

생체신호 피드백을 적용한 가상주행 환경에서 사이버 멀미 감소 효과

김영윤¹, 정찬용¹, 김은남¹, 윤정민¹, 서동오¹, 고희동², 김현택¹
¹고려대학교 심리학과, ²한국과학기술원 영상미디어센터

The efficacy of biofeedback in reducing cybersickness in virtual navigation

Y. Y. Kim¹, C. Y. Jung¹, E. N. Kim¹, J. M. Yoon¹, D. O. Seo¹, H. D. Ko², and
H. T. Kim¹. ¹Dept. of Psychology, Korea Univ, ²Imaging Media Research
Center, KIST

Abstract

이전연구에서 가상현실에 몰입하는 동안 넓은 시야 (Field of view: 150°)와 빠른 운행속도 (70 km/sec)가 사이버멀미를 심화시킨다는 결과를 얻었다: 피험자의 90%가 좁은 시야 (50°)와 느린 운행속도 (30 km/sec)에서 사이버멀미 증상이 적었다. 본 실험에서는 피험자가 생리적인 동요를 경험할 때마다 바이오피드백 방법을 사용해서 사이버멀미 감소 가상환경 (cybersickness alleviating virtual environment, CAVE)을 제시한 후, 그 효과를 관찰하였다. 피부전도도, 말초체온, 말초혈류량, 심박률, 눈 깜박임, 뇌전위의 변수들을 입력으로 하는 인공신경망으로 구성된 실시간 멀미 탐지 시스템과 CAVE-제시 피드백 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 생리적 측정치들이 사이버멀미의 출현을 신호할때마다 피드백 출력으로 좁은 화면과 감소된 운행속도를 일시적으로 제공했다. 36명의 피험자를 대상으로 SSQ (simulator sickness questionnaires)와 자기보고를 이용하여 사이버멀미의 빈도와 심각도를 조사하였다. 모든 피험자는 한달 간격으로 CAVE 조건과 non-CAVE 조건에서 두 번 가상현실을 경험하였다. 사이버멀미의 빈도와 심각도는 non-CAVE 조건보다 CAVE 조건에서 유의미하게 감소하였다. 즉, 전기생리학적 특징들에 기반한 인공신경망에 의해 제공된 좁은 시야와 느린 운행의 가상환경은 사이버멀미 증상들을 의미있게 감소시켰다. 이러한 결과들은 생체신호 피드백 시스템을 이용하여 인간 친화적 가상환경을 구축할 수 있는 가능성을 보인 것이다.

Keywords: 가상현실, 멀미, 생리신호, 인공신경망, 바이오피드백

1. 서론

가상현실은 인간과 컴퓨터 상호작용을 통해 새로운 의사소통 매체를 제공한다 (Ellis, 1994). HMD

(head-mounted display)나 다채널 시스템을 이용하여 가상환경에서 사용자가 실제처럼 느끼도록 몰입을 유도해 내며, 짧은 시간에 많은 양질의 정보를 사용자에게 제공할 수 있는 기반이 된다. 가상현실의 장점에도 불구하고

사용자가 가상현실을 이용하는 것을 방해하는 가장 큰 요인이 사이버멀미 (cybersickness)이다. 사이버멀미는 가상환경에서 경험하는 멀미증상으로 그 원인으로 시각 기관으로 들어오는 정보입력과 전정기관으로 들어오는 정보입력사이의 불일치로 인해 형성된다는 전정-시각 불일치 이론이 가장 유력하게 받아들여지고 있다 (Strauss, 1995; Regan and Price, 1994).

