

가상주행에서 모션플랫폼의 긍정적인 효과

The positive effect of motion platform in virtual navigation

김영윤* · 김은남* · 고희동** · 김현택*

Youngoun Kim, Eunnam Kim, Heedong Ko, Hyuntaek Kim

Abstract : In this study, we examined the evaluation of Virtual Reality (VR) according to the use of motion platform. We recorded electrogastrogram, skin conductance, blood volume, skin temperature, heart rate, and the frequency of eyeblink before, during, after virtual navigation in 33 subjects. We used simulator sickness questionnaire, presence questionnaire, and self-report to evaluate cybersickness and presence in VR system. All subjects experienced VR two times in Motion platform condition and non-Motion platform condition at two-week intervals. Presence score of motion platform condition was greater than non-motion platform condition. The frequency and severity of cybersickness were significantly reduced in motion platform condition than non-motion platform condition. These results suggest that the use of motion platform that synchronizes visual presentation provides higher presence and reduces cybersickness.

Key words : Virtual Reality, Motion platform, Cybersickness, Presence

요 약 : 본 연구에서는 가상현실사용자들이 모션베이스를 사용함에 따라 가상현실에 대한 평가가 어떻게 달라지는지를 조사하였다. 33명의 피험자를 대상으로 모션베이스 평가설문과 자기보고를 통해 가상현실에서의 현실감, 재미, 멀미감을 조사하고 가상주행 전, 중, 후에 내장근전위, 피부전도도, 말초체온, 말초혈류량, 심박률, 눈 깜박임의 생리신호를 측정, 분석함으로써 모션베이스 유무에 따른 심리·생리적인 변수들에서의 차이를 알아보았다. 모든 피험자는 2주간격으로 모션베이스 사용조건과 모션베이스를 사용하지 않는 조건에서 두 번 가상현실을 경험하였다. 가상현실에 대한 현실감, 재미항목에서 모두 모션베이스를 사용한 조건이 높은 점수를 나타냈다. 또한 모션베이스를 사용한 조건에서 멀미보고수가 감소하는 경향이 나타났다. Tachyarrhythmia의 상대과위 변화량과 PPG 최대진폭의 평균변화량 비교는 모션베이스를 사용한 가상현실 조건이 생리적인 요동을 적게 일으키는 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 시각제시기와 동기화된 모션베이스를 도입함으로써, 가상현실에 대한 현실감은 높이면서 멀미감은 줄일 수 있다는 가능성을 보여준다.

주요어 : 가상현실, 모션베이스, 사이버멀미, 현실감

1. 서론

가상현실은 교육, 의료, 오락, 예술, 과학전반에 다양하게 응용되고 있으며, 인간과 컴퓨터의 상호작용을 위한 새로운 의사소통 매체로서 사회전반에 엄청난 변화를 가져 올 것으로 기대되고 있다[1].

가상현실은 컴퓨터 그래픽 기법과 다양한 디스플레이, 자료입력 기법들이 하나로 통합되어 사용자에게 그 환경 내에 존재하거나 혹은 몰입해 있다는 느낌을 제공한다.

가상현실에 대한 실제적인 정의들이 많지만 단순하면서도 가장 설득력 있는 것은 Burdea와 Coiffet

*고려대학교 심리학과(Department of Psychology, Korea University)

**한국과학기술원 영상미디어센터(Imaging Media Research Center, KIST)

[2]의 3I를 들 수 있다. 가상현실은 몰입(immersion), 상호작용(interaction), 그리고 상상(imagination)의 3I의 삼각형을 만든다. 이 중에서 몰입의 측면을 살펴보면, 기술적 한계에도 불구하고 많은 가상현실 환경들은 사용자가 그 속에 있다는 현실감 혹은 몰입감을 느끼도록 한다. 몰입은 현실세계 대신 가상현실에 주의를 두는 것을 말한다. 몰입정도는 시각적 상상력에 의해서 영향 받는다. 시뮬레이션 장면, 그림, 사진 등의 영상과 상호작용으로 인간은 자동적으로 가상의 자신을 형성하게 되고 마치 자기가 그곳에 있는 것처럼 그 공간에 몰입하게 된다. 즉, 기하학적 공간 내에 자신이 존재한다는 느낌은 몰입에서 가장 중요한 요소이다. 현재는 HMD (Head-Mounted Display)나 다채널 시스템을 이용하여 가상환경에서 사용자에게 몰입을 유도해 내고 있다. 한편, 가상현실에서 몰입은 멀미를 유발하는 것으로 알려져 있다. 가상환경에서 자세와 위치 설정으로 인해 시각기관으로 들어오는 입력과 전정기관으로 들어오는 입력사이 불일치가 발생하고 이러한 불일치는 사이버멀미(cybersickness)를 유발한다. 사이버멀미는 사용자들이 가상환경에 친숙해지기 위해서 해결해야 할 가장 중요한 장애 중의 하나이다[3].

