

가상현실에서의 운행이 인체에 미치는 영향에 대한 심리생리학적 연구

김영운*, 김현주*, 정명숙*, 이영혁*, 문성재**, 진창배**,
고희동***, 박병관****, 박광석*****, 김현택*

*고려대학교 심리학과, **한국과학기술연구원 생체대사연구센터
한국과학기술연구원 영상미디어센터, *한국심리자문연구소, *****서울대 의공학과

Psychophysiological Effects of Navigation in a Virtual Reality

Y. Y. Kim^{*}, H. J. Kim^{*}, M. S. Chung^{*}, Y. H. Lee^{*}, S. J. Moon^{**}, C. Jin^{**},
H. D. Ko^{***}, B. K. Park^{****}, K. S. Park^{*****}, and H. T. Kim^{*}

^{*}Dept. of Psychology, Korea Univ, ^{**}Bioanalysis & Biotransformation Research Center, KIST,
^{***}Imaging Media Research Center, KIST, ^{****}Korea Institute for Psychological Consulting,
^{*****}Dept. of Biomedical Engineering, Seoul National Univ.

Abstract

본 연구에서는 가상현실에서 simulator factor [FOV (field of view)와 운행속도, frame rate의 fluctuation]를 변화시키면서 사용자들의 시지각 과제수행도, 생리신호의 변화를 관찰하였고, 가상현실 경험 전·후에 실시한 설문지 조사를 통해 심리적 영향도 알아보았다. 1) 가상현실 운행시 눈감박임이 감소하고 Pz, O1, O2 영역의 알파파가 줄어들며 델타파가 늘어나는 생리적 변화가 나타났다. 2) 특히 가상현실에서 멀미를 보고했을 때 심박률, 피부전도도가 증가하고 피부온도가 감소하는 것으로 나타났다. 멀미 보고시 나타난 변화는 교감신경계의 활동성이 증가하는 방향과 일치하였다. 3) 빠른 운행속도가 느린 운행속도보다 높은 말초혈류량 최대-최소차이값을 나타냈고, 넓은 FOV가 좁은 FOV보다 높은 심박률을 나타냈다. 좁은 화면 보다 넓은 화면 조건에서 Cz, Pz 영역의 알파파는 더 낮게 나타났고 델타파는 더 높게 나타났다. frame rate의 fluctuation이 없을 때에 비해 있을 때 더 높은 피부전도도를 보여주었다. 4) 가상현실 평가설문지 분석결과 신체적 불편감은 좁은 FOV·느린 운행속도 조건에서 가장 적은 불편감을 나타냈다. 과제수행 곤란도는 느린 운행속도에서 가장 적게 나타났고 과제수행 적응률은 느린 운행속도에서 가장 높게 나타났다. 생리신호, 과제수행 적응률, 설문지 분석결과는 좁은 FOV·느린 운행속도의 가상환경이 가장 멀미에 덜 민감하고 과제수행하기에 가장 용이한 것으로 나타났다.

Keywords: 가상현실, 멀미, 생리신호, 심리적 영향

1. 서론

인간화를 지향하는 가상현실시스템을 구축하기 위한 방안으로서 사용자들의 감성요소를 반영한 최적의 가상현실 시스템을 설계하는 것이 관건이 되고 있다. 예로 적정한 Field of View (FOV)와

Frame Rate (FR)를 찾는 연구들을 들 수 있다 (Richard et al., 1996; Postka et al., 1998). FOV는 사용자의 위치에서 볼 수 있는 시야의 각도를 의미한다. FOV가 넓을수록 사용자들의 자기 위치 확인에 긍정적인 효과를 내는 반면 (Postka, 1998), 가상현실 멀미 (simulator

sickness)는 증가된다고 한다 (Barfield et al., 1991: Arthur., 1996: Kennedy et al., 1989). 또한 FR은 1초당 보여지는 이미지의 수 (frames/sec)를 의미하는데, 높은 FR은 가상현실 시스템의 입장감을 향상시키는 반면 (Pausch et al., 1992), 화면에 나타나는 이미지의 속도가 불규칙하게 나타나는 fluctuation도 증가된다. 지금까지 FOV의 확대와 FR를 높이기 위한 많은 연구와 노력들이 이루어졌는데 반해서, simulator factor에 대한 효율성 평가는 이루어지지 않고 있다. 또한 지금까지의 연구들은 주로 자기보고를 이용한 주관적인 평가자료를 토대로 이루어졌기 때문에 보다 객관적인 평가가 필요하다.

