

기본 주시눈 위치의 패턴을 이용한 영상멀미의 민감도 예측

박상인¹, 이동원², 문성철³, 황민철^{4*}

¹상명대학교 산학협력단 특임교수, ²상명대학교 감성공학과 학생,

³CJ 헬로 Future Engine Lab. 부장, ⁴상명대학교 휴먼지능정보공학과 교수

Predicting Sensitivity of Motion Sickness using by Pattern of Cardinal Gaze Position

Sangin Park¹, Dong Won Lee², Sungchul Mun³, Mincheol Whang^{4*}

¹Special appointment professor, Industry-Academy Cooperation Team, Sangmyung University

²Student, Department of Emotion Engineering, Sangmyung University

³General Manager, Future Engine Lab., CJ Hello

⁴Professor, Department of Intelligent Engineering Informations for Human, Sangmyung University

요 약 본 연구는 가상현실 콘텐츠 경험 이전에 기본 주시눈 위치의 패턴을 이용해 영상멀미의 민감도를 예측할 수 있는 방법론 개발에 그 목적이 있다. 본 실험에는 20명 (여자 10명, 평균 나이: 28.42±3.17세)의 피험자가 참여하였다. 실험 참가자들은 5분 동안 기본 주시눈 위치의 패턴을 측정하고 가상현실 콘텐츠를 15분 동안 시청하였다. VR 콘텐츠 시청 후에 'Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)' 설문을 통해 영상멀미에 대한 주관적인 경험을 실험 참가자들로부터 보고 받았다. 기본 주시눈 패턴과 SSQ 점수는 피어슨 상관분석 및 독립성분 t검정을 통해 유의성을 확인하고 다중회귀분석을 통해 예측 모델을 도출하였다. 분석결과, 기본 주시눈 위치의 패턴 (PCPA & PCPR)은 SSQ 점수와 통계적으로 유의한 차이가 있었고 강한 혹은 중간 양의 상관관계가 있음을 확인하였다. 또한, 도출된 예측모델은 새로운 실험참가자 10명을 대상으로 정확도를 검증하였고 설문과 예측모델에 의한 SSQ 점수 사이에 강한 양의 상관관계와 낮은 편차가 있음을 확인하였다.

주제어 : 영상멀미, 기본주시눈위치, 전정안구반사, 가상현실, 머리 착용 디스플레이

Abstract The aim of this study is to predict the sensitivity of motion sickness (MS) using pattern of cardinal gaze position (CGP) before experiencing the virtual reality (VR) content. Twenty volunteers of both genders (8 females, mean age 28.42 ± 3.17) participated in this experiment. They were required to measure the pattern of CGP for 5 minute, and then watched VR content for 15 minute. After watching VR content, subjective experience for MS reported from participants using by 'Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)'. Statistical significance between CGP and SSQ score were confirmed using Pearson correlation analysis and independent t-test, and prediction model was extracted from multiple regression model. PCPA & PCPR indicators from CGP revealed significantly difference and strong or moderate positive correlation with SSQ score. Extracted prediction model was tested using correlation coefficient and mean error, SSQ score between subjective rating and prediction model showed strong positive correlation and low difference.

Key Words : Motion Sickness, Cardinal Gaze Position, Vestibulo-Ocular Reflex, Virtual Reality, Head Mounted Display

*This work was supported by the Global Frontier R&D Program on <Human-centered Interaction for Coexistence> funded by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Ministry of Science and ICT (NRF-2010-0029756) / This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(Ministry of Science, ICT & Future Planning) (No. 2017R1C1B2010488)

*Corresponding Author : Mincheol Whang (whang@smu.ac.kr)

Received September 12, 2018

Revised November 2, 2018

Accepted November 20, 2018

Published November 28, 2018

1. 서론

가상현실은 기존의 디스플레이 기술에 비해 360도의 영상정보와 사물 및 가상환경과의 깊이감을 기반으로 사용자에게 실재감, 현실감, 몰입감을 제공 한다[1,2]. 머리 착용 디스플레이 (Head Mounted Display, HMD)의 보급 및 대중화에 따라, 가상현실 (Virtual Reality, VR) 기술이 교육, 게임, 엔터테인먼트, 건축, 제조, 의료, 일상생활 등의 다양한 분야에 긍정적인 효과를 주고 있다[3,4]. 그러나 가상현실을 경험한 많은 사용들로 부터 불안, 긴장, 발한, 방향 감각 상실 등의 증상을 동반한 멀미증상이 보고되고 있다[2,5]. 이는 사용자들이 가상현실 기술의 긍정적인 경험을 방해하는 주요한 요인으로 가상현실 산업 발전에 저해요인으로 작용할 가능성이 높다[3,6].