우리의 이전 연구에서 가상현실을 이용하는 이용자들에게 있어서 1)가상현실을 경험하는 동안 다양한 생리적인 변화가 일어난다는 것과 2)사이버멀미를 경험하는 동안 매우 특이적인 생리적 변화가 일어난다는 것과 3) 가상현실시스템의 시야 (Field of View, FOV)와 운행속도가 사이버멀미에 영향을 미친다는 결과를 얻었다 (Kim et al., 2001; Kim et al., 2000). FOV는 사용자의 위치에서 볼 수 있는 시야의 각도를 의미한다. 가상현실에 몰입하는 동안 피험자의 90%가 좁은 시야 (50°)와 느린 운행속도에서 사이버멀미 증상이 유의미하게 감소함으로서 시야가 넓을수록 사이버멀미를 심화시킨다는 것을 알게 되었다. 그리고 운행속도가 빠를수록 사이버 멀미가 심화된다는 것도 발견하였다.

본 연구에서는 가상현실 이용자에게서 사이버멀미를 나타내는 생리적 변화가 검출될때마다 제시환경을 좁은 화면과 느린 운행 속도로 전환하는 사이버멀미 감소 가상환경 (cybersickness alleviating virtual environment, CAVE)이 제시된다면 사용자가 멀미를 덜 느낄것이라는 가설을 세웠다. 가설을 검증하기 위해, 피부전도도, 말초체온, 말초혈류량, 심박률, 눈 깜박임, 뇌전위의 변수들을 입력으로 하는 인공신경망 (artificial neural network)으로 구성된 실시간 멀미 탐지 시스템과 CAVE-제시 피드백 시스템을 구축하였다. 이 시스템은 생리적 측정치들의 결과값이 사이버멀미의 출현을 신호할때마다 피드백 출력으로 좁은 화면과 감소된 운행속도를 일시적으로 제공하였다. CAVE의 제시가 실제로 가상현실 이용자들의 사이버멀미를 감소시켰는지에 대해 SSQ (simulator sickness questionnaires)와 자기보고를 이용하여 검사함으로서 실시간 멀미 탐지 시스템과 CAVE-제시 피드백 시스템의 효율을 평가하였다.

2. 방 법

2.1. 피험자와 실험장비

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

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), 말초혈류량 (photoplethysmogram: PPG), 손가락끝 피부 온도 (fingertip skin temperature: SKT), 피부전도도 (skin conductance level: SCL) 각각 한 채널씩으로 구성되었다. 가상현실 시스템은 KIST의 3D visual and auditory environment generator를 이용하였다 (3 채널, 해상도: 3840 × 1024, constant 30 frames/sec). 가상현실은 KIST의 건물, 주행도로, 산과 다리등을 시뮬레이션한 환경을 주행하는 것이었다.

2.2. 가상현실 평가 설문지

Motion history questionnaire, Immersive tendency questionnaire, Strong의 진로탐색검사중 능력, 성격특성부분, Presence questionnaire, Simulator sickness questionnaire, Flow questionnaire, Questionnaire for user interface satisfaction을 이용하여 설문지를 개발하였다 (Witmer and singer., 1998; Kennedy et al., 1992). 설문지는 가상현실을 경험하기 전에 작성하는 사전설문지와 가상현실을 경험한 다음에 작성하는 사후설문지로 구성되었다. 사전 설문지는 피험자들의 멀미 이력, 몰입도, 집중력, 현재 컨디션, 성격, 능력특성 등을 조사함으로써 사용자들의 내인적 요인을 조사하였고 사후설문지는 피드백 만족도, 현실감, 편안감, 멀미감 요인으로 가상현실을 경험하고 난 후에 가상현실을 평가하도록 하였다. 신뢰성을 검사하였고 Cronbach alpha값이 0.6 이상되는 요인들을 이용하였다.