본 연구에서는 가상현실 내에서 생리신호를 측정하고, 설문지를 이용한 주관적인 평가를 통해 가상현실 사용자의 생리적, 심리적 특성을 밝히고자 하였다. 특히, 가상현실 사용자들이 가장 흔히 겪는 simulator sickness와 관련된 생체 신호들의 패턴을 알아보았다. 가상현실 사용자의 생리적, 심리적 특성을 참고하여 FOV와 운행속도 (navigation speed), FR의 fluctuation과 같은 simulator factor를 평가하였다.

2. 방법

2.1. 피험자와 실험장비

18-26세의 대학생 54명이 실험에 참가하였다 (남 31명, 여 23명, 평균 21.9세). 모두 약물중독이나 신경학적 장애가 없었고 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), 피부전

도도 (skin conductance level: SCL) 각각 한 채널씩으로 구성되었다. 가상현실 시스템은 KIST의 3D visual and auditory environment generator를 이용하였다 (3채널, 해상도: 3840 × 1024, constant 30 frames/sec).

2.2. 가상현실 평가 설문지

Immersive tendency questionnaire, Strong의 진로탐색검사중 능력, 성격특성부분, Presence questionnaire, Simulator sickness questionnaire, Flow questionnaire, Questionnaire for user interface satisfaction를 이용하여 설문지를 개발하였다 (Witmer and singer., 1998: Kennedy et al., 1992). 설문지는 가상현실을 경험하기 전에 작성하는 사전설문지와 가상현실을 경험한 다음에 작성하는 사후설문지로 구성되었다. 사전설문지는 피험자들의 성격, 몰입도, 집중력, 현재 컨디션 등을 조사함으로써 사용자들의 내인적 요인을 조사하였고 사후설문지는 부정적 평가, 신체적 불편감, 과제수행 곤란도 요인으로 가상현실을 경험하고 난 후에 가상현실을 평가하도록 하였다. 신뢰성을 검사하였고 Cronbach alpha값이 0.6 이상 되는 요인들을 이용하였다.

2.3. 실험절차

실험은 3단계로 사전설문지 작성단계, 가상현실 운행단계, 사후설문지 작성단계로 이루어졌다. 5분 동안 진행되는 가상현실 운행 단계에서 피험자들은 미리 정해진 가상현실 KIST 내의 일정한 경로를 운행하면서 10개의 목표물을 찾는 시지각 과제를 수행하였다. 어지러움이나 멀미증상을 느끼면 느린 순간 구두 보고를 하게 하였다. 가상현실 운행은 FOV의 고저 (150° × 45°, 50° × 45°)와 운행속도의 고저 (5path/5분, 1path/5분)에 따라 4가지 조건으로 제시되었다. 이 중에서 좁은 FOV, 빠른 운행 속도 조건을 선택하여 5-60 frames/sec의 fluctuation을 제시하였다.

2.4. 데이터 수집

가상현실 제시 2분전부터 가상현실이 제시되

는 5분, 가상현실 제시후 1분까지의 총 8분의 연속된 기간의 신호가 측정되었다. 생리신호 데이터를 200 samples/sec로 샘플링하였다. EEG 데이터는 band pass filter(0-60Hz)로 필터링되었고 움직임과 관련된 artifact를 제거하였다. FFT를 이용하여 파워 스펙트럼 분석을 하고 델타, 세타, 알파, 베타, 감마파의 파워를 전체 영역의 파워로 나누고 100을 곱해서 상대파워 백분율을 구했다. Biopac사의 software AcqKnowledge ver.3.5를 사용하여 R-peak를 검출하여 heart rate, heart period (interbeat interval)를 구하였다. 시지각 과제수행도는 10개의 전체 목표물중 번호를 정확히 맞힌 수를 이용하여 적중률을 계산하였다.