많은 선행연구들은 이러한 영상멀미 문제를 해결하기 위해 영상멀미 정량화 및 경감을 위한 피드백 연구들을 진행해 오고 있다. 영상멀미 정량화 연구는 사용자의 행태반응, 생체신호, 뇌 활성화 등을 이용해 영상멀미를 정량적으로 평가할 수 있는 방법론을 개발해 오고 있다. 이를 기반으로 영상멀미를 유발할 가능성이 있는 세부유발 요인들 (사용자 특성, 콘텐츠 및 디바이스 요인)을 검증하고 개발자 및 사용자에게 가이드라인을 제시 하거나 혹은 실시간으로 사용자의 영상멀미 상태를 모니터링하고 그 상태에 대한 피드백을 제시하는 데에 그 목적이 있다. 영상멀미 경감을 위한 피드백 연구는 사용자가 영상멀미를 느끼는 정도에 따라 디바이스의 시야각, 렌즈 거리 등을 조절하거나[7,8] 혹은 콘텐츠의 재생속도, 깊이감 등을 조절하여[9] 영상멀미를 경감시키고 장시간 가상현실 콘텐츠를 경험할 수 있도록 도움을 주는데 그 목적이 있다. 이러한 연구들은 사용자가 가상현실 기술을 유용하고 효율적으로 활용하는 데에 있어서 큰 도움을 줄 수 있다. 그러나 영상멀미 예측 기술 또한 그 필요성이 요구되고 있는 실정이나 현재 연구된 바가 거의 없다.

영상멀미는 현상을 가장 잘 설명하는 이론으로 알려진 것은 감각충돌이론 (Sensory Conflict Theory)과 자세 불안정성이론 (Posture Instability Theory)이다. 감각충돌이론은 서로 다른 감각정보들 사이의 불일치 현상을 의미하는 것으로 가상현실에서 제공되는 시각 정보와 그에 대응하는 신체 움직임 사이의 불일치 현상으로 영상멀미를 설명한다[10]. 이는 뇌의 정보처리 과정의 비효율적인 처리과정으로 인지부하를 유발할 수 있다. 자세불안정성 이론은 가상현실 콘텐츠로부터 제시되는 영상의

움직임에 의해 유발되는 불안정한 자세 혹은 익숙하지 않은 움직임 패턴에 대한 경험을 안정적인 상태로 유지하려는 과정에서 영상멀미가 유발되는 것으로 설명하고 있다[11]. 이는 영상멀미에 대한 민감도가 안정적인 균형을 유지하는 능력과 높은 상관성이 있는 것으로 해석할 수 있다.

상기 두 이론을 고려했을 때 영상멀미에 대한 민감도는 뇌의 정신부하 상태와 안정적인 균형 유지능력에 영향을 받을 것으로 판단할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가상현실 콘텐츠를 경험하기 이전의 사용자의 정신부하 및 균형유지 능력의 상태를 영상멀미에 대한 민감도를 예측할 수 있는 지표로 활용하고자 한다. 이러한 두 가지 기능을 잘 평가할 수 있는 지표중의 하나가 기본주시 눈위치 (Cardinal Gaze Position)이다. 우리의 시선은 머리 움직임 및 회전에 대한 시각혼란을 줄이기 위한 전정안구반사 (Vestibulo-Ocular Reflex, VOR)기능을 한다. 전정안구반사는 머리 움직임 및 회전에 대해 정보를 전정계 및 시각계에 전달하고 이 두 정보를 기반으로 시선이 이를 보정하여 시각멀미를 느끼지 못하게 하려는 운동을 의미한다[12]. 따라서 전정안구반사는 움직임에 대한 시선의 균형유지 능력을 평가할 수 있는 지표로 활용 가능하다. 또한, 시선의 위치를 유지하는 능력은 집중과 밀접한 연관성이 있으며, 집중하는 능력은 인지부하가 낮을수록 높아지는 양의 상관관계를 보인다[13]. 따라서 본 연구는 동공의 기본 주시눈 위치를 이용한 적외선 웹 카메라 기반의 비접촉식 영상멀미 예측 방법론을 개발하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 실험 참가자

본 연구에는 20명 (남자: 10명, 여자: 10명, 평균 나이: 28.42±3.17세)의 대학 및 대학원생이 실험에 참여했다. 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 중추신경계, 자율신경계, 전정계, 시각계의 병력 및 가족력이 없는 실험 참가자를 대상으로 하였다. 또한, 신체 반응에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 흡연 및 음주를 제한하였고 실험 당일 피로를 최소화하기 위해 실험 전날 충분한 수면을 취하도록 권고하였다. 실험 목적을 제외하고 실험에 대한 전반적인 내용에 대해 충분히 설명하였고 실험 참여에 대한 동의 받았다. 본 연구의 모든 실험 디자인은 상명대학교

생명윤리위원회 (Sangmyung University Institutional Bioethics Review Board, SMUIBRB)의 승인을 받아 진행하였다 (BE2017-22).

2.2 실험 디자인

실험 참가자들의 영상멀미를 유발시키기 위해 머리 착용 디스플레이 “HTC VIVE” (HTC Inc., Taiwan & Valve Inc., USA)를 통해 가상현실 콘텐츠 ‘Ultimate Booster Experience’ (GexagonVR, 2016)를 15분 동안 시청하도록 하였다. 콘텐츠 시청 전에, LED 모니터 (27MP68HM, LG Inc., Korea) 중앙에 제시되는 플러스 모양의 아이콘 (+)을 3분 동안 응시하도록 하였고 태스크가 진행되는 동안 동공 영상을 취득하였다. 콘텐츠 시청 후에는 영상멀미에 대한 주관적인 상태를 확인하기 위해 ‘Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)’ 설문지를 실시하였다. 콘텐츠 시청 전의 동공반응과 시청 후에 영상멀미 경험에 대한 민감도를 비교 분석 하였다. 자세한 실험 디자인에 대한 설명은 Fig. 1과 같다.

