

---

# 시각적으로 유발되는 어지럼증(VIMS)에 따른 신체적 반응 및 유발 요인 분석

## Analysis of causal factors and physical reactions according to visually induced motion sickness

이채원, Chae-Won Lee\*, 최민국, Min-Kook Choi\*\*, 김규성, Kyu-Sung Kim\*\*\*, 이상철, Sang-Chul Lee\*\*\*\*

---

**요약** 본 논문은 시각 정보로 인해 유발되는 어지럼증(Visually Induced Motion Sickness, VIMS)에 따른 뇌전도(EEG)와 활력 징후(vital sign)의 신체적 반응 및 유발 요인에 대한 분석에 대한 연구이며, 피험자 상태 기반의 동영상 모션 보정을 위한 선행 연구로 수행되었다. 이를 위해 어지럼증을 유발하는 동영상을 제작하여 총 11명의 피험자들에 대한 설문조사와 실험을 수행하였다. 동영상 제작을 위해 모션 벡터 추출 기법인 옵티컬 플로우(optical flow) 측정법을 이용하여 VIMS 유발 동영상으로부터 전역 모션을 추출하고 이를 모션이 없는 동영상에 적용하여 인위적인 모션을 갖는 동영상을 제작하였다. 실험 동영상은 콘텐츠 종류에 따라 영화, 텍스트 두 종류로 분류되며, 적용된 모션 강도에 따라 콘텐츠 별 세 편씩 총 여섯 편의 실험 동영상을 제작하였다. 피험자가 시청하는 동안 간지 뇌전도 측정기를 이용하여 실시간으로 뇌전도를 측정하였고, 이와 동시에 전자혈압계를 이용해 최고/최저 혈압과 맥박을 주기적으로 측정하였다. 측정된 뇌전도 신호는 채널 별 신호 간 상관도(correlation) 연산을 통해 얻어진 Distance Map(DM)을 활용하여 분석하였으며, 측정된 신체 반응 지수와 모션 강도 및 설문조사 결과와 관계에 대한 정량적 분석 및 분류를 수행하였다. 결과 분석을 통해 동영상의 모션 강도와 동영상 시청 전후의 신체 반응의 변화 정도에 따라 모션과 피험자가 느끼는 어지럼에 대한 상관관계를 분석하여 피험자를 특정한 그룹으로 분류할 수 있었다.

**Abstract** We present an experimental framework to analyze the physical reactions and causal factors of Visually Induced Motion Sickness (VIMS) using electroencephalography (EEG) signals and vital signs. We studied eleven subjects who are voluntarily participated in the experiments and conducted online and offline surveys. In order to simulate videos including global motions that could cause the motion sickness, we extracted global motions by optical flow estimation method from hand-held captured video recordings containing intense motions. Then, we applied the extracted global motions to our test videos with action movies and texts. Each genre of video includes three levels of different motions depending on its intensity. EEG signal and vital sign that were measured by a portable electrocorticography device and an electronic monometer in real time while the subjects watch the videos including ones with the extracted motions. We perform an analysis of the EEG signals using Distance Map(DM) calculated by correlation among each channel of brain signal. Analysis using the vital signs and the survey results is also performed to obtain relationship between the VIMS and causal factors. As a result, we clustered subjects into three groups based on the analysis of the physical reaction using the DM and the correlation between vital sign and survey results, which shows high relationships between the VIMS and the intensity of motions.

**핵심어:** *Visually Induced Motion Sickness(VIMS), EEG, Vital sign, Optical flow estimation*

---

이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업업(No. 2012R1A1A1044658).  
본 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

\*주저자 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과 석사과정; e-mail: danlenxd@gmail.com

\*\*공동저자 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정; e-mail: mkchoi@inha.edu

\*\*\*공동저자 : 인하대학교 의학전문대학원 이비인후-두경부외과의교실 교수; e-mail: stedman@inha.ac.kr

\*\*\*\*교신저자 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과 교수; e-mail: sclee@inha.ac.kr

■ 접수일 : 2014년 2월 27일 / 심사일 : 2014년 3월 7일 / 게재확정일 : 2014년 4월 4일

## 1. 서론

멀미(motion sickness)는 시각적 정보와 감각 정보의 불일치에서 오는 어지럼증 및 구토감, 눈의 피로, 방향감각 상실 등의 증세를 보이는 것을 말한다[1]. 멀미는 유발되는 타입에 따라 세 가지로 분류될 수 있다. 첫 번째 유형은 고정된 시각 정보와 전정기관에 느껴지는 모션에 대한 감각 정보의 불일치에 의해 발생하는 것으로[15], 주로 차멀미(car sickness), 배 멀미(sea sickness), 비행 멀미(air sickness) 등을 예로 들 수 있다. 두 번째 유형은 시각적으로 유발되는 멀미 혹은 어지럼증(visually induced motion sickness, VIMS)이라고도 불리며, 모션 정보가 감지된 시각정보에 반해 전정기관의 감각 정보 내 모션에 대한 정보가 배제된 경우 발생하는 어지럼증이다. 대표적으로 극장 내에서 대형 스크린을 통해 영화나 3D 영화를 관람하거나, 컴퓨터 게임이나 비디오 게임을 하는 도중 멀미를 느끼는 것(simulation sickness)을 말한다. 마지막 유형은 시각 정보와 전정기관의 감각 정보에서 모두 모션이 감지되거나 두 감각기관의 모션 정보가 서로 일치하지 않는 경우로, 코리올리 효과(Coriolis effect)와 관련이 있다[2]. 본 논문에서는 멀미를 유발하는 세 가지 유형 중 두 번째 유형인 VIMS에 대한 원인 분석 및 연구를 수행하였다.

VIMS에 대한 연구는 시각적 전달 매체가 널리 보급되기 시작한 1900년대부터 서서히 이루어지기 시작하였다. Tyler와 Bard는 해상멀미와 비행멀미 등을 포함한 멀미(motion sickness)와 시각적으로 유발되는 멀미(VIMS)의 구분에 대한 필요성을 제안하였다[3]. Griffin은 앞서 구분된 VIMS를 cinema sickness로 소개하였으며[4], McCauley와 Sharkey는 cybersickness로 소개한 바 있다[5]. 더 나아가 Stoffergen과 Smart는 불안정한 자세와 VIMS의 관련성에 대하여 제시하였고[6], Lo와 So는 인구의 약 30%가 VIMS에 민감하며 증상의 범위도 가벼운 멀미 증상에서부터 심한 구토에 이르기까지 한다는 것을 밝혀냈다[7]. 이외에도 VIMS를 유발하는 원인이나 VIMS에 영향을 미치는 요소와 VIMS의 관계성 등에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구의 일환으로 VIMS를 유발하는 시각적 전달 매체의 광범위한 보급과 VIMS에 대한 관심이 점차 높아져 Applied Ergonomics의 특별 주제로 다루어지기도 하였다[1].

VIMS와 같은 신체적 이상상태의 요인 및 신체 반응 분석은 뇌전도 신호와 활력징후 측정 및 특징 분석을 통하여 가능하다. 대표적인 뇌전도 신호 특징 기반의 연구로는 뇌파 신호로 모바일 기기를 조작하는 brain-mobile interface[8]와 같은 연구에서부터, TV광고 유형에 따른 뇌파 반응 비교 연구[9], 운전 시뮬레이션 기반의 Brain-Computer Interaction(BCI) 연구[10], 뇌파 신호 기반의 감정 탐지 연구[11]등이 있다. 특히 VIMS의 측정에 대한 연구로는 뇌전도 기반 Principal Component Analysis(PCA)를 사용한 멀미 측정에 대한 연구[12] 등이 있다.

최근에는 휴대 가능한 모바일 기기와 3D 영상 매체의 보급

이 급속도로 이루어지면서 VIMS를 경험하는 사람이 늘어나고 있다. 예를 들어 주행 중인 차량에서 휴대폰 등의 모바일 기기를 사용할 때 기기의 화면 흔들림으로 인해 멀미 증상을 나타내거나, 극장에서 3D 영화 관람하며 멀미 증상을 경험하는 경우 등이다. 이러한 경험이 빈번해짐에 따라 본 연구에서는 사용자 상태 기반의 동영상 모션 보정을 통한 VIMS 유발요인 최소화 선형 연구를 수행하였다. 피험자 실험을 통해 VIMS를 유발하는 동영상 내의 모션과 피험자의 신체 반응 간 상관관계 분석 및 사용자 상태별 그룹화 작업을 수행하였다.

## 2. 연구 설계 및 분석

### 2.1 연구 설계

본 연구는 총 11명의 피험자를 대상으로 동영상 내 VIMS를 유발하는 잠재적 요인 및 신체적 변화 측정에 대한 분석을 수행하였다. 이를 달성하기 위한 전체 실험 및 연구의 흐름도는 그림 1과 같다.