주행 상황과 관련된 가상환경에서의 효과적인 현실감 제시를 위해서는 그래픽 화면의 구성, 입체 음향 효과, 그리고 주행 상황에서의 운동감 제시 등이 필요하다. 가상환경에서 다양한 운동을 제시하기 위해 다자유도 모션플랫폼(motion platform)이 요구되는데, 주로 6자유도 스텐워드 플랫폼(stewart platform)이 많이 사용되고 있다. 스텐워드 플랫폼은 70년대 NASA에서 항공기 시뮬레이터로 사용되기 시작한 후부터, 자동차, 선박, 모터 사이클, 그리고 자전거 등 각종 시뮬레이터에 사용되어 왔다. 현실에서의 여러 주행 상황들은 모두 물리적인 법칙에 의해서 지배를 받으므로, 가상환경에서 발생하는 주행 상황들도 동일한 물리적인 법칙에 의해서 제시되어야 한다. 그러므로 주행 장치의 동역학이 실시간으로 계산되어, 그래픽 화면 및 모션플랫폼에 제공되어야 한다[4].

본 연구에서는 시각제시기와 동기화된 모션플랫폼

을 이용하였을 경우 가상현실 사용자가 가상현실에 더 깊이 몰입하고 사이버멀미가 감소할 것이라는 가설을 세웠다. 가설을 검증하기 위해, 가상현실 사용자의 몰입감과 멀미감을 심리생리화학적 측정도구들과 다양한 설문지를 이용하여 조사하였다.

2. 방법

피험자내 설계로 모든 피험자는 모션플랫폼을 사용하는 가상현실 조건과 모션플랫폼을 사용하지 않는 조건을 2주 간격으로 경험하고 멀미감, 현실감등의 항목에 대해서 두 조건을 비교하도록 하였다. 가상주행 전, 중, 후에 내장근전위, 피부전도도, 말초체온, 말초혈류량, 심박률, 눈 깜박임의 생리신호를 측정, 분석함으로써 두 가지 가상현실 조건에 따른 생리적인 변화에 차이가 있는지를 알아보았다. 사이버멀미에 따라 다양한 자율신경계의 생리신호들이 변화되는데 이전의 연구에서 멀미와 관련되어 변화가 일어났던 생리신호들을 대상으로 측정, 분석하였다 [5].

2.1 피험자

18~26세의 대학생 33명이 실험에 참가하였다(남 17명, 여 16명, 평균 23.0세, 표준편차 1.9세). 모두 약물중독이나 신경학적 장애가 없고 정상 시력이었다. 모든 피험자는 실험에 대한 충분한 설명 후에 피험자의 권리가 명시된 실험동의서(informed consent)에 서명하였다.

2.2 생리신호측정

7개 채널의 데이터를 Biopac사의 MP-100(16 bit analog-to-digital system)을 사용하여 획득하였다. 7개 채널은 심전도(electrocardiogram: ECG), 안전위(electrooculogram: EOG), 말초혈류량(photoplethysmogram: PPG), 손가락끝 피부 온도(fingertip skin temperature: SKT), 피부전도도(skin conductance level: SCL), 호흡률(respiration rate: RSP), 위장근전위(electrogastrogram: EGG)의 각각 한 채널씩으로 구성되었다. ECG는 lead II 방법(오른쪽 손목(-),

왼쪽 다리(+)으로 측정하였으며, EOG는 오른쪽 눈썹 위 2 mm 위치에 (+) 전극을 붙이고 눈 아래 10 mm 위치에 (-) 전극을 붙임으로써 눈의 수직적인 움직임과 진위를 측정하였다. RSP는 오른 가슴위에 센서를 위치시켜 측정하였다. EGG는 두 개의 전극을 부착하는데, (-) 전극은 배꼽과 검상돌기(xiphoid process) 사이 길이의 25%만큼 배꼽위에 부착하고, (+) 전극은 늑골아래 정중선에서 왼쪽으로 8 cm에 부착하였다. PPG, SKT, SCL은 모두 오른손 손가락에 각각 부착하였다.

