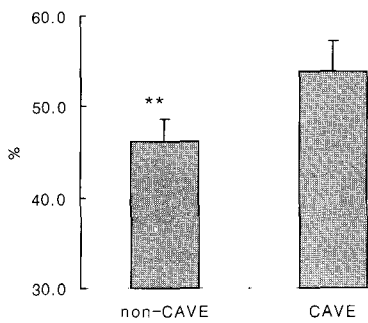


그림 4. 가상현실 사용 만족도 비교. \*\* $p < .01$

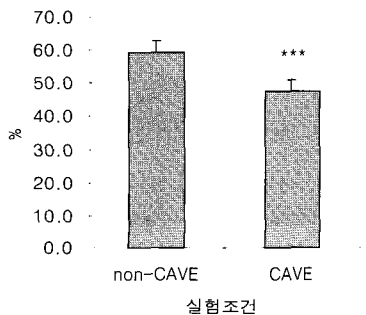


그림 5. 신체적 불편감 비교. \*\*\* $p < .001$

#### 4. 논의

멀미 보고 수 비교를 보면 CAVE(멀미감소 피드백 제시) 조건에서 멀미 보고 수가 유의미하게 감소하였다. 가상현실을 경험하고 난 후에 실시하는 사후 설문지 검사결과에서는 가상현실 경험에 대한 부정적 평가와 가상현실 운행에서 나타나는 신체적 불편감을 측정 한 두 요인 모두에서 CAVE 조건이 non-CAVE 조건보다 낮은 점수를 나타냈다. 가상현실의 편안감 검사에서도 CAVE 조건이 non-CAVE 조건보다 더 편안하다고 응답하였다. 이상의 여러 가지 검사들은 모두 CAVE 조건이 가상현실을 운행하는 데 있어서 신체적으로 편안하고 실제로 멀미를 줄이는 데 효과가 있다는 것을 일관되게 보여 주었다. CAVE 조건은 생리신호에 기초한 인공 신경망으로 멀미가 연산되면 수직축으로 150°시야에서 50°시야를 제시하고 속도를 줄이고 심호흡을 하라는 지시가 제시되는 조건이다. 자기보고와 설문검사 성적은 피드백 제시조건이 효과적으로 사이버 멀미를 감소시키는 것을 보여준다.

그러나 가상현실에서의 현실감 부분에 있어서는 non-CAVE 조건이 CAVE 조건보다 더 현실감 있다고 응답한 사람의 수가 더 많이 나타났다. 멀미감소 피드백 상황은 멀미를 줄이는 데는 효과적일 수 있으나 가상현실의 현실감에는 부정적으로 작용했다고 보인다. 피드백을 통해 멀미는 줄었으나 피드백이 가상현실에 몰입하는 것을 방해하였고, 그 결과 가상현실의 현실감이 떨어진 것으로 생각된다. 피드백을 제시 받았을 때 실제로 멀미가 일어나는 순간이었는지를 물어 보고 멀미감소 피드백이 멀미를 줄이는 데 효과적이었는지를 묻는 피드백 만족도 설문결과, 대부분의 사람들이 피드백이 적절하게 이루어졌다고 보고하였다. 이러한 결과는 멀미감소 피드백이 실제로 멀미를 줄이는 데 적절하게 제시되었다는 것을 뒷받침한다.

단순히 피드백을 받았다는 것 때문에 나타난 변화인지를 확인하기 위하여 무작위 피드백을 제시하는 집단도 도입하였다. 무작위 피드백은 생리신호 입력을 받는 신경망에서 멀미를 연산했을 때 피드백을 주는 것이 아니라 난수표에서 무작위로 추출된 시간에 멀미감소 피드백을 제시하는 것이다. 무작위 피드백 제시조

건과 피드백 비제시조건에서는 멀미 보고 수, 설문검사 성적, 과제수행 적중률, 생리적 변화에서 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 단순히 피드백을 받았다는 것보다는 멀미를 경험할 때 멀미감소 피드백이 실제로 제시되어야 심리적, 생리적 행동의 변화를 일으킬 수 있다는 것을 보여 준다.

위의 연구는 가상현실 시스템을 평가하는 데 심리생리학적 지표들을 어떻게 해석하고 응용할 것인가의 해답을 모색하는 예라고 할 수 있다. 생리신호 분석만을 통하여 가상현실에서의 인간의 감성을 완전히 평가할 수 없으며, 주관적인 설문결과 또한 매우 가치 있는 정보를 제공한다. 그렇기 때문에 가상환경의 특성을 고려하여 개발된 생리신호 측정 및 분석과 설문지를 통한 심리적 평가는 행동적 평가와 더불어 이미 시작된 사이버 심리학의 한 축이 될 것이다.

결론적으로, 앞으로의 연구에서는 편안함을 증대시키면서도 현실감을 손상시키지 않는 가상현실 시스템을 구축하는 방법에 대한 탐색이 필요할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- [1] Barfield, W., and Weghorst, S.(1993), The sense of presence within virtual environments, A conceptual framework: Hardware Interfaces, Elsevier Science Publishers, New York.
- [2] Burdea, D., and Coiffet, P.(1994), Virtual reality technology, John Wiley & Sons, New York.
- [3] Durlach, N. I. and Mavor, A. S.(1994), Virtual Reality: Scientific and Technical Challenges, National Academy Press, Washington, DC.
- [4] Ellis, S.(1994), What Are Virtual Environments?. IEEE Computer Graphics and Applications, 4(1), 17-22.
- [5] Furness. T. A.(1993), Expeditions in virtual space. Distinguished Lecture Series, Graphics, Visualization & Usability Center, College of computing, Georgia Institute of Technology.
- [6] Howlett, E. M.(1990), Wide angle orthostereo, Stereoscopic displays and applications. The international Society for Optical Engineering, Bellingham.
- [7] Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E., and Lilienthal, M. G.(1992), Use of a motion sickness history questionnaire for prediction of simulator sickness, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 63(7), 588-593.
- [8] 김영윤 · 김현주 · 정명숙 · 이영혁 · 문성재 · 진창배 · 고희동 · 박병관 · 박광석 · 김현택(2000), 가상현실에서의 운행이 인체에 미치는 영향에 대한 심리생리학적 연구, 한국감성과학회 2000 추계학술대회 논문집, 424-428.
- [9] Kim, Y. Y., Kim, H. J., Ko, H. D., and Kim, H. T.(2001), Psychophysiological changes by Navigation in a virtual reality. IEEE EMBS conference 2001, 187.
- [10] Oman, C. M.(1991), Sensory conflict in motion sickness: an observer theory approach, Pictorial Communication in Virtual and Real Environments, London, 362-376.
- [11] Regan, E. C. and Price, K. R.(1994), The frequency of occurrence and severity of side-effects of immersion virtual reality. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 6, 527-530.
- [12] Strauss, S.(1995), Virtual reality too real for many. Globe & Mail, A1-A8.
- [13] Witmer, B., and Singer, M.(1998), Measuring Presence in Virtual Environments: A presence questionnaire, Presence, 7(3), 225-240.