실험에 사용할 VIMS 유발 동영상 제작을 위해 옵티컬 플로우 측정(optical flow estimation) 알고리즘으로부터 모션을 추출하였다. 영상에서 모션은 크게 전역 모션(global motion)과 지역 모션(local motion)으로 분류할 수 있다. 전역 모션은 영상 내에서 카메라의 움직임에 의해 발생하는 모션을 뜻하며 지역 모션은 영상 내에서 카메라의 움직임을 제외한 물체 및 사람 등의 움직임에 의해 발생하는 모션을 의미한다. 주로 전역 모션이 심한 핸드헬드(hand-held) 기법으로 촬영된 동영상의 전역 모션을 추출한 뒤, 추출된 전역 모션의 상수 배 모션을 실험 영상에 적용하여 단계별 모션의 변화가 적용된 동영상으로 변환하였다. 전역 모션의 추출을 위해 사용된 동영상으로는 실제 시청자들이 VIMS를 경험한 것으로 알려진 영화에서 선별된 부분 동영상이며, 옵티컬 플로우 측정 기법으로는 Sun등이 제안

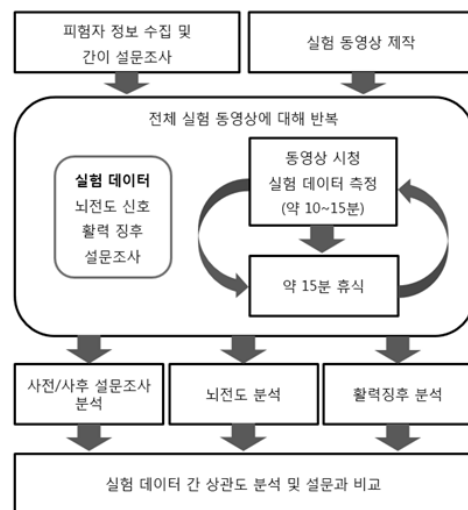


그림 1. 실험의 전체 흐름도

한 Classic-NL 알고리즘[13]을 사용하였다.

신체적 변화 측정을 위하여 본 연구에서는 일반인 총 11명을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험의 구성은 피험자의 상태에 대한 사전 설문과 VIMS의 유발을 위하여 제작된 동영상 시청, 피험자의 상태에 대한 사후 설문으로 이루어져 있다. 사전, 사후 설문에서 피험자는 본인의 신체적 변화와 반응에 대하여 항목 별 주관적 점수를 기입하도록 하였다. 다양한 조건의 실험 동영상 가운데 VIMS를 유발할 수 있는 잠재적 요소를 포함하고 있는 대표적인 두 가지(영화, 텍스트) 콘텐츠를 최종 선택하여 실험 동영상으로 사용하였다.

신체적 반응을 기록하기 위해 피험자가 실험 동영상을 시청하는 도중 실시간으로 뇌전도(electroencephalo-graphy, EEG)를 일정한 시간 간격으로 활력징후(vital sign)를 측정하였다. 뇌전도 측정은 간이 뇌전도 측정 장치를 사용하였으며 활력징후는 전자혈압계를 이용하여 실험 전, 중, 후의 맥박과 혈압을 주기적으로 측정하였다.

## 2.2 표집

본 실험은 과거 및 현재 귀 질환 및 어지럼증의 병력이 없는 만 19세 이상의 건강한 성인 11명을 대상으로 하였다. 실험은 인하대병원 기관윤리위원회의 승인을 취득하고 피험자의 동의 하에 진행하였다. 실험 전 온라인 사전 조사를 실시하여 피험자들의 성별, 나이, 시력교정장치의 착용 여부에 대한 정보를 제공받았다.

피험자 선정 기준을 바탕으로 선정된 피험자는 총 11명으로 피험자들의 평균 연령은 24.82세이며, 성별은 남성이 4명(36.4%), 여성이 7명(63.6%)으로 여성이 많았다. 시력교정장치를 착용한 피험자는 6명(54.5%)이었고, 미착용자는 5명(45.5%)이었다.

VIMS 유발 동영상 시청 실험은 그림 2와 같은 대형 스크린이 부착된 스크린 룸에서 진행하였다. 시청 동영상은 빔 프로젝터를 이용하여 대형스크린에 투사하였으며, 피험자들은 소등된 스크린 룸에서 스크린으로부터 3m 정도 떨어진 곳에 착석하여 동영상을 시청하는 방식으로 실험에 참여하였다.

실험은 동영상 시청 전후의 설문조사 단계와 동영상 시청 단계로 이루어져있다. 동영상 시청전의 사전 설문은 피험자가 자신의 어지럼, 메스꺼움, 복부 불편, 심박수 및 호흡수의 변화, 눈의 피로의 현재 상태를 주관적 점수를 visual analogue scale(VAS)를 이용하여 측정하였다. 동영상 시청 이후의 사후 설문 역시 사전 설문과 동일한 항목에 대해 동일한 방식으로 설문을 수행하였다. 동영상 시청 전과 후, 그리고 동영상 시청 중 2분경과, 4분경과 시에 활력징후를 측정하였다.

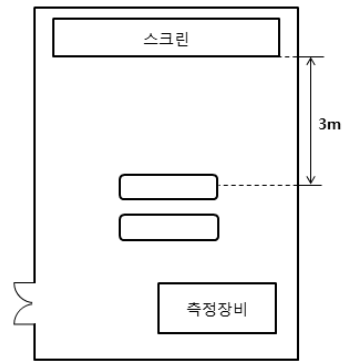


그림 2. 실험 장소 단면도

실험 동영상은 두 가지(영화, 텍스트) 콘텐츠로 구성되며, 한 콘텐츠 당 각기 다른 모션 강도를 적용시킨 세 개의 동영상으로 총 6가지로 구성되어있다. 피험자들은 하나의 동영상에 대하여 시청을 종료한 후, 약 15분 정도의 휴식시간을 가진 후 다음 동영상에 대한 시청을 재개하였다.

## 2.3 연구 도구

### 2.3.1 실험 동영상

본 실험을 위하여 임의의 동영상의 모션을 다른 동영상에 적용할 수 있는 알고리즘 개발하였다. 제안한 알고리즘을 기반으로 두 프레임 간에 추출된 옵티컬 플로우 장(filed)으로부터 전역 모션을 추출하고, 이를 정적인 모션을 가진 동영상에 상수 배 만큼 적용하여 총 5분 길이의 흔들리는 동영상을 생성하였다. 그림 3은 제안한 모션 추출 및 적용 알고리즘의 간략한 모식도이다. 실험 동영상은 콘텐츠에 따라 영화와 텍스트로 나누어져 있으며, 영화 동영상의 경우 흔들림이 심한 다른 영화의 일부분에서 추출된 전역 모션을 적용하여 제작하였다. 텍스트 동영상의 경우 문학 작품 이미지로 구성된 시퀀스에 추출된 전역 모션을 적용하여 제작하였다.

모션 정보 추출을 위한 옵티컬 플로우 측정 알고리즘으로는 Classic-NL 알고리즘[13]을 사용하였다. Classic-NL 알고리즘은 다양한 모션 벡터 추정 알고리즘 가운데 Horn의 방법[14]을 기반으로 미디언 필터(median filter) 기법을 응용하여 보다 정확한 모션 벡터를 추정할 수 있다. 일반적인 경우 전역 모션은 카메라의 움직임에 기인하기 때문에, 영상의 배경 영역에서 주로 발생하게 된다. 이러한 경우 지역 모션을 배제하고, 전역 모션만을 추출하기 위해 Classic-NL 알고리즘으로부터 추출된 모션 벡터장을 그림 4와 같이 중심 영역  $u_{R_c}$ 과 가장자리 영역  $u_{R_e}$ 으로 구분하고 알고리즘 1과 같이 히스토그램 분석을 수행하여 전역 모션을 추출하였다.  $u_{R_c}$ 는 동영상의 중심으로부터 동영상의 가로, 세로 전체 길이의 1/3에 해당하는 길이를 가지며,  $u_{R_e}$ 의 영역은 동영상의 가장자리로부터 동영상의 가로 길

이의 1/8에 해당하는 너비와 세로 길이의 1/6에 해당하는 높이를 가진다.