2.3. 실시간 사이버멀미 탐지 시스템과 CAVE

사이버멀미시에 변화되는 생리측정치로서 뇌파 5

채널의 세타, 알파, 베타, 감마파의 상대파워, EOG의 표준편차, ECG의 heart period, SKT의 평균, 표준편차, PPG의 평균, 표준편차, SCL의 평균, 표준편차의 28개 변수들이 입력되는 인공신경망을 구성하였다. 정상기간과 멀미기간의 이들 변수들의 값을 이용하여 training vectors를 구축하고 12개 principal vectors들을 획득해서 인공신경망의 입력벡터로 이용하였다. 표준에러 backpropagation algorithm을 가진 10 노드의 hidden layer를 포함한 2-layer feedforward neural network을 훈련시켰다. 실시간으로 생리신호를 측정하면서 위에서 형성한 인공신경망을 이용하여 0-1사이의 멀미결과값을 갖는 실시간 사이버멀미 탐지 시스템을 구축하였다. 결과값 0.7을 역치로 하여 역치이상일 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 음성 지시로 구성되어 있다.

2.4. 실험절차

실험은 3단계로 사전설문지 작성단계, 가상현실 운행단계, 사후설문지 작성단계로 이루어졌다. 9분 30초 동안 진행되는 가상현실 운행 단계에서 피험자들은 시뮬레이션된 KIST가상현실을 운행하면서 10개의 목표물을 찾는 시지각 과제를 수행하였다. 어지러움이나 멀미증상을 느끼면 느낀 순간 구두 보고도 하게 하였다. 모든 피험자는 한달 간격으로 CAVE 조건과 non-CAVE 조건에서 두 번 가상현실을 경험하였다.

2.5. 데이터 수집

가상현실 제시전 2분간 기저선을 측정하고 가상현실이 제시되는 9분 30초, 가상현실 제시후 1분동안의 생리신호가 측정되었다. 생리신호 데이터를 40 samples/sec로 샘플링되었다. EEG 데이터는 band pass filter(0-50Hz)로 필터링되었고 움직임과 관련된 artifact를 제거하였다. FFT를 이용하여 파워 스펙트럼 분석을 하고 델타, 세타, 알파, 베타, 감마파의 파워를 전체 영역의 파워로 나누고 100을 곱해서 상대 파워백분율을 구했다. ECG데이터는 R-peak를 검출하여 heart rate, heart period (interbeat interval)를 구

하였다. 시지각 과제수행도는 10개의 전체 목표물중 번호를 정확히 맞힌 수를 이용하여 적중률을 계산하였다.

3. 결 과

3.1. 멀미보고수

CAVE 조건이 non-CAVE 조건보다 멀미수가 유의미하게 줄어들었다 [F(1, 22)=18.15, p<.001] (그림 1). non-CAVE 조건에서 피험자들은 평균 8회 이상의 멀미를 보고하였는데 반해 CAVE 조건에서는 평균 3회로 멀미보고수가 현저하게 줄어들었다.

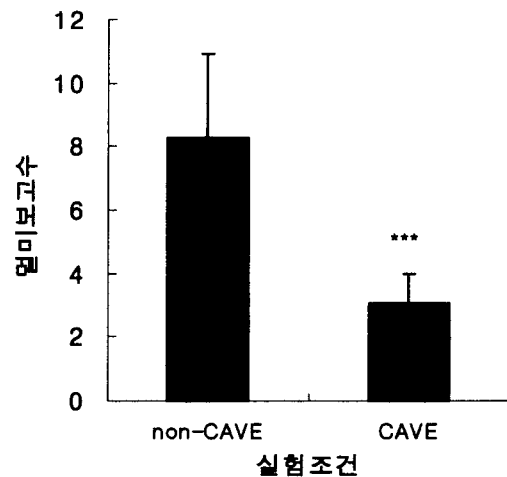


그림 1. CAVE제시 피드백에 따른 멀미보고수 비교. *** : p <.001, F(1, 22)= 18.25

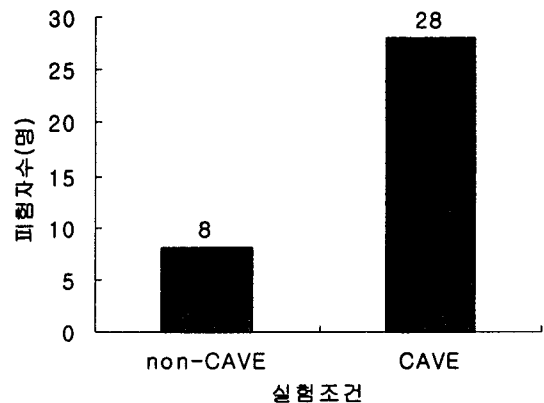


그림 2. 편안감 비교.