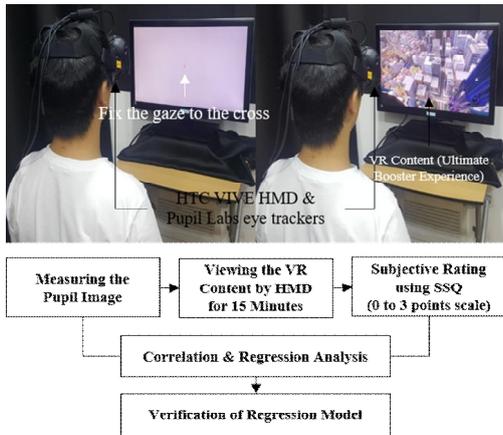


Fig. 1. Experimental design and environment

SSQ 설문지는 16개의 설문 문항을 포함하고 있고 각각의 설문 문항들은 메스꺼움 (Nausea), 시신경 (Oculo-Motor), 방향감각상실 (Disorientation)의 3개의 요인에 중복 포함되어 구성되어 있다[].

- 설문항목(16): (1)일반적인 불편감 (General Discomfort), (2)피로 (Fatigue), (3)두통 (Headache), (4) 눈 통증 (Eyestrain), (5)초점 맞추기 어려움 (Difficulty Focusing), (6)타액분비 증가 (Increased Salivation), (7) 땀 흘림 (Sweating), (8)메스꺼움 (Nausea), (9)집중 곤란

(Difficulty Concentrating), (10)머리의 팽만감 (Fullness of Head), (11)시야 흐림 (Blurred Vision), (12)일반적인 어지러움 (Dizzy: Eyes Open), (13)일반적인 어지러움 (Dizzy: Eyes Close), (14)회전성 어지러움 (Vertigo), (15)거북감 (Stomach Awareness), (16)트림 (Burping).

- 요인(3): 메스꺼움 (Nausea, N: 1, 6, 7, 8, 9, 15, 16), 시신경 (Oculo-Motor, O: 1, 2, 3, 4, 5, 9, 11), 방향감각상실 (Disorientation, D: 5, 8, 10, 11, 12, 13, 14).

실험 참가자들로 부터 16개의 SSQ 설문 항목에 대해 4 단계 (0-3) 스케일로 설문을 받았고 각각의 항목에 대한 점수는 3가지 요인에 대해 가중치를 부여하여 다음 수식 (1)을 이용해 통합 영상멀미 점수 (SSQ score)로 계산 하였다.

$$SSQScore = (9.54 \times N + 7.58 \times O + 13.92 \times D) \times 3.74 \quad (1)$$

2.3 신호 처리 및 인디케이터 정의

동공 영상을 취득하기 위해 ‘HTC VIVE’ 안에 내장된 ‘Pupil Labs eye trackers’ (Pupil Labs GmbH Inc., Germany)를 이용해 1280 x 720 해상도 및 초당 30 fps (Frame Per Second)의 속도로 동공 영상을 취득하였다. 취득된 그레이 스케일 (Gray Scale) 영상은 이진화와 원형 검출 알고리즘 (Circular edge detection, CDE)의 과정을 거쳐 동공 영역을 검출하였다. 상기 과정은 선행 연구들을 참조하여 진행하였고[14-16] CED 알고리즘은 수식 (2)에 나타내었다.

$$Max_{(r, x_0, y_0)} \left| G\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (2)$$

r : radius of the pupil
 $I(x, y)$: a gray level at the (x, y) position
 (x_0, y_0) : center position of the pupil

검출된 동공 영역으로 부터 영상멀미 예측을 위한 인디케이터를 추출하였고 그 과정은 다음과 같다. (1) 검출된 동공 영역에서 x와 y축 좌표 정보를 30 fps로 추출하였다. (2) 눈 깜박임 반응으로 인한 동공 좌표 정보의 손실을 최소화하기 위해 이동 평균 (Sliding Moving Average) 방법을 이용하여 30 fps 데이터를 1 fps 데이터로 리샘플링 (Re-Sampling) 처리하였다 (Window Size: 30 fps, shift interval: 30 fps). (2) 리샘플링된 동공 좌표 데이터는 시계열 데이터 (Time serial data)로 2차원 축

에 플로팅 (Plotting) 하였다. (3) 2차원 축에 플로팅된 동공 좌표 데이터는 전체 샘플의 95% 이상이 포함 되도록 타원의 영역을 정의하였다. (4) 타원의 영역으로 부터 장축과 단축의 길이 정보를 추출하고 수식 (3)를 이용하여 영상 떨미 예측을 위한 인디케이터인 타원의 면적 (Area of Pupil Center Position, PCP_A)과 타원의 장축 및 단축의 비율 (Ratio between major & minor axes, PCP_R)로 정의하였다. 자세한 신호처리 과정은 Fig. 2에 나타내었다.

$$PCP_A = \pi ab, PCP_R = \frac{a}{b} \quad (3)$$

a : radius of major axis, b : radius of minor axis

2.4 통계 분석

본 연구는 가상현실 콘텐츠 경험 이전의 기본주시는 위치의 패턴에 따라 사용자가 경험하는 영상떨미의 민감도를 분석하고 이를 기반으로 영상떨미 예측 모델을 개발하는 것을 목적으로 한다. 따라서 본 연구에서 제안된 인디케이터들 (PCP_A & PCP_R)과 SSQ 점수 사이의 상관성을 분석하고 다중회귀분석 (Multi Regression Analysis)을 이용해 영상떨미 예측을 위한 회귀 모형을 도출하였다. 도출된 회귀 모형을 기반으로 새로운 실험 참가자의 데이터 샘플을 이용해 도출된 회귀 모형의 정확도를 확인 하였다. 또한, 20명의 실험 참가자를 SSQ 점수를 기준으로 영상떨미를 심하게 느낀 그룹 (상위 10명)과 그렇지 않은 그룹 (하위 10명)으로 구분하여 독립표본 t검정 (Independent t-Test) 통해 통계적 유의성을 확인 하였다.