3. 결과

3.1. 가상현실 운행에 따른 생리적, 심리적 변화

가상현실 운행전에 비해서 운행중에 눈 깜박임이 분당 평균 7.2회 감소하였고, 운행후에는 운행전에 비해 분당 평균 12회 이상 증가하였다 ($p < .001$). 피부전도도는 운행전 평균 $9.40 \mu S$ 에서 운행중에는 평균 $11.20 \mu S$ 로 증가하였다 ($p < .001$). 운행전에 비해서 운행후에 Pz, O1, O2영역에서 알파파의 상대파워백분율은 유의미하게 감소하였고 이에 비해 델타파의 상대파워 백분율은 유의미하게 증가하였다 (표 1). 설문지 분석결과 가상현실을 경험한 사람들은 가상현실에 대한 부정적 평가를 평균 28% 미만으로 함으로서 가상현실 경험에 대해 비교적 긍정적으로 평가하였고 신체적 불편감은 평균 33%, 과제수행 곤란도는 평균 44%로 나타났다.

3.2. 가상현실 멀미에 따른 생리적, 심리적 변화

가상현실 운행동안 70%의 피험자가 어지러움을 보고하였다. 멀미후에 심박률은 멀미전에 비해 약 4 bpm 더 빨라졌다. ($p < .001$). 눈 깜박임의 경우 멀미후에 분당 평균 36회로 멀미전에 비해 분당 11회 증가하였다 ($p < .001$).

표 1. 가상현실 운행에 따른 뇌파변화.

	가상현실 운행			비교
	전	중	후	
Pz delta power %	60.13	63.54	67.35	전<후*
O1. delta power %	60.85	64.61	69.48	전<후*
O2 delta power %	60.56	63.93	67.71	전<후*
Pz alpha power %	11.66	9.40	7.84	전>후*
O1 alpha power %	10.59	8.26	7.20	전>후*
O2 alpha power %	10.55	8.82	7.79	전>후*

*: $p < .05$

표 2. 가상현실 멀미에 따른 생리적 변화. n=44

	전	가상현실 운행			후
		중			
		1	2 (멀미전)	3 (멀미후)	
Heart rate bpm	77.65	77.02	77.27	81.18	77.15
Eye Blink #/min	23.16	16.08	24.84	36.00	41.28
SKT * F	78.08	77.80	77.49	77.41	77.41
SCL μS	9.17	11.17	11.00	11.25	11.03

피부온도는 운행중에 비해 멀미후에 약 $0.4^\circ F$ 감소하였다 ($p < .001$). 피부전도도는 멀미전에 비해서 멀미후에 약 $0.25 \mu S$ 가 증가하였다 ($p < .05$) (표 2).

10번 이상 멀미를 보고한 사람들의 경우 과제수행적중률이 평균 0.41로 멀미를 경험하지 않은 사람들의 평균 0.77에 비해서 낮았고 ($p < .05$), 멀미를 경험한 사람들이 경험하지 않은 사람들보다 신체적 불편감, 과제수행 곤란도, 부정적 평가에서 더 높은 점수를 나타냈다.

3.3. FOV, 운행속도, FR의 fluctuation에 따른 생리 신호, 설문검사 성적, 시지각과제 수행도

Heart period는 느린 운행속도에서 넓은 FOV가 좁은 FOV보다 평균 90 msec 더 짧게 나타났다. ($p < .001$) (그림 1). 말초혈류량의 최대-최소 차이값은 가상현실 항해후에서 느린 운행속도보다 빠른 운행속도조건이 높게 나왔다 ($p < .001$) (그림 2). 정중 중심부, 정중 두정부에서 델타파는 가상현실 운행중에 좁은 FOV보다 넓은 FOV에서 더 높은 상대파워를 나타

났다 ($p < .001$). 정중 중심부, 정중 두정부에서
알파파는 가상현실 운행중에 좁은 FOV보다 넓은 FOV가 더낮은 상대파워를 나타냈다 ($p < .001$) (그림 3).