2.3 가상현실 시스템과 모션플랫폼

가상현실 시스템은 KIST의 3D Visual and Auditory Environment Generator(VAEG)를 사용하였다. 이 시스템은 3채널을 통해 제시되며, 3840×1024 pixel의 비교적 높은 해상도를 제공한다. 본 연구에서는 KIST의 건물, 주행도로, 산과 다리 등을 3D 모델로 시뮬레이션한 환경을 실시간으로 제공하였다. FOV의 경우, 150°(horizontal axis)×45°(vertical axis)로 제시되었으며, frame rate는 30 frames/second로 변동(fluctuation)없이 일정하게 제시되었다.

모션플랫폼으로는 고려대학교 기계공학과에서 개발한 KU-MS(Korea University-Motion Simulator)와 핸들형 제어장치를 사용하였다. KU-MS는 6개의 400W AC 모터를 이용하여 6자유도 운동을 가능하게 하며 200kg의 가반중량을 가진다. 또한 모터 드라이버의 빠른 제어 및 기구학 연산은 실시간 통신을 통해 시각제시기와 동기화하도록 설계되었다.

2.4 가상현실 평가 설문지

Motion history questionnaire, Immersive tendency questionnaire, Presence questionnaire, Simulator sickness questionnaire, Flow questionnaire를 사용하였다[6, 7]. 설문지는 가상현실을 경험하기 전에 작성하는 사전설문지와 가상현실을 경험한 다음에 작성하는 사후설문지로 구성되었다. 사전설문지는 피험자들의 멀미 이력, 몰입도, 집중력, 현재 컨디션 등을 조사함으로써 사용자들의 내인적 요인을 조사하였고 사후설문지는 현실감, 멀미감, 재미

요인으로 가상현실을 경험하고 난 후에 가상현실을 평가하도록 하였다.

2.5 실험절차

실험은 3단계로 사전설문지 작성단계, 가상현실 운행단계, 사후설문지 작성단계로 이루어졌다. 가상주행을 하기 전에 주행시뮬레이터의 조작법을 배우기 위해 3분 동안의 연습시간이 주어졌다. 9분 30초 동안 진행되는 가상현실 운행 단계에서 피험자들은 시뮬레이션된 가상현실을 운행하면서 10개의 목표물을 찾는 시지각 과제를 수행하였다. 어지러움이나 멀미증상을 느끼면 즉시 구두 보고를 하게 하였다. 2명의 실험보조자가 과제수행과 어지러움 보고에 대한 횟수와 반응시간을 기록하였다. 모든 피험자는 2주 간격으로 모션플랫폼 사용 조건과 모션플랫폼을 사용하지 않는 조건에서 두 번 가상현실을 경험하였다. 연습효과를 막기 위해 두 조건은 counter-balancing을 하였다.

2.6 데이터 수집

가상현실 제시전 1분간 기저선을 측정하고 가상현실이 제시되는 9분 30초, 가상현실 제시후 1분 동안의 생리신호가 측정되었다. 생리신호 데이터는 400 samples/sec로 샘플링 되었다. EGG데이터는 FFT를 이용하여 스펙트럼 분석을 하고 3 cpm의 상대파워와 tachyarrhythmia (4-9.75 cpm)의 상대파워를 구하였다. ECG데이터는 R-peak를 검출하여 heart rate, heart period (interbeat interval), RSA(respiratory sinus arrhythmia)를 구하였다. EOG 데이터에서 눈 깜박임 수를 검출하였으며, 그 외의 생리신호데이터들은 평균과 표준편차를 구하였다. 또한 가상현실 동안의 모든 생리데이터에서 각각의 기저선 값을 빼줌으로써 생리신호 변화량을 기준으로 조건에 따른 비교를 하였다. 모션플랫폼 사용유무에 따라 일원 피험자내 설계로, 변량분석 하였다.

3. 실험결과

모션플랫폼 사용조건이 비사용 조건보다 멀미수가

감소하는 경향성이 나타났다($F(1, 32)=1.38, p<.06$). 모션플랫폼을 사용하지 않은 조건에서 피험자들은 평균 3회 이상의 멀미를 보고하였는데 반해 모션플랫폼 사용 조건에서는 평균 1.5회로 멀미보고수가 줄어들었다(그림 1).