알고리즘 1에서  $h_c$ 와  $h_s$ 는  $u_{R_c}$ 와  $u_{R_s}$ 의 히스토그램을 의미하며,  $m_c$ 와  $m_s$ 는  $h_c, h_s$ 에서 최빈값을 갖는 도수를 의미한다.  $\mu_c, \mu_s$ 는  $m_c, m_s$ 을 중심으로  $\sigma$  거리에 존재하는 모든 도수들의 가중 합이며 해당 모션 벡터장을 대표하는 값이다.  $\sigma$ 는 가중 합에 포함되는 도수의 범위를 지정하며 실험에 의해 0.1로 정하였다.  $\mu_c/\mu_s$ 가  $\rho$  보다 큰 값을 가지는 경우 전체 모션 벡터장이 유사한 것으로 판단하여 전역 모션 벡터장  $u_b$ 를  $u_{R_c}$ 로 정하였다.  $\rho$ 는 대표값들과 전체 모션 벡터장의 유사성 여부를 판단하는 기준 값으로 실험에 의해 0.5의 값을 갖는다.  $\mu_c/\mu_s$ 가  $\rho$  보다 작은 경우 전체 모션 벡터장  $u_{R_c}$ 의 히스토그램  $h_c$ 와 최빈값을 갖는 도수  $m_c$ 를 구하고,  $m_c$ 을 중심으로  $\sigma$  거리에 존재하는 모든 도수들의 가중합  $\mu_c$ 을 구한다. 이후 전체 모션 벡터장의 대표값  $\mu_c$ 와의 비율이 더 유사한 영역의 모션 벡터장을 전역 모션 벡터장으로 결정하였다.

실험 동영상의 콘텐츠 뿐 아니라 모션의 강도가 VIMS에 미치는 영향을 분석하기 위하여 여러 강도의 모션을 적용시킨 동영상을 제작하였다. 동영상의 한 콘텐츠 당 대조군으로 모션을 적용하지 않은 정적인 원본 동영상과 추출한 강도만큼 모션을 적용한 동영상, 그리고 추출한 강도의 네 배에 해당하는 모션을 적용한 동영상이다. 실험 동영상은 일관성을 위해 일반적으로 동일한 콘텐츠 내에서는 동일한 장면을 사용하였으나, 텍스트의 경우 동일한 내용의 반복은 오히려 피험자의 집중도를 떨어뜨리므로 모션 강도에 따른 동영상으로 각각 다른 내용의 글을 사용하였다. 모든 동영상의 상영 시간은 5분으로 제한하여 동영상을 제작하였다.

### 2.3.2 설문조사

설문은 피험자 모집 시 수행한 간이 설문과 동영상 시청 전 후에 수행된 사전, 사후 설문으로 구분된다. 피험자 모집 시 수행된 간이 설문의 항목들은 그림 5와 같이 피험자들의 기본적인 신상정보와 대중교통 이용 및 3D영화 관람 시 느끼는 어지럼증의 경험 정도 등으로 구성되어 있다.

사전 및 사후 설문조사는 동영상 시청 전 후 그림 6과 같은 어지럼, 메스꺼움, 복부 불편, 심계항진, 호흡수 향진, 눈의 피로도의 여섯 가지 항목으로 구성되어 있으며 각 항목에 대하여 피험자가 '전혀 없음(0)'부터 '심하다(10)'까지의 주관적 수치를 VAS 방법으로 기입하도록 하였다.

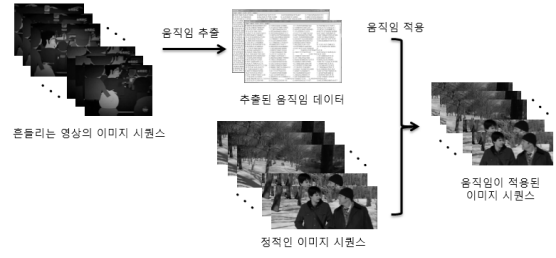


그림 3. 동영상 제작 방법의 모식도

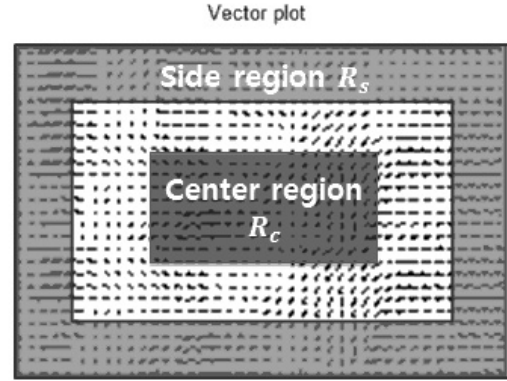


그림 4. Classic-NL 알고리즘으로 추출한 모션 벡터장과 중심 영역 및 가장자리 영역의 예시

알고리즘 1. 전역 모션 벡터장 추출 알고리즘

Algorithm 1: background flow field extraction	
Input	optical flow field $u_{R_c}, u_{R_s}, u_{R_e}$ parameter $\rho, \sigma$
Output	background flow field $u_b$
$h_c = \text{hist}(u_{R_c})$ $h_s = \text{hist}(u_{R_s})$ $m_c = \text{maximum index of } h_c$ $m_s = \text{maximum index of } h_s$ $\mu_c = \frac{\sum_{i=m_c-\sigma k}^{m_c+\sigma k} i \cdot h_c(i)}{\sum_{i=m_c-\sigma k}^{m_c+\sigma k} h_c(i)}, \quad k = 1, 2, \dots, 5$ $\mu_s = \frac{\sum_{i=m_s-k\sigma}^{m_s+k\sigma} i \cdot h_s(i)}{\sum_{i=m_s-k\sigma}^{m_s+k\sigma} h_s(i)}, \quad k = 1, 2, \dots, 5$	
if $\frac{\mu_c}{\mu_s} \geq \rho$ $u_b = u_{R_c}$	
otherwise $h_e = \text{hist}(u_{R_e})$ $m_e = \text{maximum index of } h_e$ $\mu_e = \sum_{i=m_e-\sigma}^{m_e+\sigma} m_e \cdot h_e(m_e)$ $\text{if } \left  1 - \frac{\mu_s}{\mu_e} \right  > \left  1 - \frac{\mu_c}{\mu_e} \right $ $u_b = u_{R_c}$ otherwise $u_b = u_{R_s}$	

- Q1. 성별과 나이(한국 연령)를 입력하세요. (예: 남/22)
- Q2. 음주 및 흡연 여부를 체크해주세요.
- Q3. 평소 안경 혹은 렌즈를 착용하십니까?
- Q4. 알약의 시력을 입력하세요. (예: 좌-1.0 / 우-0.9) (안경 혹은 렌즈 착용자의 경우 교정 후 시력?)
- Q5. 대중교통 이용 중 책을 읽거나 스마트 폰 및 컴퓨터를 사용하는 평균 시간은 어느 정도입니까?
- Q6. 대중교통에서 책을 읽거나 스마트 폰 및 컴퓨터를 사용하던 중 어지럼증을 경험한 적이 있습니까?
- Q7. 극장 또는 대형스크린으로 영화 등을 볼 때 어지럼증을 경험한 적이 있습니까?
- Q8. 컴퓨터 게임 및 비디오 게임 등을 할 때 어지럼증을 경험한 적이 있습니까?
- Q9. 컴퓨터 게임이나 비디오 게임에 소요하는 평균 시간은 어느 정도입니까?
- Q10. 다음 중 가장 어지럼증을 심하게 느끼는 상황은 언제입니까? (복수 응답 가능)
- A. 대중교통 이용 시 동영상 시청 중
- B. 대중교통 이용 시 게임 중
- C. 대중교통 이용 시 독서 중
- D. 컴퓨터 및 비디오 게임 중
- E. 극장 및 대형스크린에서 동영상 시청 중
- F. other

그림 5. 간이 설문조사 항목

어지럼	0	5	10
매스꺼움	0	5	10
배가 불편하다 재할 것 같다	0	5	10
두근거림(심계항진)	0	5	10
숨이 차다(호흡수항진)	0	5	10
눈의 피로	0	5	10

그림 6. VAS 방식의 사전, 사후 설문조사 문항

### 2.3.3 뇌전도

뇌전도의 실시간 측정을 위해 Emotiv EPOC 간이 뇌전도 측정기(그림 7의 (a))를 사용하였다. 이 기기는 그림 7의 (b)와 같이 10-20 뇌전도 시스템 상에서 AF3, AF4, F3, F4, F7, Fpz(F8), FC5, FC6, T7, T8, P7, P8, O1, O2의 총 14 개 위치의 뇌전도를 기록한다. 뇌전도 측정은 피험자가 의자에 착석한 상태에서 간이 측정기를 착용하고 각 채널에 해당하는 전극이 정상적으로 부착되어 뇌전도 신호가 정상적으로 송출됨을 확인한 후 이루어졌다.

그림 8은 실험에서 측정된 뇌전도 신호 중 채널 F7의 일부이다. 그래프의 가로축은 시간을 의미하고, 세로축은 뇌전도 신호의 크기 값이다. 그림 8에 나타난 세 가지 신호는 각 색상에 따라 1) 적색-원본 동영상 2) 녹색-1배 모션을 적용한 동영상 3) 청색-4배 모션을 적용한 동영상으로 실험한 결과이다.