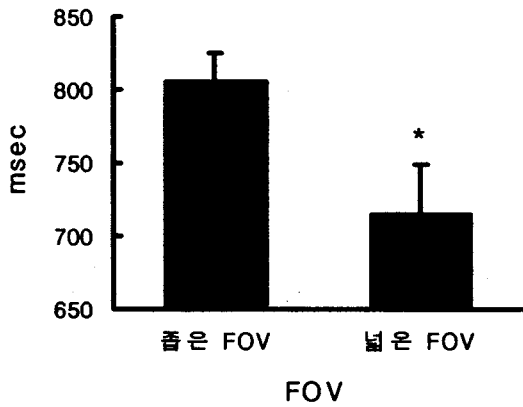


그림 1. FOV에 따른 Heart period 비교.
*: $p < .05$.

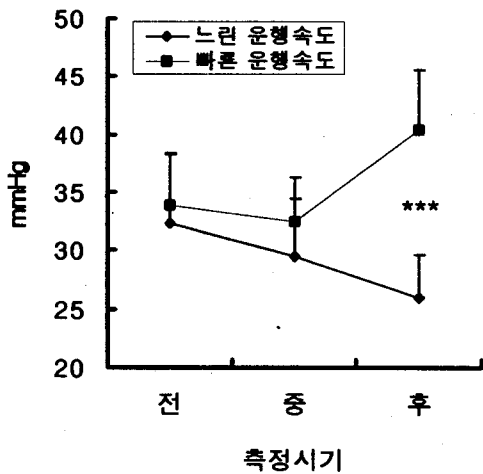


그림 2. 운행속도에 따른 말초혈류량
최대-최소 차이값 비교.
***: $p < .001$, $F(2, 80) = 3.56$, ANOVA.

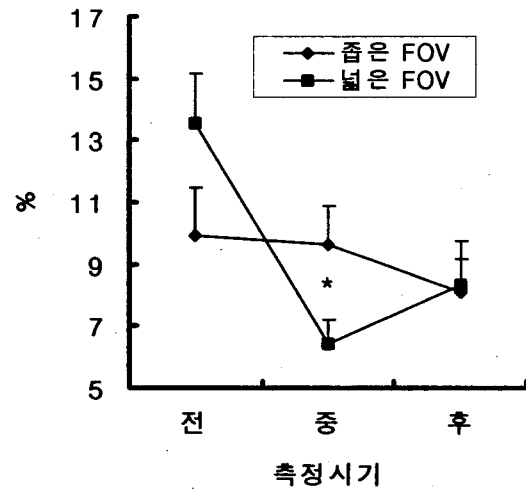


그림 3. FOV에 따른 정중 두정부 알파파
상대파워백분율 비교.
*: $p < .05$, $F(2, 80) = 4.91$, ANOVA.

피부전도도는 가상현실 운행중에 FR의 fluctuation이 있을 때 보다 없을 때 더 낮게 나타났다 ($p < .05$). 가상현실 운행후에 정중 중심부에서 FR의 fluctuation이 없을 때 보다 있을 때 더 높은 델타파 상대파워를 나타냈다 ($p < .05$).

부정적 평가는 평균 32%로 빠른 운행속도가 22.8%의 느린 운행속도보다 부정적으로 평가하였으며, 신체적 불편감은 평균 37.6%로 빠른 운행속도가 25.4%의 느린 운행속도보다 신체적 불편감을 더 많이 나타냈다 ($p < .05$). 과제수행 곤란도에서도 빠른 운행속도가 느린 운행속도보다 높은 곤란도를 보여주었다 ($p < .001$). 신체적 불편감의 경우 좁은 FOV·빠른 운행속도 조건은 평균 18.2%으로 평균 35%의 다른 조건들에 비해서 유의미하게 낮은 것으로 나타났다 (그림 4).

과제수행 곤란도에서 느린 운행속도조건이 빠른 운행속도보다 과제수행 곤란도가 더 낮게 나타났다 ($p < .05$). 과제수행 적중률은 느린 운행속도는 평균 0.93으로 적중률이 매우 높는데 반해 빠른 운행속도는 0.35으로 낮게 나타났다 (그림 5).