상관 분석은 ‘피어슨 상관 계수 (Pearson’s correlation coefficient)’를 이용하여 분석하였고 상관 계수에 따라 (1) $r \leq 0.3$, 약한, (2) $0.36 \leq r \leq 0.67$, 중간, (3) $0.68 \leq r \leq 1$, 강한 (4) $r \geq 0.90$, 매우 강한의 기준으로 평가 하였다. 통계 검정에서 다중 가설로 인해 발생할 수 있는 1종 오류를 보정하기 위해 본페로니 교정 (Bonferroni correction)을 이용해 통계 검정의 유의 수준 (i.e., $\alpha = .05/n$)을 보정하였다. 본 연구에서는 PCP_A 와 PCP_R 의 두 가지 종속 변수에 의해 유의수준은 $p < 0.025$ 로 설정되었다 ($\alpha = 0.05/2$). 또한, 통계적 유의성뿐만 아니라 실질적 유의성 (Practical Significance)도 확인하기 위해 효과 크기 (Effect Size)를 계산하였다. 독립표본 t검정의 효과 크기는 Cohen’s d (0.10: small, 0.25: medium, 0.40: large)를 기준으로 하였다.

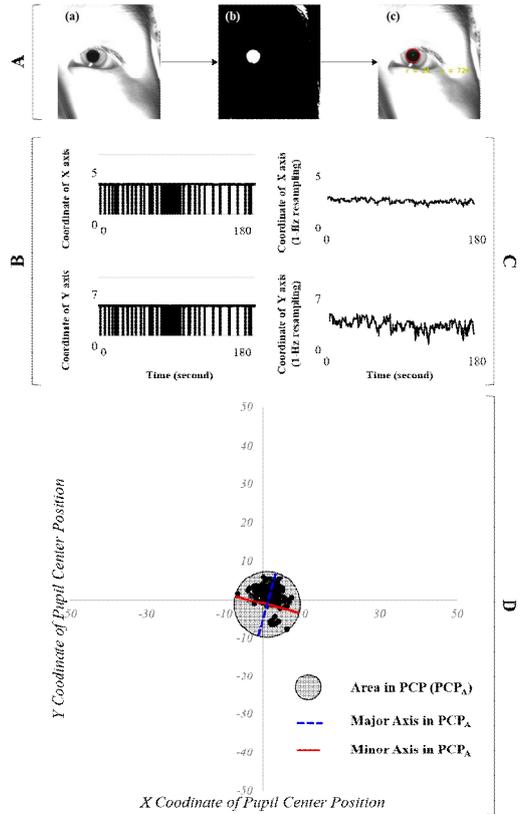


Fig. 2. Procedure for signal processing and indicators definition. (A) Procedure for detecting the pupil area: (a) Gray scale image, (b) Binarization image, (c) Detecting the pupil area by CED algorithm. (B) Coordinate of X and Y axes at 30 fps. (C) Re-sampled coordinate of X and Y axes at 1 fps. (D) Definition of PCPA and PCPR.

3. 연구결과

3.1 독립 표본 t검정

동공 반응 분석결과에서 VR 콘텐츠 시청 이전에 기본주시는 위치의 반경 (PCP_A)이 좁고 반경의 장축과 단축 사이의 비율 (PCP_R)이 1에 가까울수록 콘텐츠 시청 후에 실험 참가자가 느끼는 영상떨미가 감소하는 결과를 확인 하였고 대표적인 실험 참가자의 패턴을 Fig. 3에 나타내었다. 실험 참가자 P6의 경우, VR 콘텐츠 시청 전에 PCP_A 와 PCP_R 가 각각 26.507과 1.072로 나타났고 시청 후에 SSQ 점수는 17.247로 확인되었다. 반면, 실험 참가자 P14의 경우, VR 콘텐츠 시청 전에 PCP_A 와 PCP_R 가 각각