### 2.3.4 혈압과 맥박

혈압과 맥박은 피험자가 의자에 착석한 상태에서 전자혈압계를 착용한 팔의 위치를 심장 높이로 유지한 후 실험이 시작되기 전, 시청 중 2분경과 시, 4분경과 시, 그리고 실험 직후의 최고 혈압과 최저 혈압, 맥박을 측정하였다. 이후 측정값을 바탕으로 세 가지 활력징후의 조합에 대한 상관도와 설문조사와의 관계 분석을 수행하였다.

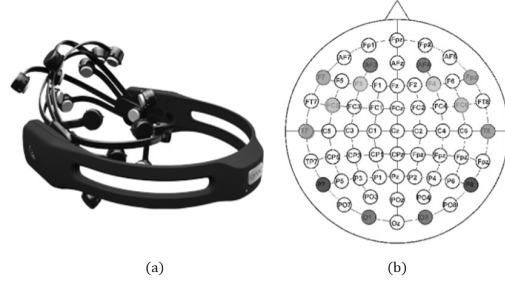


그림 7. (a)Emotiv EPOC 간이 뇌전도 측정기 (b) 10-20 시스템에서 뇌전도 측정 위치

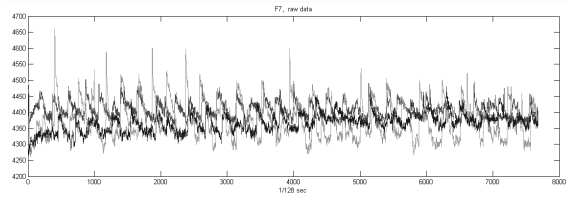


그림 8. 뇌전도 신호 예제

## 2.4 분석 방법

### 2.4.1 설문조사

설문은 피험자 모집 시 수행한 간이 설문과 동영상 시청 전 후에 수행된 사전, 사후 설문으로 구성되어 있다. 피험자 모집 시 수행된 간이 설문의 응답은 그림 5의 항목들에 대한 원형의 백분율 그래프로 나타내었다. 또한 사전, 사후 설문은 결과는 설문의 여섯 항목에 대하여 각 항목 간의 차이 값을 계산하여 변화량을 산출하고 이들의 합으로 나타내었다.

### 2.4.2 뇌전도

뇌전도 신호는 뇌파 간의 상관도로부터 구성된 DM의 의사색채 맵(pseudo-color map)을 이용하여 분석하였다. 이를 위해 총 피험자의 수를  $n$ , 신호의 길이를  $m$ , 채널수를  $l$ , 모션 강도의 가지수를  $r$ 이라 정의하고  $n=11$ ,  $m=38400$ ,  $l=14$ ,  $r=3$ 으로 구성하였다. 간이 뇌전도 측정기를 이용하여 측정된  $i(i=1,2,\dots,11)$  번째 피험자의  $j(j=1,2,3)$  모션 강도의 뇌파  $\tilde{s}_{i,j,k}=[s_1,s_2,\dots,s_m]$ 는 14개 채널  $k(k=1,2,\dots,14)$ 로 구성되어 있으며 채널 별로 초당 128개의 신호를 가진다. 모션 강도는  $j=1$ 일 때 0,  $j=2$ 일 때 1,  $j=3$ 일 때 4의 값을 가진다. 따라서 전체 5분 길이의 동영상에 대하여 한 채널 당  $m=300 \times 128=38400$ 개의 신호가 기록되며 한 명의 피험자에 대한 하나의 실험으로부터 생성된  $\tilde{s}$ 는 총  $300 \times 128 \times 14=537600$  길이를 갖게 된다. 생성된 신호  $\tilde{s}$ 는 뇌파에서 발생하는 의미적 정보뿐 아니라 사용자 집중 상태에 따른 다수의 잡음 신호도 포함하기 때문에, 정보 선별 및 잡음 제거를 위해 다음과 같이 1, 2차 DM 생성 전 전처리 과정을 수행하였다.

먼저 신호  $\tilde{s}_{i,j,k}$ 로부터 고주파 영역의 잡음을 제거하기 위해 크기 3의 미디언 필터(median filter)  $f_{median}$ 를 적용하여  $s_{i,j,k} = \tilde{s}_{i,j,k} \otimes f_{median}$ 를 생성한다. 이후 강건한 신호 분석을 위해 일정한 진폭 구간에서 벗어나는 신호들을 잡음으로 가정하고 클리핑(clipping)하는 신뢰도 기반의 통계적 분석을 수행하였다. 이를 위해 신호  $s$ 의 히스토그램을 평균  $\mu_{i,j,k}$ , 표준편차  $\sigma_{i,j,k}$ 의 값을 갖는 정규분포  $s_{i,j,k} \sim N(\mu_{i,j,k}, \sigma_{i,j,k})$ 로 가정하고 신뢰구간의 임계점  $b_{upper} = \mu_{i,j,k} + \alpha\sigma_{i,j,k}$ ,  $b_{lower} = \mu_{i,j,k} - \alpha\sigma_{i,j,k}$ 에 대한 신뢰구간  $b_{lower} \leq s_{i,j,k} \leq b_{upper}$ 를 만족하는  $z_{i,j,k} = [z_1, z_2, \dots, z_m]$ 를 추출한다. 신뢰구간 설정을 위한 신뢰구간 상수  $\alpha$ 는 99%의 정확도를 갖는  $\alpha = 2.575$ 으로 설정하였다.  $\hat{z}_{i,j,k} = [z_p, z_{p+1}, \dots, z_{p+q}]$ 는  $z_{i,j,k}$ 에서 클리핑과 식 1에 따른 보간을 거친 신호이다. 그림 9는 신호  $s$ 로부터  $\tilde{z}_{i,j,k}$ 를 생성할 때 나타나는 히스토그램상의 변화이다. 그림 9의 (a)는 신호  $s$ 의 히스토그램과 신뢰구간의 임계점  $b_{lower}, b_{upper}$ 으로부터 클리핑 과정을 거쳐 추출한 신호  $z$ 를 나타낸 그림이다. (b)는 (a)에서  $z$ 로부터 보간을 거친 신호  $\tilde{z}$ 의 히스토그램을 나타낸다.

$$\hat{z}_{i,j,k} = \begin{cases} \frac{z_{p-1} + z_{p+q+1}}{2} \mathbf{e}, & \text{if } 2 \leq p \leq m, 1 \leq q \leq m-1 \\ \frac{z_{p+q+1} + z_{p+q+2}}{2} \mathbf{e}, & \text{if } p = 1, 1 \leq q \leq m-1 \\ \frac{z_{p-1} + z_{p-2}}{2} \mathbf{e}, & \text{if } p = n - q, 1 \leq q \leq m-3 \end{cases} \quad (1)$$

$\hat{z}_{i,j,k}$ 는  $z_{i,j,k}$ 에서 인덱스  $p$ 부터  $p+q$ 까지의 신호들로 구성된다.  $p(1 \leq p \leq m)$ 는 클리핑 되는 구간의 시작 인덱스이며  $q(1 \leq q \leq m-1)$ 는 클리핑 되는 구간의 크기를 나타낸다.  $\mathbf{e}$ 는 1로 이루어진 벡터  $\mathbf{e} = [1, 1, \dots, 1]$ 이다.

피험자들의 신호 간 유사도 및 상관관계를 정량적으로 조사하기 위해 그림 10과 같이  $14 \times 14$ 의 크기를 갖는 1, 2차 DM의 의사색채 맵을 사용하였다. 모든 1, 2차 DM은 생성 이후 의사색채 맵으로 표현하며 비교를 위해  $[0, 1]$  범위에서 정규화 과정을 거친다. 1, 2차 DM의 가로축과 세로축은 표 1과 같이  $[1, 14]$ 의 범위를 가지며 순서대로 AF3, AF4, F7, F8, F3, F4, FC5, FC6, T7, T8, P7, P8, O1, O2의 뇌전도 채널을 의미한다.

1차 DM  $D_{i,u,v}^1$ 은 식 2와 같이 서로 다른 모션 강도  $u, v$ 를 갖는 동영상에 대한 실험에서 추출한 동일한 피험자  $i$ 의 뇌전도 신호  $s_{i,u,k}, s_{i,v,k}$ 로부터 필터링을 거친  $z_{i,u,k}, z_{i,v,k}$ 의 모든 채널 간 코사인 거리(Cosine distance)를 연산한 후의 의사색채로 표현한 맵이다. 모션 강도  $u, v$ 의 길이는  $r$ 이며 모든 조합에 대해 1차 DM을 생성한다. 예를 들어 그림 10의 (a), (b)는 각각 3, 4번 피험자의 1차 DM이며 축과 세로축이 각각 모션 강도

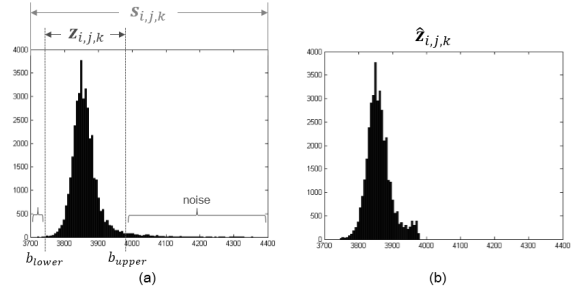


그림 9. (a)신호  $s$ 의 히스토그램과 신뢰구간 임계점  $b_{lower}, b_{upper}$ 에 따라 클리핑되는 신호  $z$ 의 히스토그램. (b)(a)에서 추출된  $z$ 를 식 1에 따라 보간한 신호  $\tilde{z}$ 의 히스토그램.