설문지 분석 결과 현실감요인에서 모션플랫폼 사용 조건이 7점척도에서 평균 5.1점으로 모션플랫폼 비사용조건 3.5점보다 유의미하게 높게 나타났다($F(1, 32)=4.52, p<.05$)(그림 2). 가상현실에서의 재미요인에서 모션플랫폼 사용 조건이 7점척도에서 평균 5.5점으로 모션플랫폼 비사용조건 4.5점보다 유의미하게 높게 나타났다($F(1, 32)=3.11, p<.05$).

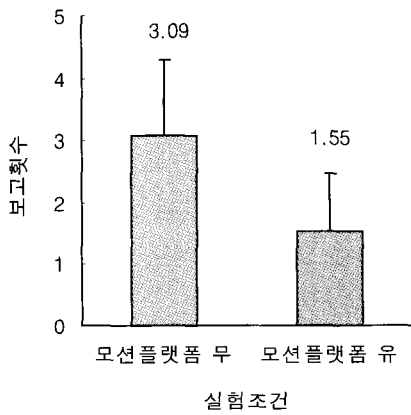


그림 1. 모션플랫폼 사용에 따른 멀미보고수 비교.

생리신호 분석결과 내장근전위의 이상주파수(Tachyarrhythmia) 파워와 말초혈류량(PPG)의 최대진폭에서 모션플랫폼 사용유무에 따라 유의미한 차이가 나타났다. 그 외의 생리신호들의 분석에서는 모션플랫폼 사용에 따른 차이가 나타나지 않았다. 그림 3은 Tachyarrhythmia의 상대파워가 기저선에 비해서 가상주행시 모든 조건에서 증가하는 것과 특히 모션플랫폼을 사용하지 않는 조건에서는 모션플랫폼을 사용한 조건에 비해 그 변화량이 유의미하게 증가했다는 것을 보여준다($F(1, 32)=10.00, p<.01$). PPG 최대진폭의 평균 변화량이 모션플랫폼을 사용하지 않은 조건에서 사용한 조건에 비해 유의미하게

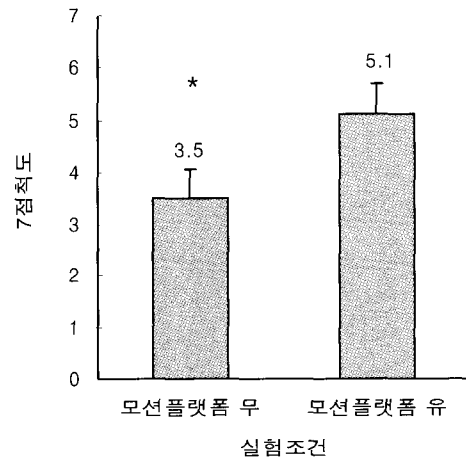


그림 2. 모션플랫폼 사용에 따른 현실감 비교. * $p<.05$.

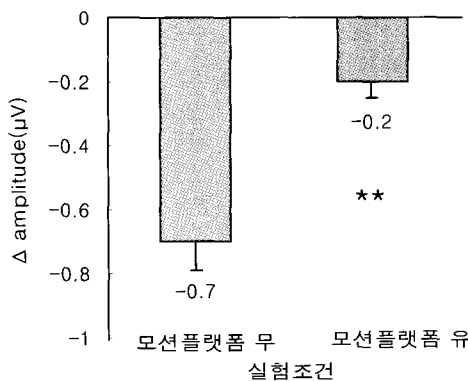


그림 3. 모션플랫폼 사용에 따른 Tachyarrhythmia의 평균변화량 비교. 가상주행동안의 평균값에서 기저선 평균값을 뺀 결과값. ** $p<.01$.

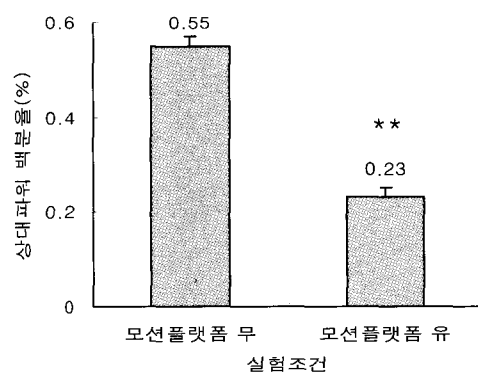


그림 4. 모션플랫폼 사용에 따른 PPG 최대진폭의 평균변화량 비교. 가상주행동안의 평균값에서 기저선 평균값을 뺀 결과값. ** $p<.01$.