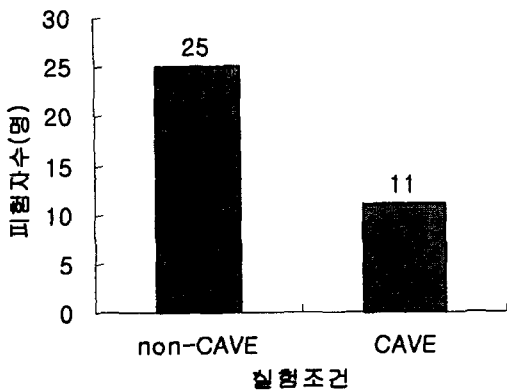


그림 3. 현실감 비교.

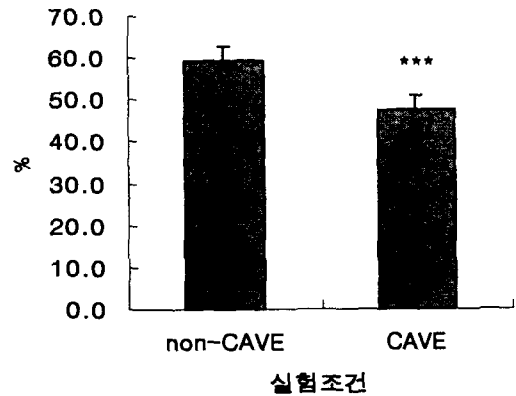


그림 5. 신체적 불편감 비교.
***: $p < .001$

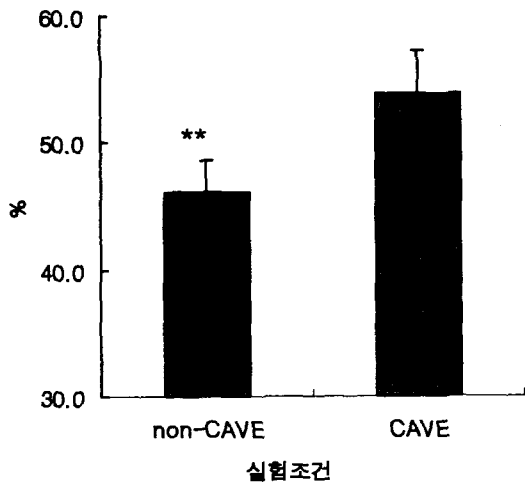


그림 4. 가상현실 사용 만족도 비교.
**: $p < .01$

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 편안 하였는지와 어느 조건의 가상현실이 더 현실감이 있었는지를 질문하였다. 그 결과 CAVE 조건이 더 편안하다고 응답한 피험자수가 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 피험자수가 11명으로 나타났고 non-CAVE 조건이 더 현실감 있다고 응답한 피험자는 25명으로 나타나서 가상현실에서의 '현실감'은 피드백 비제시 조건에서 더 높게 나타났다 (그림 3). 재미도에 있어서는 CAVE 조건이 더 재미있었다고 응답한 피험자수가 17명으로 나타났고, non-CAVE 조건은 19명의 피험자가 더 재미있었다고 응답함으로써 가상현실에서의 재미도에 있어서는 두 조건간에 큰 차이가 없었다.

가상현실 경험에 대한 '가상현실 사용 만족도'에서 피드백에 의한 주효과가 나타났다 [$F(1, 24)=7.951$, $p < .01$]. 평균 62.3%로 CAVE 조건이 53.8%의 non-CAVE 조건보다 높게 평가함으로써 멀미감소 피드백을 제시한 가상환경을 피험자가 더 만족스럽게 평가하였다 (그림 4). '신체적 불편감'에서는 피드백에 의한 주효과가 [$F(1, 24)=12.438$, $p < .001$] 나타났다. 신체적 불편감'은 non-CAVE 조건에서 평균 59% CAVE 조건에서 47.6%로서 non-CAVE 조건에서 신체적 불편감을 더 많이 나타냈다 (그림 5).