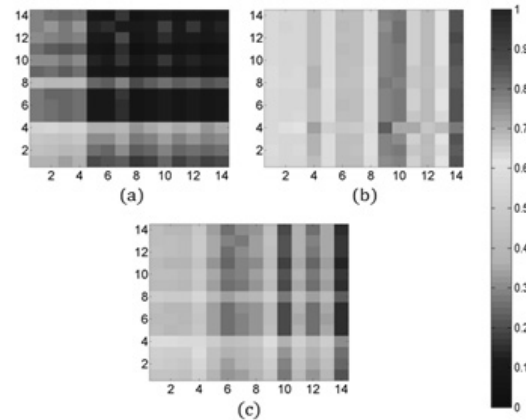


그림 10. 1차 DM과 2차 DM의 정규화된 의사색채 맵의 예시. x축은 모션 강도 0인 신호, y축은 모션 강도 1인 신호를 나타냄. (a) 3번 피험자에 대한 1차 DM의 정규화된 의사색채 맵 (b) 4번 피험자에 대한 1차 DM의 정규화된 의사색채 맵 (c)(a)와 (b)에 대한 2차 DM의 정규화된 의사색채 맵. (a)의 (9,4) 위치는 모션 강도 0 실험에서 뇌전도 T7 신호와 모션 강도가 1인 실험에서 뇌전도 F8 신호 간 코사인 거리로, 약 0.84 정도의 값을 나타낸다. (b)도 이와 같은 방법으로 읽을 수 있다. (c)의 (12,4)는 4, 5번 피험자의 (12,4) 위치의 1차 DM 값들 간의 산술 평균 값으로 1에 가까운 값을 나타내고 있다. (12,4)는 뇌전도 채널 P8과 F8을 의미한다.

0과 1인 동영상을 시청한 후 얻은 뇌전도 신호이다. 그림10 (a)의 (9,4) 위치는 모션 강도 0 실험에서 뇌전도 T7 신호와 모션 강도가 1인 실험에서 뇌전도 F8 신호 간 코사인 거리로, 약 0.84 정도의 값을 나타낸다.

표 1. 의사색채 맵의 가로, 세로축의 뇌전도 채널 정보

k	1	2	3	4	5	6	7
	AF3	AF4	F7	F8	F3	F4	FC5
k	8	9	10	11	12	13	14
	FC3	T7	T8	P7	P8	O1	O2

$$D_{i,u,v}^1 = 1 - \frac{\mathbf{s}_{i,u,k} \mathbf{s}_{i,v,k}^T}{\sqrt{(\mathbf{s}_{i,u,k} \mathbf{s}_{i,u,k}^T)(\mathbf{s}_{i,v,k} \mathbf{s}_{i,v,k}^T)}}, (u < v) \quad (2)$$

1차 DM을 생성한 이후 다른 피험자와 비교하기 위해 2차 DM  $D_{a,b,u,v}^2$  을 생성한다. 2차 DM은 서로 다른 두 피험자  $a, b$ 의  $D_{a,u,v}^1, D_{b,u,v}^1$  에서 얻어낸 거리의 산술 평균으로 식 3과 같이 정의된다. 산술 평균 연산을 통해 두 피험자의 1차 DM이 공통적으로 높은 값을 가지는 위치를 강조하여 2차 DM으로 나타낼 수 있다. 두 피험자의 1차 DM에서 공통적으로 높은 값을 가지는 위치는 2차 DM의 동일한 위치에 높은 값을 할당하며, 공통적으로 낮은 값을 가지는 위치에 낮은 값을 할당한다. 두 피험자의 1차 DM 값에 차이가 있을 경우 2차 DM은 그 차를 반영한 중간 값으로 할당된다. 2차 DM의 가로축에는 1차 DM의 서로 다른 두 피험자 번호 중 더 작은 번호의 피험자가 위치한다. 예를 들어 그림 10 (c)의 (12,4)는 4, 5번 피험자의 (12,4) 위치의 1차 DM 값들 간의 산술 평균 값으로 1에 가까운 값을 나타내고 있다. 이 좌표에 해당하는 뇌전도 채널은 P8과 F8이다.

$$D_{a,b,u,v,k}^2 = \frac{D_{a,u,v,k}^1 + D_{b,u,v,k}^1}{2}, (a < b) \quad (3)$$

### 2.4.3 혈압과 맥박

VIMS 유발 동영상 시청에 따른 혈압과 맥박의 변화를 알아보기 위해 전자혈압계를 이용하여 실험 시작 전, 시청 중 2분 경과 시, 4분 경과 시, 실험 직후의 최고 혈압과 최저 혈압과 맥박을 기록하고 각 시점에서의 변화량을 그림 11과 같이 그래프로 작성하였다. 이후 모션 강도에 따른 활력 징후 간의 상관도 분석을 수행하고, 각각의 활력 징후와 사전, 사후 설문 문항의 응답 간의 관계를 분석하였다.

그림 11은 3번 피험자의 텍스트 동영상 실험에서 측정된 활력 징후의 변화량을 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 최저, 최고 혈압은 모션 강도에 따른 변화의 폭이 어느 정도 비슷한 양상을 보이나 맥박의 경우 원본 동영상에서 변화량이 미미한 모습을 보인다. 이러한 방식으로 모든 피험자의 활력징후를 분석하는 것에 한계가 존재하므로 사전, 사후 설문조사와의 상관도 분석을 수행하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 설문조사

간이 설문조사 결과는 그림 12와 같으며 사전, 사후 설문조사 결과는 그림 13과 같다. 그림 12의 간이 설문조사 결과 대부분의 문항에서 응답자의 약 50%가 어지럼증을 경험한 적 있다고 응답하였으며, 특히 어지럼을 빈번하게 경험하는 상황으로 대중교통 이용 시 독서 하는 경우에 가장 높은 응답률을 나타내었다.

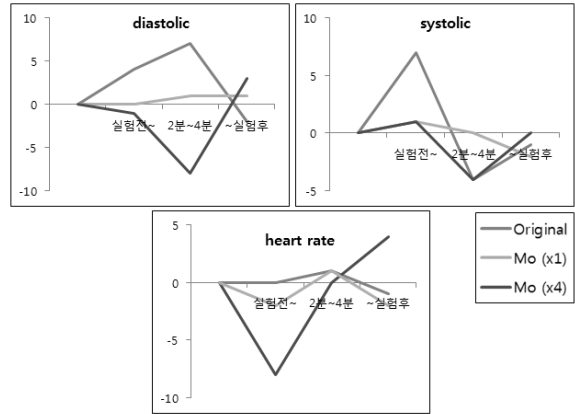


그림 11. 혈압과 맥박의 변화량

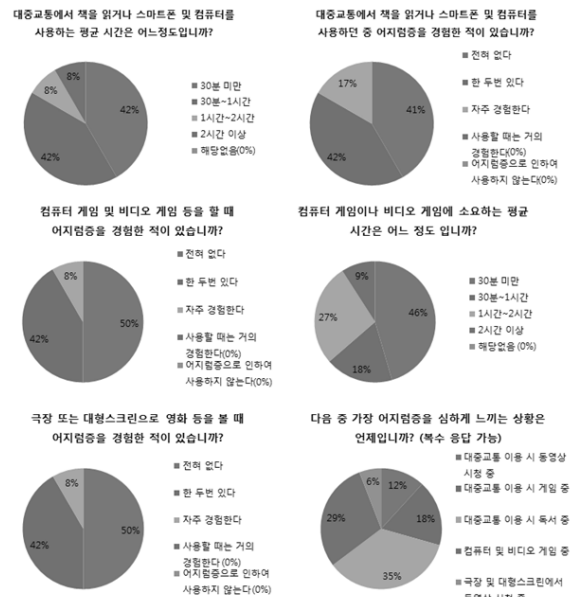


그림 12. 온라인으로 실시된 간이 설문조사 결과

그림 13은 사전, 사후 설문조사에서 동영상 시청 전후 점수의 차이 값을 그래프로 나타낸 것이다. 그림 14는 그림 13의 어지럼증, 메스꺼움 등의 여섯 가지 항목에 대한 점수 차의 합을 바탕으로 신체 반응의 변화가 현저히 크게 나타난 집단과 변화량의 합계가 적은 집단, 그리고 중간 집단으로 분류하여 나타낸 것이다. 피험자 1, 8의 경우 점수 차의 합으로 집단을 분류하기에 모호하므로 중간 집단으로 분류하였다.