크게 나타났다($F(1, 32)=15.2, p<.01$)(그림 4). PPG 최대진폭은 기저선에 비해 가상주행시 모든 조건에서 감소하였는데, 감소량은 모션플랫폼을 사용하지 않은 조건에서 더 크게 나타났다.

4. 논의

본 연구에서는 시각제시기와 동기화된 모션플랫폼을 이용하였을 경우 가상현실에서의 현실감이 증대되고 사이버멀미는 감소하는지를 알아보고자 설문지와 심리생리학적인 연구도구들을 이용하여 조사하였다. 9분 30초 동안의 가상주행동안 모션플랫폼 사용 조건의 평균 멀미 보고수가 1.5회로 비사용 조건보다 절반이하로 낮게 나타나는 경향성을 보였다.

가상현실을 경험하고 난 후에 실시하는 사후설문지검사 결과에서는 가상현실 경험의 현실감, 재미에 대한 평가 항목 모두에서 모션플랫폼 사용조건이 비사용 조건보다 더 높은 점수를 나타냈다. 이상의 자기보고를 통한 주관적인 평가에서 모션플랫폼을 사용하는 것이 가상현실에 있어서 더 현실감 있고, 더 재미있는 것으로 평가하였으며, 사이버멀미는 줄어드는 경향을 나타냈다.

또한 생리신호의 변화량 분석결과 모션플랫폼을 사용한 조건에서 비사용 조건보다 말초혈류량 변화나 위장전위의 Tachyarrhythmia의 변화에 있어서 변동이 적게 나타났다. 가상주행 전에 비해서 가상주행시 Tachyarrhythmia는 증가하였다. EGG를 파워스펙트럼 분석하면 정상적인 위장운동시에는 3 cpm의 파워가 높고, 이에 비해 Tachyarrhythmia의 파워는 상대적으로 매우 낮게 나타나는데, 멀미와 같은 이상이 발생했을 경우 Tachyarrhythmia의 상대파워가 증가하게 된다 [8]. 모션플랫폼 사용 유무에 따른 비교에서 모션플랫폼을 사용하지 않은 조건에서 Tachyarrhythmia의 증가량이 더 크게 나타났다. 이러한 변화는 모션플랫폼을 사용하지 않은 조건에서 가상주행을 했을 때 위장전위에 비정상적인 주파수 파워가 더 많이 증가했다는 것과 멀미에 대한 생리적 민감성이 커졌다는 것을 의미한다.

말초혈류량 분석 결과, 기저선에 비해 가상주행시

PPG 최대진폭은 작아졌다. 이 결과는 이전 연구에서 사이버 멀미가 나타날 때 PPG 최대진폭이 감소한 것과 일치한다[5]. PPG 최대진폭의 감소량은 모션플랫폼을 사용하지 않은 조건에서 가상주행을 했을 때 더 크게 나타났다. Tachyarrhythmia와 PPG 진폭의 분석결과는 동일하게 모션플랫폼을 사용하지 않은 조건이 모션플랫폼을 사용한 조건에서 보다 생리적인 동요가 더 크다는 것을 보여준다. 또한 이러한 생리적인 동요는 사이버멀미가 심화되는 방향과 일치하였다. 이상의 결과들은 가상주행을 하는데 있어서 모션플랫폼이 현실감증대와 사이버멀미 감소의 효과를 제공함을 보여준다.

본 연구에서는 가상주행 시간이 9분 30초 간으로 기존에 HMD를 사용한 연구들에 비해서 수행시간이 짧다고 볼 수 있다. 기존의 연구에서는 HMD를 이용해서 20분간에서 30분간 이상의 수행시간을 제시하고 있다. 그러나, 본 연구에서 사용한 가상현실시스템은 5분 이상 수행시 대부분의 사람들이 멀미를 보고하였고 10분 이상 수행이 지속되면 많은 피험자들이 실험중지를 요구 할 만큼 심한 사이버멀미를 보고하였다. 돔 형태의 극장형 가상현실을 사용한 본 실험에서는 Field of View가 $150^{\circ} \times 45^{\circ}$ 로 HMD를 사용한 조건보다 더 넓은 것이 특징이다. 기존의 연구에서 넓은 FOV가 멀미를 더 많이 유발한다고 보고되고 있다[9]. 그래서 본 연구에서는 비교적 짧은 노출시간인 9분 30초간의 가상현실을 제공하였다.