3. 논의

멀미 보고수 비교에서 CAVE (멀미 감소 피드백 제시)조건이 멀미보고수가 유의미하게 감소하였다. 가상

실을 경험하고 난 후에 실시하는 사후설문지검사 결과에서는 가상현실 경험에 대한 부정적 평가와 가상현실 운행에서 나타나는 신체적 불편감을 측정한 두 요인 모두에서 CAVE 조건이 non-CAVE 조건보다 낮은 점수를 나타냈다. 가상현실에서의 편안감 검사에서도 CAVE 조건이 non-CAVE 조건보다 더 편안하다고 유의하게 많은 수의 사람들이 응답하였다. 이상의 여러 가지 검사들은 모두 CAVE 조건이 가상현실을 운행하는데 있어서 신체적으로 편안하고 실제로 멀미를 줄이는 데 효과가 있다는 것을 일관되게 보여 주었다. CAVE 조건은 생리 신호에 기초한 인공신경망으로 멀미가 연산되면 수직축으로 150° 시야에서 50° 시야를 제시하고 속도를 줄이라고 심호흡을 하라는 지시가 제시되는 조건이다. 자기보고와 설문검사 성적은 피드백 제시조건이 효과적으로 사이버멀미를 감소시키는 것으로 보여진다.

그러나 가상현실에서의 현실감 부분에 있어서는 non-CAVE 조건이 CAVE 조건보다 더 현실감 있다고 응답한 사람의 수가 더 많이 나타났다. 멀미 감소 피드백 상황은 멀미를 줄이는 데는 효과적일 수 있으나 가상현실의 현실감에는 부정적으로 작용했다고 보여진다. 피드백을 통해 멀미를 줄였으나 피드백이 가상현실에 몰입하는 것을 방해하였고 그 결과 가상현실의 현실감이 떨어진 것으로 생각된다. 피드백을 제시받았을 때 실제로 멀미가 일어나는 순간이었는지를 물어보고 멀미 감소 피드백이 멀미를 줄이는데 효과적이었는지를 묻는 피드백 만족도 설문 결과 피드백이 적절하게 이루어졌다고 대부분의 사람들이 보고하였다. 이러한 결과는 멀미 감소 피드백이 실제로 멀미를 줄이는데 적절하게 제시되었다는 것을 뒷받침된다.

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 멀미 감소 피드백을 제시하는 것이다. 무작위 피드백 제시 조건과 피드백 비제시 조건에서는 멀미 보고수, 설문 검사 성적, 과

제 수행 적중률, 생리적 변화에서 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 단순히 피드백을 받았다는 것보다는 멀미를 경험할 때 멀미감소 피드백이 실제로 제시되어야 심리적, 생리적 행동의 변화를 일으킬수 있다는 것을 보여준다.

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

참고문헌

- Ellis, S. What Are Virtual Environments?. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4(1): 17-22, 1994.
- Kim, Y. Y., Kim, H. J., Chung, M. S., Lee, Y. H., Moon, S. J., Jin, C., Ko, H. D., Park, B. K., Park, K. S., and Kim, H. T. Psychophysiological effects of navigation in a virtual reality. *한국감성과학회 2000추계학술대회 논문집*, 424-428, 2000.
- Kim, Y. Y., Kim, H. J., Ko, H. D., and Kim, H. T. Psychophysiological changes by Navigation in a virtual reality. *IEEE EMBS conference 2001*, 187, 2001.
- Regan, E. C. and Price, K. R. The frequency of occurrence and severity of side-effects of immersion virtual reality. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 6, 527-530, 1994.
- Strauss, S. Virtual reality too real for many. *Globe & Mail*, A1-A8, 1995.