### 3.2 뇌전도

뇌전도 데이터를 바탕으로 1, 2차 DM을 이용한 상관도 분석을 통해 피험자 집단을 분류하였다. 이후 뇌전도 신호 분석에 따라 분류된 집단과 그림 14의 설문 결과에 따라 분류된 집단을 비교하였다. 또한 모션 강도가 뇌전도 신호에 미치는 영향을

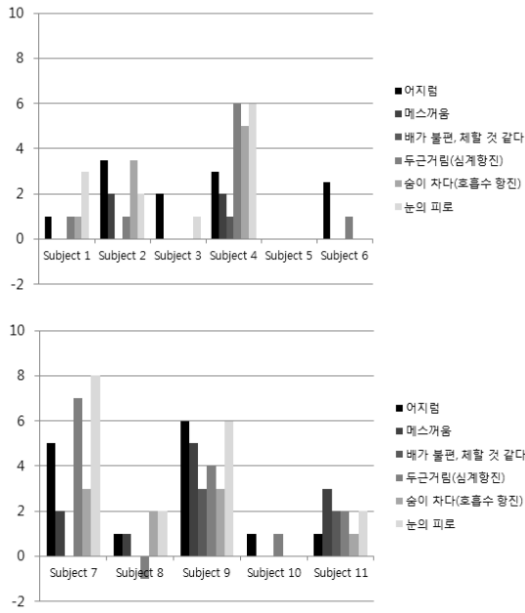


그림 13. 사전, 사후 설문 결과의 실험 전후 변화량

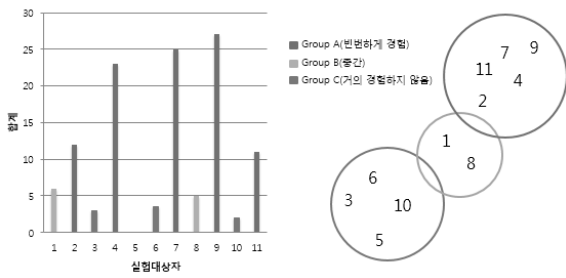


그림 14. 동영상 시청 전후 사전, 사후 설문조사의 항목별 점수차의 합계와 이에 따른 피험자 집단 분류

조사하기 위해 피험자  $i$ 의 서로 다른 모션 강도 실험에서 얻어진 뇌전도 신호 간의 코사인 거리(cosine distance)  $D_{i,u,v}^1$ 를 의사색채 맵으로 구성하여 분석하였다.  $D_{a,b,u,v}^2$ 은 서로 다른 피험자  $a, b$ 의  $D_{a,u,v}^1$ 와  $D_{b,u,v}^1$ 을 반영한 값으로, 1차 DM에서와 같이 의사색채 맵으로 구성하여 피험자 집단 분류에 대한 분석에 사용하였다.

그림 15, 16은 영화, 텍스트 동영상 실험에 대한 1차 DM의 분류 결과를 나타낸다. (a-c)는 모든 피험자의  $D^1$  중 그 값이 전체적으로 크게 나타난 피험자들의 결과이며, (d-f)는  $D^1$ 이 비교적 낮은 값으로 분포하는 피험자들의 결과이다. 1차 DM의 전체적인 색상이 적색에 가깝게 분포하는 것은 모션 강도에 따른 뇌전도 신호의 차이가 크게 나타나는 피험자임을 의미한다. 반대의 경우, 1차 DM의 전체적인 색상이 청색에 가깝게 분포하는 것은 모션 강도에 따른 뇌전도 신호의 차이가 크지 않음을 나타낸다.

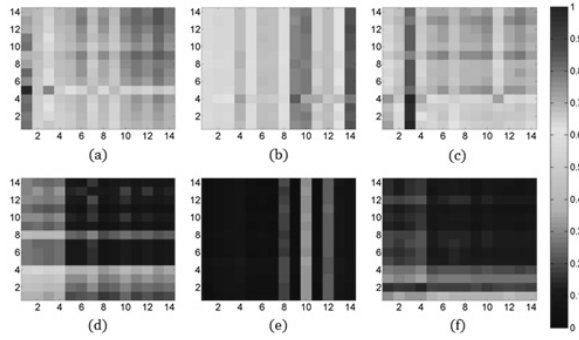


그림 15. 영화 동영상 실험의 모션 강도 0-1에 대한 1차 DM의 정규화된 의사색채 맵. x축은 모션 강도 0, y축은 모션 강도 1일 때의 신호를 나타냄. (a-f) 차례로 2,4,9,3,5,8번 피험자.

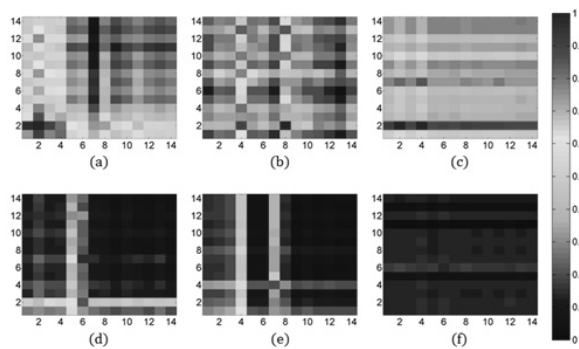


그림 16. 텍스트 동영상 실험의 모션 강도 0-1에 대한 1차 DM의 정규화된 의사색채 맵. x축은 모션 강도 0, y축은 모션 강도 1일 때의 신호를 나타냄. (a-f) 차례로 2,7,9,3,5,10번 피험자.

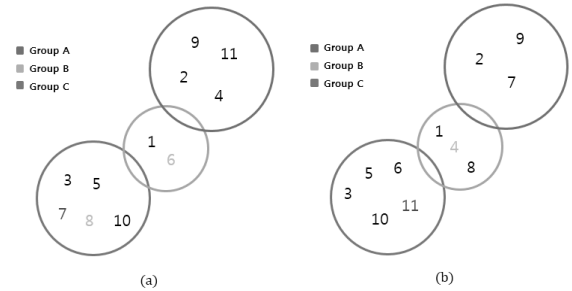


그림 17. 3-means 알고리즘을 이용하여 분류한 결과. 적색 숫자는 그림 14와 비교하여 A(C)그룹에서 C(A)그룹으로 잘못 분류한 피험자 번호이며 황색 숫자는 A혹은 C 그룹이 B그룹으로 잘못 분류되거나, B그룹이 A혹은 C그룹으로 잘못 분류된 피험자 번호를 의미함.

그림 15, 16에서 (a-c)와 (d-f)의 차이를 각각 대조하였을 때, 그림 15의 (a-c)와 (d-f)의 차이에 비해 그림 16의 (a-c)와 (d-f)의 차이가 비교적 분명하게 나타난다. 이와 같은 차이는 서로 다른 모션 강도를 적용한 실험 간의 뇌전도 신호 차이가 영화 동영상 실험보다 텍스트 동영상 실험에서 더 분명하게 나타남을 보여준다.

그림 17은 그림 15, 16과 같은 1차 DM으로부터 3-means 알고리즘을 이용하여 A, B, C 그룹으로 분류한 결과를 다이어그램



램으로 나타낸 것이다. 그림 15, 16의 (a-c)는 그림 17의 그룹 A에 해당하며, (d-f)는 그룹 C에 해당한다. 그룹 A와 C에 해당하지 않는 피험자들이 그룹 B에 속한다. 그림 17의 (a)는 영화 동영상 실험의 분류 결과이며 (b)는 텍스트 동영상 실험의 분류 결과이다. 잘못 분류된 피험자는 적색 및 황색으로 표시하였다. 적색 숫자는 그림 14와 비교하여 A(C)그룹에서 C(A)그룹으로 잘못 분류한 피험자 번호이며 황색 숫자는 A혹은 C 그룹이 B그룹으로 잘못 분류되거나, B그룹이 A혹은 C그룹으로 잘못 분류된 피험자 번호를 의미한다. 영화 동영상 실험보다 텍스트 동영상 실험에서 잘못 분류된 피험자가 더 적었으며 이는 텍스트 동영상 실험의 뇌전도 분석 결과가 보다 명확함을 나타낸다. 그림 17을 그림 14의 설문에 따른 집단 분류 결과와 비교하였을 때 일부 피험자가 잘못 분류되었으나 그 외에는 대부분 유사한 결과를 나타내었다. 이를 통해 모션 강도에 따른 뇌전도 분석 결과가 피험자가 설문을 통해 기입한 어지럼 정도와 상관관계를 가짐을 알 수 있다.