110.117과 1.802의 결과를 보였고 시청 후에 SSQ 점수는 181.134로 확인되었다

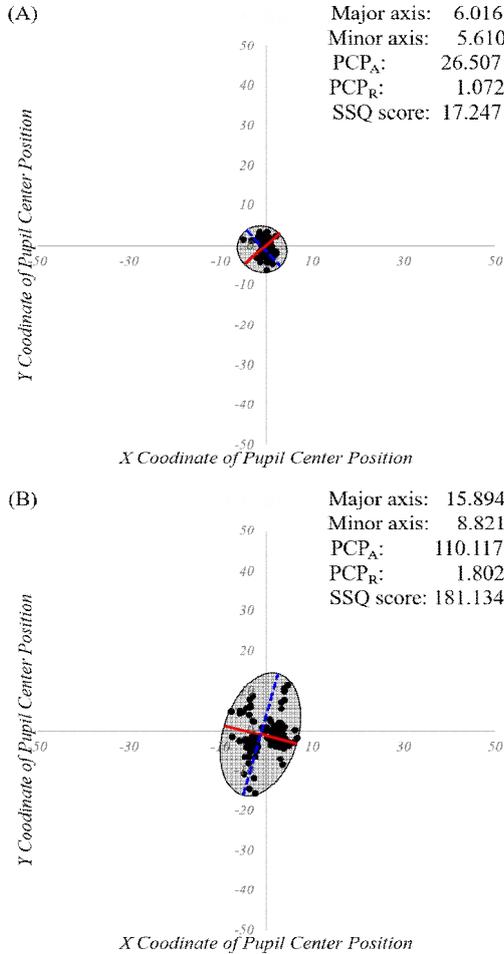


Fig. 3. An examples patterns in PCPA and PCPR for participant 6 (top) and 14 (bottom).

독립 표본 t검정 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 전체 20명의 실험 참가자의 SSQ 점수를 기준으로 두 그룹으로 구분하였고 PCP_A와 PCP_R 모두 영상멀미를 심하게 느끼는 그룹과 그렇지 않은 그룹 사이에 통계적으로 유의한 차이가 확인 되었다 (PCP_A: $t[18] = -4.632$, $p = 0.0004$, Cohen's $d = 2.184$ with large effect size; PCP_R: $t[18] = -3.136$, $p = 0.0057$, Cohen's $d = 1.478$ with large effect size).

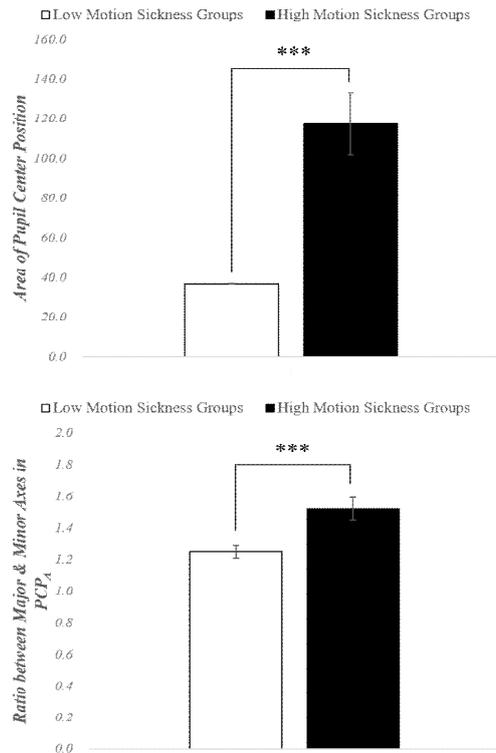


Fig. 4. Results for PCPA and PCPR between low and high motion sickness groups using independent t-test.

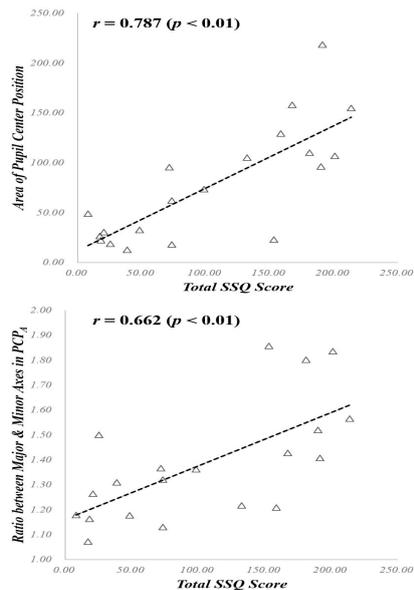


Fig. 5. Results for correlation analysis between PCPA and SSQ score / PCPR and SSQ score.

Table 1. Results of the multiple linear regression analyses on SSQ score for motion sickness in response to indicators of PCPA and PCPR (N = 20).

<i>Model Summary^b</i>					
<i>R</i>	<i>R Square</i>	<i>Adjusted R Square</i>	<i>Std. Error of the Estimate</i>	<i>Durbin-Watson</i>	
.921a	.848	.830	29.900	2.244	
a. Predictors: (Constant), PCP_A , PCP_R					
b. Dependent Variable: SSQ score					
<i>ANOVA^b</i>					
<i>Model</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Regression</i>	84994.580	2	42497.290	47.536	.000a
<i>Residual</i>	15198.149	17	894.009		
<i>Total</i>	100192.730	19			
a. Predictors: (Constant), PCP_A , PCP_R					
b. Dependent Variable: SSQ score					
<i>Coefficients^a</i>					
<i>Model</i>	<i>Unstandardized Coefficients</i>	<i>Standardized Coefficients</i>	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>Sig.</i>
	<i>B</i>	<i>Std. Error</i>			
<i>(Constant)</i>	-172.215	41.032		-4.197	.001
<i>Area of COP</i>	153.235	30.212	.495	5.072	.000
<i>Ratio of COP</i>	.831	.123	.661	6.775	.000

a. Dependent Variable: SSQ score

3.2 상관분석

VR 콘텐츠 시청 전에 기본 주시는 위치의 안전성 (PCP_A & PCP_R)이 영상멀미 민감도 (SSQ score)에 미치는 영향을 확인하기 위해 피어슨 상관분석을 실시하였고 그 결과는 Fig. 5에 나타내었다. PCP_A 와 SSQ 점수 사이의 상관분석 결과 강한 양의 상관관계가 확인되었고 ($r = 0.787$, $p < 0.01$) PCP_R 와 SSQ 점수 사이의 상관분석 결과 중간 양의 상관관계가 확인되었다 ($r = 0.662$, $p < 0.01$).