가상주행시 시각제시기를 통하여 사용자의 눈으로 들어오는 시각정보와 사용자의 실제 신체에서 들어오는 전정정보가 불일치할수록 사이버멀미는 심화된다[3]. 모션플랫폼이 제시하는 운동감이 몰입을 증가시키기 위해서는 시각제시기와 동기화되는 것이 필수적이다. 그러나 동역학과 위시아웃 알고리즘이 시각제시기에 제대로 반영되지 않는 기술적인 문제로 인해 모션플랫폼과 시각제시기가 비동기화되는 것이 빈번히 일어나고 있다. 시각제시기와 동기화된 모션플랫폼은 이러한 시각-전정 불일치를 감소시킴으로써 사이버멀미를 줄일 수 있는 것으로 보여진다. 또한 주행에 따른 운동감이 피드백 됨으로써 현실과 좀 더 유사한 가상현실을 제공하게 된다고 본다. 그

결과, 사용자는 모션플랫폼이 제공된 가상현실을 좀 더 재미있고 완성도 높은 시스템으로 평가하였다고 추정된다.

심리학적으로 가상현실에서의 현실감이나 몰입감의 중요성은 가상현실치료의 응용에서 그 의미를 찾아볼 수 있을 것이다. 가상현실 치료는 여러 가지 형태의 공포증에 시달리는 사람에게 효과가 있다. 가상현실치료에서 환자들은 가상현실에 깊게 빠져들게 된다. 그들은 가상세계가 비록 실제의 세계와 정확히 맞지 않더라도 과거에 고통스러웠거나 불안을 일으켰던 경험을 재생하게 된다. 가상현실치료를 받은 많은 피험자들은 저장되어 있는 기억과 연관된 신체적, 감정적 증상들을 보고한다[10]. 단계적으로 현실감 있는 가상현실에 반복적으로 노출됨으로써 공포증이 치료되는데 이에 대한 구체적인 치료 기작은 아직 밝혀지지 않고 있다. 그러나 분명한 것은 가상현실치료가 가상현실에 대한 현실감과 몰입을 기반으로 하고 있다는 것이다.

본 연구는 시각제시기와 동기화된 모션플랫폼을 이용하였을 경우, 가상현실에서의 현실감이 증대되고, 생리적인 요동이 줄어들며, 사이버멀미의 출현빈도가 다소 감소한다는 것을 보여준다. 이상의 결과들은 모션플랫폼이 제공된 가상현실이 사용자 친화적인 시스템이 될 수 있다는 것을 제시한다.

참고문헌

- [1] Ellis, S. (1994). What Are Virtual Environments? *IEEE Computer Graphics and Applications*, 4-1, 17-22.
- [2] Burdea, D., & Coiffet, P. (1994). *Virtual reality technology*. New York: John Wiley & Sons.
- [3] Strauss, S. (1995). Virtual reality too real for many. *Globe & Mail*, A1-A8.
- [4] Liu, K., Fitzgerald, J., & Lewis, F. L. (1993). Kinematic Analysis of a Stewart Platform Manipulator. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 40, 282-293.
- [5] Kim, Y. Y., Kim, H. J., Ko, H. D., & Kim, H. T. (2001). Psychophysiological changes by Navigation in a virtual reality. *IEEE EMBS conference 2001*, 187.
- [6] Witmer, B., & Singer, M. (1998), Measuring Presence in Virtual Environments: A presence questionnaire, *Presence*, 7-3, 225-240.
- [7] Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E., & 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] Cheung, B., & Vaitkus, P. (1998). Perspectives of electrogastrography and motion sickness. *Brain Research*.
- [9] Stern, R. M., Hu, S., Anderson, R. B., Leibowitz, H. W., & Koch, K. L. (1990). The effects of fixation and Restricted visual field on vection-induced motion sickness, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 61, 712-715.
- [10] North, M. M., & North, S. M. (1994). Virtual Environments and Psychological disorders. *Electronic Journal of virtual culture*, 2-4, 37-42.