이를 검증하기 위해 A 그룹 간, A와 C 그룹 간, 그리고 C 그룹 간의 상관도를 조사하였다. 이를 위해 그림 18, 19와 같이 영화, 텍스트 동영상 실험에서 서로 다른 피험자들의  $D^1$  값을 반영하여 생성한  $D^2$ 를 정규화된 의사색채 맵으로 표현하였다. (a-c)는 A그룹 간의 상관도를 조사한 결과로  $D^1$ 이 크게 나타난 1차 DM과 작게 나타난 1차 DM 간에 생성된 2차 DM이다. (d-f)는  $D^1$ 의 코사인 거리가 크게 나타난 1차 DM 간에 생성된 2차 DM이며, A와 C 그룹 간의 상관도를 조사한 것이다. (g-i)는 C 그룹 간의 상관도를 조사한 것으로  $D^1$ 의 코사인 거리가 작게 나타난 1차 DM들 간에 생성된 2차 DM이다.

그림 18, 19의 (a-c)와 (d-f), (g-i)를 각각 G1, G2, G3그룹으로 분류하였으며 그룹별 패턴에 차이가 있음을 관찰하였다. 2차 DM의 전체적인 색상이 적색을 띠는 것으로 나타나는 경우는 크게 두 가지로, 1차 DM에서 모션 강도에 따른 뇌전도 신호의 차이가 크게 나타난(1차 DM의 전체적 색상이 적색에 가깝게 분포하는) 피험자들 간의 2차 DM이거나, 1차 DM의 전체적 색상이 적색에 가깝게 분포하는 피험자와 청색에 가깝게 분포하는 피험자 간의 2차 DM인 경우이다. 전자의 경우가 그룹 G2에 속하며 후자의 경우가 그룹 G1에 속한다. 그림 18, 19 모두 G1과 G2 그룹 간 패턴의 차이를 육안상 식별하기 어려우나 이는 실험 동영상의 모션 강도로 인해 피험자가 경험하는 어지럼의 정도에 개인차가 존재하므로 나타나는 결과이다. 그룹 G1과 그룹 G3의 경우 육안으로 충분히 식별 가능한 정도로 패턴의 차이가 확연함을 관찰하였다. 이를 통해 DM1을 이용한 뇌전도 분석 결과가 유효함을 검증하였다.

### 3.3 혈압과 맥박

혈압과 맥박의 경우 각각의 활력 징후와 설문 문항 응답 간

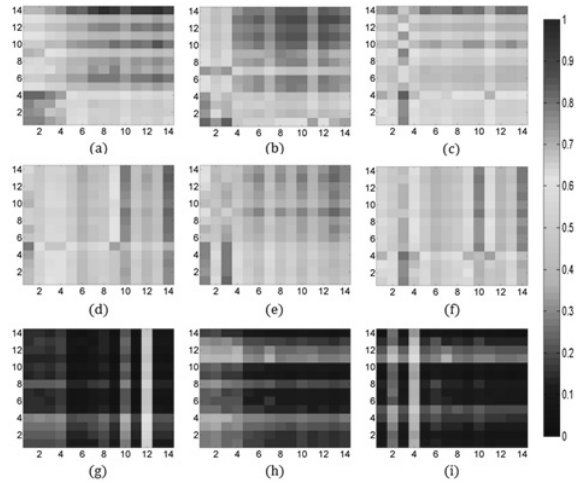


그림 18. 영화 동영상 실험의 2차 DM의 정규화된 의사색채 맵. (a-i) 차례로 4-5, 4-7, 4-8, 2-4, 2-9, 4-9, 3-5, 3-7, 5-7 피험자 간의 결과. 숫자쌍은 x축-y축에 해당하는 피험자 번호를 의미.

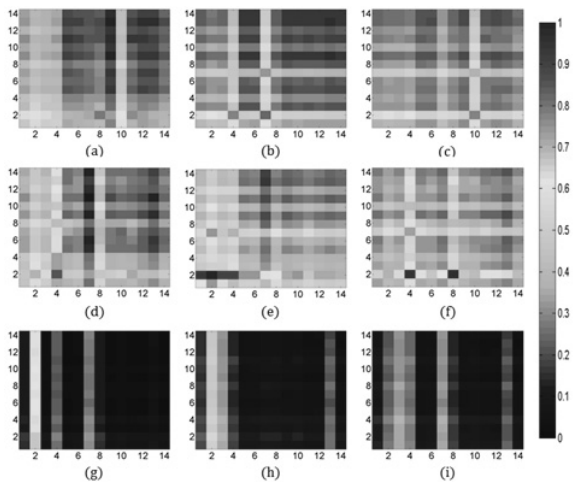


그림 19. 텍스트 동영상 실험의 2차 DM의 정규화된 의사색채 맵. (a-i) 차례로 2-6, 5-9, 6-9, 2-7, 2-9, 7-9, 3-5, 3-6, 5-6 피험자 간의 결과. 숫자쌍은 x축-y축에 해당하는 피험자 번호를 의미.

의 관계를 그림 20, 21과 같이 시각화하여 분석을 수행하였다.

활력 징후와 그룹 별 설문과의 관계를 분석하기 위해 그림 20, 21과 같이 동영상 종류에 따른 그래프를 생성하였다. 가로축은 활력 징후(맥박, 최고혈압, 최저혈압) 중 한 가지의 변화량을 나타내며 세로축은 사전, 사후 설문의 동영상 시청 전후 응답의 차이 값을 의미한다. 적색 ○은 그림 14에서 분류된 그룹 A의 요소이며, 녹색 ⊕은 그룹 B, 청색 △는 그룹 C의 요소이다. 또한 ■는 각 그룹에 해당하는 요소들의 평균 위치를 나타낸 것이다.

영화 동영상 실험에서 측정된 활력 징후와 설문 결과는 전체적으로 비교적 낮은 상관관계를 나타내었다. 그림 20의 (a-c)는 모션 강도가 1 혹은 4인 영화 실험 결과로 모션 강도가 0인 (d)와 비교하였을 때 서로 다른 색상을 가지는 요소들의 분포가 다소 혼재되어 있어 집단을 명확히 분류하기 어렵다.

반면 텍스트 동영상 실험에서는 활력 징후와 설문 결과가 영화 동영상에 비해 높은 상관관계를 나타내었다. 그림 21은 텍스트 동영상에 대한 실험 결과이다. (a-c)에서 A그룹은 주로 우측 상단 영역에 분포하며 B 및 C그룹은 좌측 하단 영역에 분포하였다. 특히 (a)와 (b)는 맥박과 최저혈압에 대한 실험 결과로 그룹 A의 분포가 다른 그룹의 분포와 뚜렷하게 분리되어 이상적인 모습을 보였다. (c)는 최고혈압에 대한 실험 결과이며 그룹 A와 타 그룹이 맥박과 최저혈압에 비해 뚜렷하지는 않으나 비교적 적은 오류로 분리되었다. (d)의 경우 모션 강도가 적용되지 않은 원본 동영상의 실험 결과로 그룹 A와 타 그룹의 활력 징후 측정 결과가 동일한 영역에 응집되어 분포하였다. (a-c)와 (d)의 비교를 통해 영화 동영상 실험에 비해 모션 강도의 유무에 따른 활력징후가 비교적 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 또한 (a-c)에서 그룹 A, B, C의 요소들이 그룹 별로 서로 다른 영역에 분포하여 비교적 잘 분리됨을 관찰하였다.

이로부터 모션 강도에 따른 활력 징후의 변화를 바탕으로 분류된 집단과 설문 조사로부터 그림 14와 같이 분류된 집단이 유사함을 알 수 있다. 이는 뇌전도 실험에서 그림 17과 같이 분류한 집단과 그림 14가 유사했던 것과 비슷한 결과로, 뇌전도 뿐만 아니라 활력 징후 역시 모션 강도에 따른 상관관계를 가짐을 의미한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 동영상을 시청할 때 동영상의 콘텐츠나 모션 강도가 VIMS 유발에 미치는 영향을 뇌전도와 활력 징후, 신체 반응 변화를 통해 분석하였다. 또한 효과적인 실험 및 분석을 위한 실험 환경을 설계 및 제안하였으며, 전역 모션이 적용된 동영상 콘텐츠를 제작하였다. 실험을 통해 최종적으로 피험자가 경험하는 VIMS의 정도에 따라 피험자를 그룹화할 수 있었다.

텍스트 콘텐츠를 포함한 동영상의 경우 모션 강도에 따른 뇌전도, 활력 징후 등의 신체 반응 변화가 영화 콘텐츠보다 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 전반적인 실험 결과에서 영화 동영상 보다 텍스트 동영상에서 더욱 명확한 뇌파-모션 간 상관관계를 나타내었으며, 이는 사전, 사후 설문 결과와 일치하였다. 또한 텍스트 동영상 실험을 통해 분류된 집단 별 피험자의 응답이 온라인으로 수행한 간지 설문조사의 텍스트에 관련된 문항에 대한 응답과도 일치하였다.