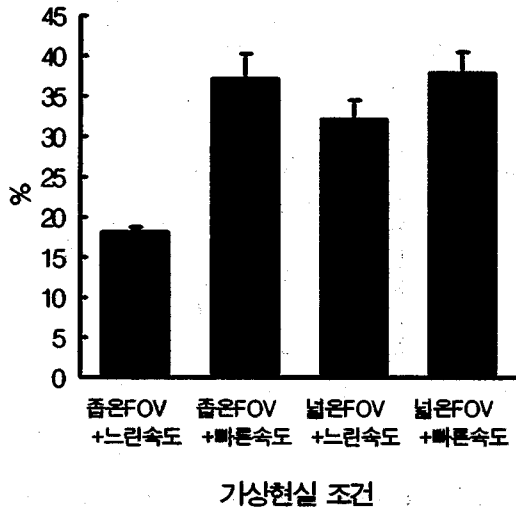


그림 4. FOV, 운행속도에 따른 신체적 불편감 비교.
p<.05, F(3, 44)=3.65, ANOVA.

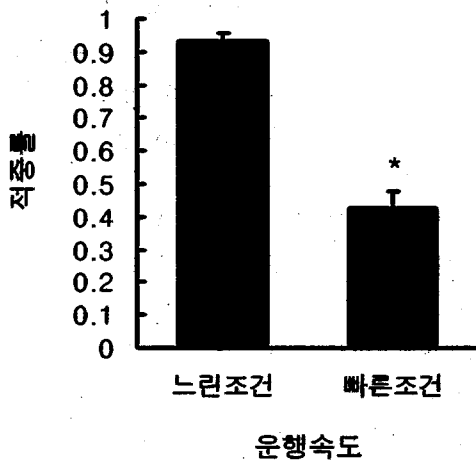


그림 5. 운행속도에 따른 과제수행도.
*: p<.05.

4. 논의

청각 자극에 주의를 주었을 때 눈깜박임이 감소하므로 (Graham, 1975), 가상현실 운행중에 눈 깜박임이 감소된 본 연구의 결과는 제시된 시각 자극에 대한 주위가 증가되었기 때문인 것으로 생각

된다. 피부전도도는 각성도, 자극의 신기성과 함께 증가하는데(Freeman., 1940: Andreassi and Whalen., 1967), 가상현실 운행중에 피부전도도가 증가한 것은 새로운 자극인 가상현실에 대한 주의 집중이 증가하고 이에 동반하여 각성 상태가 올라간 것을 반영한다고 생각된다. 가상현실을 경험한 후 알파파가 감소하였는데 알파파는 환경자극을 감지하여 받아들이는 과정에서 감소하고 이에 반해 환경자극을 무시하고 거부하는 과정에서는 증가한다고 한다 (Ray and Cole., 1985: Valentino and Dufresne., 1991: Valentino et al., 1993). 가상현실 운행중에 나타난 생리적 변화는 가상현실에서 제시된 시지각 정보처리와 과제수행이 요구한 목표물탐색으로 인해 주의와 각성을 증가시켰을 가능성을 시사한다.

가상현실 운행시 나타난 simulator sickness에는 심박률, 피부전도도가 증가하고 피부온도가 감소하는 자율신경계의 변화가 관여되는 것으로 나타났다. 자율신경계의 변화는 주로 교감신경계의 활동성이 증가하는 방향과 일치하였고, 이는 기존의 연구에서 나타난 motion sickness로 인한 증상과 유사하다 (Money., 1970). 스트레스 상황에서 눈 깜박임이 증가하는데 (Tecce., 1992) 멀미후에 눈 깜박임이 증가하는 것은 simulator sickness를 일으키는 환경이 일종의 stressor로 작용할수 있음을 시사한다. 운행중에 비해 멀미후에 피부온도가 감소한 것으로 나타났는데, 위기상황에서 교감신경계가 활성화되어 땀분비가 촉진됨에 따라서 피부온도가 낮아지는 것으로 생각된다 (Edelberg., 1973).