3.3 다중회귀분석

기본 주시는 위치의 패턴을 기반으로 영상멀미의 민감도를 예측하기 위해 PCP_A 와 PCP_R 를 각각 독립변수로 설정하고 SSQ 점수를 종속변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였고 그 결과는 Table 1과 같다. PCP_A 와 PCP_R 를 이용한 다중 회귀 모델은 SSQ 점수에 대해 통계적으로 유의한 70%의 설명력 ($F = 22.650$; $df = 2, 13$; $p < 0.001$; Durbin-Watson = 1.655)을 갖는 것으로 확인되었다. 다

중 회귀 분석을 통해 도출된 SSQ 점수 예측 모델은 수식 (4)와 같다.

$$SSQ_{score} (expected) = 153.235 \times PCP_R + 0.831 \times PCP_A - 172.215 \quad (4)$$

3.4 회귀모델 검증실험 및 결과

본 실험 결과를 기반으로 영상멀미에 대한 민감도를 예측하기 위한 회귀모델 도출하였고 이를 검증하기 위한 추가 실험을 실시하였다. 검증 실험에는 10명 (남자: 5명, 여자: 5명, 평균 나이: 27.26±3.34세)의 대학 및 대학원생이 실험에 참여했다. 실험 참가자의 모집 조건과 실험 디자인은 모두 본 실험의 조건과 같았다 (2.1 실험참가자 & 2.2 실험디자인). 또한, 검증 실험의 실험참가자는 본 실험에 참여하지 않았던 실험참가자들을 대상으로 하였다. 실험참가자 10명에 대한 검증 실험 결과는 Table 2와 Fig. 6에 나타내었다.

Table 2. Results for verification experiment of regression model (Sub: Subject, Maj: Major axis, Min: Minor axis, Ob: Observed, Ex: Expected).

Sub	Maj	Min	PCP _R	PCP _A	SSQ Score	
					Ob	Ex
S1	2.1	1.6	1.3	10.2	50.6	38.4
S2	3.3	2.1	1.6	22.3	104.7	87.1
S3	1.1	0.9	1.3	3.1	64.3	28.2
S4	4.0	2.1	1.9	26.5	136.7	146.6
S5	2.2	1.8	1.2	12.4	89.0	29.4
S6	8.5	3.7	2.3	97.6	181.0	262.8
S7	6.3	4.1	1.5	82.2	203.7	131.3
S8	2.3	1.9	1.2	13.9	107.5	28.8
S9	3.1	1.8	1.7	17.6	145.0	109.8
S10	3.3	2.1	1.6	21.5	122.0	84.0

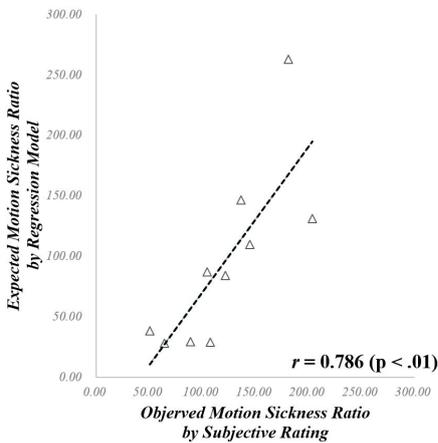


Fig. 6. Results for correlation analysis between the SSQ score of observed and expected.

검증 실험 분석결과, 실험참가에 의한 설문 (Observed) 과 회귀모델에 의한 SSQ 점수 (Expected) 사이에 강한 양의 상관관계 ($r = 0.786, p < 0.01$)가 있음을 확인하였고 두 SSQ 점수 사이의 차이는 44.150 ± 25.937 로 나타났다.

4. 논의 및 결론

본 연구는 기본 주시능 위치의 패턴을 이용하여 영상멀미에 대한 민감도를 예측할 수 있는 방법론 개발을 그 목적으로 하였다. 이에 따라, VR 콘텐츠 경험 이전에 기본 주시능 위치의 패턴과 영상멀미에 대한 민감도 수치 (SSQ 점수) 사이의 상관분석, 독립표본 t검정을 통해 통계적 유의성 및 상관성을 확인하였고 다중회귀분석을 통

해 예측 모델을 도출하였다.

본 연구에서는 크게 두 가지 유의미한 결과를 확인하였다. 첫째, VR 콘텐츠 경험 이전에 동공 주시능 좌표의 반경 (PCP_A)이 작을수록 영상멀미에 대한 민감도 (SSQ 점수)가 낮은 패턴을 나타내었다. 이들 사이에 상관분석 결과에서도 강한 양의 상관관계가 있음이 확인되었다. 둘째, VR 콘텐츠 경험 이전에 동공 주시능 좌표 반경의 장축 및 단축 사이의 비율 (PCP_R)이 1에 가까울수록 영상멀미에 대한 민감도 (SSQ 점수)가 낮은 패턴을 나타내었고 중간 양의 상관관계가 확인되었다. 또한, SSQ 점수를 기준으로 영상멀미를 심하게 경험한 그룹과 그렇지 않은 그룹으로 구분하여 독립표본 t검정한 결과에서도 PCP_A와 PCP_R에서 모두 통계적으로 유의미한 차이가 확인되었다.