본 연구에서 얻어진 그룹화 결과를 기반으로 VIMS 정도에 따른 사용자 적응적 동영상 흔들림 보정을 통한 VIMS 방지에 대한 연구가 가능하다. 또한 실험에 쓰인 동영상의 장르를 결정한 후 다른 다양한 변수에 대해서는 고려하지 않았으나, 향후 연구에서는 다양한 변수들을 고려하기 위해 영화 내의 장르, 자막여부, 텍스트의 크기, 굵기, 모양 등의 여러 가지 요소를 고려한 환경에서의 실험을 수행하여 이러한 변수들이 어지럼증에

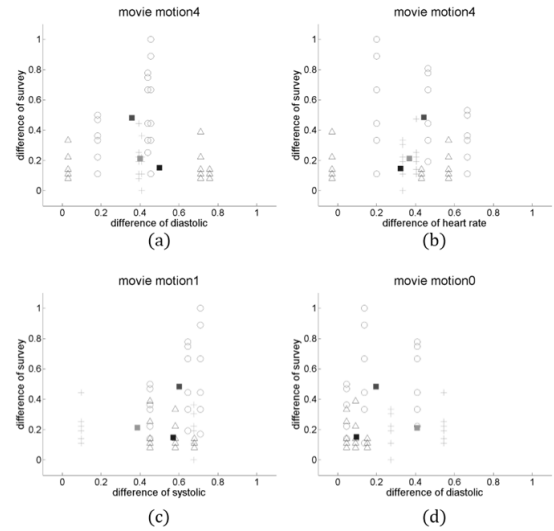


그림 20. 모션 강도에 따른 영화 동영상 실험의 사전, 사후 설문 문항 응답과 활력 징후의 관계 (a)모션 강도-4, 활력 징후-최저혈압, (b)모션 강도-4, 활력 징후-맥박 (c)모션 강도-1, 활력 징후-최고혈압, (d)모션 강도-0, 활력 징후-최저혈압

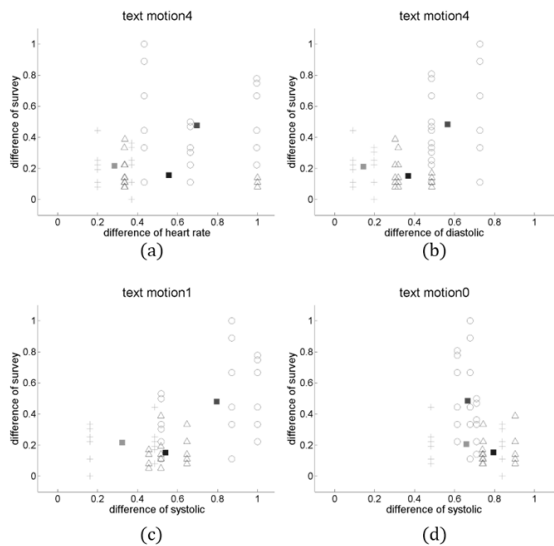


그림 21. 모션 강도에 따른 텍스트 동영상 실험의 사전, 사후 설문 문항 응답과 활력 징후의 관계 (a)모션 강도-4, 활력 징후-맥박, (b)모션 강도-4, 활력 징후-최저혈압, (c)모션 강도-1, 활력 징후-최고혈압, (d)모션 강도-0, 활력 징후-최고혈압

영향을 미치는 주요한 요인을 분석할 수 있을 것으로 보인다.

콘텐츠 내에 모션 강도를 더 다양한 레벨로 조정할 수 있도록 하여 어지럼증이 신체 반응 변화에 가장 큰 영향을 미치는 모션 패턴이나 강도의 범위 등도 분석할 수 있을 것으로 보인다. 뇌전도의 경우 어지럼증 등의 신체 반응 변화를 더 민감하게 반영하는 채널이 위치한 파장을 집중적으로 분석하거나 각 채널의 가중치를 줌으로써 효율적인 결과를 기대할 수 있을 것으로 보인다. 맥박 및 혈압의 경우에는 주기적 측정뿐 아니라 실시간 측정을 통해 VIMS와의 향상된 상관관계를 분석할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- [1] Richard, H. Y. So., H. Ujike.. Visually induced motion sickness, visual stress and photosensitive epileptic seizures: What do they have in common? - Preface to the special issue. *Applied Ergonomics*, 41(4). Elsevier, pp. 491-493, 2010.
- [2] Wikipedia, motion sickness.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Motion\\_sickness](http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_sickness). 2013.10.30.
- [3] David, B. T. and Philip, B.. Motion Sickness. *Physiological Reviews*, 29(4). American Physiological Society, pp. 311-369, 1949.
- [4] Griffin, M. J.. *Handbook of Human Vibration*. Academic press, 1990.
- [5] Michael, E. M., Tomas, J. S.. *Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments. Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(3). MIT Press Journals, pp. 311-318, 1992.
- [6] Stoffregen, T. A., Smart, L. J.. Postural instability precedes motion sickness. *Brain Research Bulletin*, 47(5). Elsevier, pp. 437-448, 1998.
- [7] Lo, W. T., Richard, H. Y. So.. Cybersickness in the presence of scenerotational movements along different axes. *Applied Ergonomics*, 32. Elsevier, pp. 1-14, 2001.
- [8] Andrew, T. C., Tanzeem, C., Shaohan, H., Hong, L., Matthew, K. M., Mashfiqui, R. and Rajeev, D. S. Raizada.. *NeuroPhone: Brain-Mobile Phone Interface using a Wireless EEG Headset*. ACM SIGCOMM workshop on Networking, systems and applications on mobile handhelds, New York, pp. 3-8, 2010.
- [9] Kim, E. H.. A Study on the Effect of TV Advertising Models by EEG. *Korean Journal of Communication Studies*, 18(1). Korea Communication Association, pp. 273-299, 2010.
- [10] Lin, C. T., Wang, Y. K. and Chen, S. A.. An EEG-Based Brain-Computer Interface for Dual Task Driving Detection. *Neurocomputing*, 7062. Elsevier, pp. 85-93, 2014.
- [11] Huang, D., Zhang, H., Ang, K., Guan, C., Pan, Y., Wang, C. and Yu, J.. Fast emotion detection from EEG using asymmetric spatial filtering. *IEEE*, pp. 589-592, ICASSP, 2012.
- [12] Ko, L. W., Wei, C. S., Chen, S. A. and Lin, C. T.. EEG-Based Motion Sickness Estimation Using Principal Component Regression. *Neural Information Processing*, 7062. ICONIP, pp. 717-724, 2011.
- [13] Sun, D., Roth, S. and Black, M. J.. *Secrets of optical flow estimation and their principles*. San Francisco: CVPR, pp. 2432-2439, 2010.
- [14] Berthold, K. H., Brian G. S.. *Determining optical flow*. *Artificial Intelligence*, 17. Elsevier, pp. 185-203, 1981.
- [15] Treisman, M.. *Motion sickness: an evolutionary hypothesis*. *Science*, 197. Highwire Press, pp. 493-495, 1997.



**이 채 원**

2008년 3월 ~ 2012년 2월 인하대학교 컴퓨터정보공학과 졸업(공학사). 2012년 3월 ~ 현재 인하대학교 대학원 석사과정. 관심 분야는 컴퓨터 비전, 인간-컴퓨터 상호작용, 기계 학습, 패턴인식 등.



**최 민 국**

2004년 3월 ~ 2010년 2월 인하대학교 컴퓨터정보공학과 졸업(공학사). 2010년 3월 ~ 현재 인하대학교 대학원 통합과정. 관심 분야는 컴퓨터 비전, 패턴 인식 등.



**김 규 성**

1985년 3월 ~ 1991년 2월 인하대학교 의과대학 졸업. 인하대학교 의학박사. 이비인후과 전문의를. 2005년 University of Tokushima, Exchange Scholar. 2006년 ~ 2007년 Johns Hopkins Hospital, Research Fellow, 현재 인하대학교 의료원산학협력본부장, 인하대병원 연구기획실장, 이비인후과 주임교수.



**이 상 철**

1993년 2월 ~ 1998년 1월 인하대학교 전자계산공학과 졸업(공학사). 1999년 7월 ~ 2001년 6월 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 대학원 졸업(공학석사) 2001년 7월 ~ 2006년 4월 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 대학원 졸업(공학박사). 2006년 5월 ~ 2008년 1월 National Center for Supercomputing Applications Visiting Research Programmer, 2008년 2월 ~ 현재 인하대학교 컴퓨터정보공학과 교수.