가상현실 사용자의 생리적 변화를 참고로 하면 좁은 FOV보다 넓은 FOV, 느린 운행속도보다 빠른 운행속도, FR의 fluctuation이 있게 제시된 조건이 자율신경계와 중추신경계의 활동에 급격한 변화를 일으킨 것으로 생각된다. 생리신호의 변화, 과제수행적증률, 설문지분석결과를 통해 좁은 FOV·느린 운행속도의 가상환경조건이 가장 simulator sickness에 덜 민감하고 과제수행하기에 가장 용이한 것으로 나타났다. 화면이 느리게 변화하고 화면폭이 좁음으로 인해 시각적, 지각적인

부하가 적게 요구되어 신체적 불편감이 적게 나타났고 과제수행에 있어서 목표물을 탐색하는데 충분한 시간을 가질수 있었기 때문에 그 과제가 더 쉬웠을 것으로 생각된다. 빠른 운행속도에서는 목표물에 노출된 총시간은 같았으나, 한번에 처리해야 하는 시각정보가 너무 많았기 때문에 시지각 과제수행 적중률이 낮았을 것이다.

앞으로의 연구에서 다양한 가상현실 조건의 데이터를 수집하여 사용자 요인, 시뮬레이터 요인, 과제 요인들을 평가하는데 유용한 평가시스템을 개발할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 구두로 보고함으로써 나타나는 개인간 차이를 극복하기 위해 simulator sickness를 감지하는 센서를 개발하는 연구도 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- Andreassi J. L., and Whalen P. M.(1967), Some physiological correlates of learning and overlearning, Psychophysiology, 3(4), 406-413.
- Arthur, K.(1996), Effects of Field of View on task performance with head mounted displays, CHI'96 proceedings on Human Factors and Computing Systems, NY:ACM.
- Barfield, W., and Kim, Y.(1991), Effect of geometric parameters of perspective on judgements of spatial information, Perceptual and Motor Skills, 73, 619-623.
- Edelberg, R.(1973), Mechanisms of electrodermal adaptations for locomotion, manipulation, or defense, Progress in Physiological Psychology, 5, 155-209.
- Freeman, G. L.(1940), The relationship between performance level and bodily activity level, Journal of Experimental Psychology, 26, 602-608.
- Graham, F. K.(1975), The most of less startling effects of weak prestimulation, Psychophysiology, 12, 238-248.
- 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.
- Kennedy, R. S., Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S., Baltzley, D. R., and McCauley, M. E.(1989), Simulator sickness in U. S. Navy flight simulators, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 60(1), 10-16.
- Money, K. E.(1970), Motion sickness, Physiological Reviews, 50(1), 1-39.
- Pausch, R., Crea, T., and Conway, M.(1992), A literature survey for virtual environments: Military flight simulator visual systems and simulator sickness, Presence, 1(3), 344-363.
- Psootka, J., Lewis, S. A.(1998), Effects of Field of View on Judgement of Self-Location: Distortions in Distance Estimations Even When the Image Geometry Exactly Fits the Field of View, Presence, 7(4): 352-369.
- Ray, W. J., and Cole, H. W.(1985), EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes, Science, 228, 750-752.
- Richard, P., Birebent, G., and Coiffet.(1996), Effect of frame rate and force feedback on virtual object manipulation, Presence, 5(1), 95-101.
- Tecce, J. J.(1992), Psychology, physiology and experimental psychology, In, Ed. McGraw-Hill yearbook of science & technology, New York:McGraw-Hill.
- Valentino D. A., and Dufresne R. L.(1991), Attention tasks and EEG power spectra, International Journal of Psychophysiology, 11(3), 299-301.
- Valentino, D. A., Arruda, J. E., and Gold, S.(1993), M. Comparison of QEEG and

response accuracy in good vs. poorer performers during a vigilance task, International Journal of Psychophysiology, 15(2), 123-134.

Witmer, B., and Singer, M.(1998), Measuring Presence in Virtual Environments: A presence questionnaire, Presence, 7(3), 225-240.