본 연구에서 발견된 PCP_A와 PCP_R의 결과는 감각충돌 이론 및 자세불안정성이론으로 설명 가능하다. PCP_A가 작고 PCP_R가 1에 가까운 것은 동공 주시능 좌표를 제시된 타겟에 대해 안정적인 상태로 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 기능은 전정안구반사와 밀접한 연결성이 있으며, 전정계에 의한 자세 안정성 또는 시각 보정의 기능을 반영하는 지표이다[12,17,18]. 따라서 시선을 제시된 타겟에 안정적으로 유지할 수 있는 것은 전정계에 의한 안정적인 균형 유지능력과 양의 상관관계가 있으며, 이로 인해 영상멀미에 대한 민감도가 낮아진 것으로 해석할 수 있으며, 불안정한 자세 혹은 익숙하지 않은 움직임 패턴에 대한 경험을 안정적인 상태로 유지하려는 과정인 자세불안정성이론과도 일치한다[11]. 또한, 안정적인 시선의 패턴은 집중과 양의 상관성이 있으며, 이는 정신부하 수준이 낮은 상태를 의미한다[13]. 3D 시각피로와 관련된 몇몇 연구에서, 3D 시각피로를 단순한 시각적 불편감이 아니라, 2D 보다 많은 시각 정보량 처리로 인한 인지부하 현상으로 해석하였다[13,19-21]. 본 연구에서는 영상멀미 또한 360도의 영상정보 처리에 따른 정신부하와 서로 다른 감각 정보들 사이의 불일치로 인한 정보처리 과정의 비효율성으로 해석될 수 있으며[10,22], 이는 고차원의 인지부하 (High Level Cognitive Load)를 유발할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 인지부하가 상대적으로 낮은 상태의 실험 참가자들이 영상멀미에 대한 민감도가 낮은 결과를 보고한 것으로 판단된다.

최종적으로 상기 두 지표를 이용하여 다중회귀분석을 진행하였고 새로운 실험참가자 10명을 대상으로 예측모

델을 검증하였다. 예측모델을 통해 추론된 SSQ 점수가 설문문을 통해 취득된 SSQ 점수와 강한 양의 상관관계와 낮은 편차를 보이는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 제안된 방법을 통해 사용자의 영상멀미를 예측할 수 있는 가능성을 확인하였다. 머리착용디스플레이를 통해 VR 콘텐츠를 경험하는 과정에서 사용자의 전정계 안정성 유지 및 정신부하 수준은 사용자마다 차이가 있을 수 있고 같은 사용자라 하더라도 콘텐츠를 경험할 때마다 차이가 있을 수 있다. 본 연구를 통해 제안된 방법은 VR 콘텐츠 경험 이전에 간단한 테스트를 통해 영상멀미의 민감도를 예측하고 이에 따른 가이드라인을 사용자에게 제시할 수 있는데 활용 가능하다. 이는 사용자가 영상멀미 경험에 대해 미리 대비하고 사용시간, 사용강도 등을 조절하여 인간 친화적이고 효율적으로 VR 기술을 활용하는데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] J. Bailenson, K. Patel, A. Nielsen, R. Bajscy, S. H. Jung & G. Kurillo. (2008). The effect of interactivity on learning physical actions in virtual reality. *Media Psychology*, 11(3), 354-376.
DOI: 10.1080/15213260802285214
- [2] J. E. Bos, W. Bles & E. L. Groen. (2008). A theory on visually induced motion sickness. *Displays*, 29(2), 47-57.
- [3] J. D. Moss & E. R. Muth. (2011). Characteristics of head-mounted displays and their effects on simulator sickness. *Human factors*, 53(3), 308-319.
DOI: 10.1177/0018720811405196
- [4] M. Kesim & Y. Ozarslan. (2012). Augmented reality in education: current technologies and the potential for education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 47, 297-302.
DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.06.654
- [5] S. Sharples, S. Cobb, A. Moody & J. R. Wilson. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, 29(2), 58-69.
DOI: 10.1016/j.displa.2007.09.005
- [6] J. Hakkinen, T. Vuori & M. Paakka. (2002, October). Postural stability and sickness symptoms after HMD use. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (Vol. 1, pp. 147-152).
DOI: 10.1109/ICSMC.2002.1167964
- [7] A. S. Fernandes & S. K. Feiner. (2016, March). Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification. In *3D User Interfaces (3DUI), 2016 IEEE Symposium on* (pp. 201-210). IEEE.
DOI: 10.1109/3DUI.2016.7460053
- [8] G. Nie, Y. Liu & Y. Wang. (2017, October). [POSTER] Prevention of Visually Induced Motion Sickness Based on Dynamic Real-Time Content-Aware Non-salient Area Blurring. In *Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct), 2017 IEEE International Symposium on* (pp. 75-78). IEEE.
DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.35
- [9] N. Padmanaban, T. Ruban, V. Sitzmann, A. M. Norcia & G. Wetzstein. (2018). Towards a Machine-Learning Approach for Sickness Prediction in 360° Stereoscopic Videos. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, (1), 1594-1603.
DOI: 10.1109/TVCG.2018.2793560
- [10] C. M. Oman. (1990). Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 68(2), 294-303.
DOI: 10.1139/y90-044
- [11] T. A. Stoffregen, K. Yoshida, S. Villard, L. Scibora & B. G. Bardy. (2010). Stance width influences postural stability and motion sickness. *Ecological Psychology*, 22(3), 169-191.
DOI: 10.1080/10407413.2010.496645
- [12] J. E. Roy & K. E. Cullen. (1998). A neural correlate for vestibulo-ocular reflex suppression during voluntary eye-head gaze shifts. *Nature neuroscience*, 1(5), 404.
DOI: https://doi.org/10.1038/1619
- [13] S. Mun, M. C. Park, S. Park & M. Whang. (2012). SSVEP and ERP measurement of cognitive fatigue caused by stereoscopic 3D. *Neuroscience letters*, 525(2), 89-94.
DOI: 10.1016/j.neulet.2012.07.049
- [14] J. Daugman. (2004). Iris recognition border-crossing system in the UAE. *International Airport Review*, 8(2), 49-53.
- [15] E. C. Lee, K. R. Park, M. Whang & K. Min. (2009). Measuring the degree of eyestrain caused by watching LCD and PDP devices. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(5), 798-806.
DOI: 10.1016/j.ergon.2009.02.008
- [16] S. Park, M. J. Won, D. W. Lee & M. Whang. (2018). Non-contact measurement of heart response reflected in human eye. *International Journal of Psychophysiology*, 123, 179-198.

DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.07.014

- [17] M. Sağlam & N. Lehnen. (2014). Gaze stabilization in chronic vestibular-loss and in cerebellar ataxia: Interactions of feedforward and sensory feedback mechanisms. *Journal of Vestibular Research*, 24(5, 6), 425-431. DOI: 10.3233/VES-140538
- [18] E. J. Song & A. L. Jung. (2017). A Study for Reducing of Cyber Sickness on Virtual Reality. *Journal of Digital Contents Society*, 18(3), 429-434.
- [19] S. Park, M. J. Won, S. Mun, E. C. Lee & M. Whang. (2014). Does visual fatigue from 3D displays affect autonomic regulation and heart rhythm?. *International Journal of Psychophysiology*, 92(1), 42-48. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2014.02.003
- [20] S. Park, M. J. Won, E. C. Lee, S. Mun, M. C. Park & M. Whang. (2015). Evaluation of 3D cognitive fatigue using heart - brain synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, 97(2), 120-130. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2015.04.006
- [21] S. Mun, M. Whang, S. Park & M. C. Park (2017). Effects of mental workload on involuntary attention: A somatosensory ERP study. *Neuropsychologia*, 106, 7-20. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.08.021
- [21] J. Kang & C. Kim. (2018). A convergence study on the influence of full immersion virtual reality on the autonomic nervous system of healthy adults. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(3), 131-135. DOI: 10.15207/JKCS.2018.9.3.131

박 상 인(Park, Sangin) [정회원]



- 2010년 2월 : 중부대학교 한방건강 관리학과(이학사)
- 2012년 8월 : 상명대학교 감성공학과(공학석사)
- 2016년 2월 : 상명대학교 감성공학과(공학박사)
- 2016년 4월 ~ 현재 : 상명대학교 산학협력단 특임교수
- 관심분야 : 감성공학, Human Factors, 3D
- E-Mail : ini0630@naver.com

이 동 원(Lee, Dong Won) [정회원]



- 2014년 2월 : 상명대학교 디지털미디어학과(이학사)
- 2016년 2월 : 상명대학교 감성공학과(공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 감성공학과(박사과정)
- 관심분야 : 감성공학, HCI, UX
- E-Mail : ssmn4@naver.com

문 성 철(Mun, Sungchul) [정회원]



- 2005년 8월 : 한성대학교 산업공학과(공학사)
- 2012년 2월 : 상명대학교 감성공학과(공학석사)
- 2015년 2월 : 한국과학기술연구원 (UST) HCI & Robotics(공학박사)
- 2007년 5월 ~ 2009년 12월 : Technical Translator
- 2015년 3월 ~ 2016년 11월 : 한국과학기술연구원 국가기반기술연구본부 박사후연구원
- 2016년 12월 ~ 2017년 6월 : 골프존뉴던그룹 전략사업실 책임연구원
- 2017년 7월 ~ 현재 : CJ Hello Future Engine Lab. 부장
- 관심분야 : VR/AR, AI, Human Factors, HCI, NUX
- E-Mail : anstjdcjf33@naver.com

황 민 철(Whang, Mincheol) [정회원]



- 1983년 2월 : 인천대학교 의공학과(공학사)
- 1990년 2월 : Georgia Institute of Technology대학교 대학원 의공학(공학석사)
- 1994년 2월 : Georgia Institute of Technology대학교 대학원 의공학(공학박사)
- 1998년 ~ 현재 : 상명대학교 휴먼지능정보공과 교수
- 관심분야 : 감성공학, HCI, Human Factors, BCI
- E-Mail : whang@smu.ac.kr