

## 시지각 훈련이 사이버 멀미에 대한 융복합적 효과

조형철<sup>1</sup>, 노효련<sup>2</sup>, 이희제<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 대학원 의학과 박사과정, <sup>2</sup>강원대학교 물리치료학과 교수, <sup>3</sup>강원대학교 의학전문대학원 약리학교실 교수

## The Effect of Convergence Vision Therapy on VR Cybersickness

Hyung-Chel Cho<sup>1</sup>, Hyo-Lyun Ro<sup>2</sup>, HeeJae Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Doctoral Course, Department of Medicine, Graduate School, Kangwon National University

<sup>2</sup>Professor, Department of Physical-therapy, Kangwon National University

<sup>3</sup>Professor, Department of Pharmacology, School of Medicine, Kangwon National University

**요약** 본 논문은 사이버 멀미 증상과 시각 기능과의 관련성을 알아보고 시지각훈련이 사이버 멀미의 증상을 감소시키는 효과가 있는지 알아보고자 하였다. 연구 대상자는 건강한 성인 남성으로, 15분 동안 동일한 가상 현실 프로그램 체험하도록 한 이후, VR 만족도 점수와 사이버 멀미 수준에 따라 편안한 가상현실 프로그램 시청자 그룹(CVR 20명)과 불편한 가상현실 프로그램 시청자 그룹(UVR 20명)으로 분류하였다. 모든 대상자에게 시각기능 검사를 실시하였고 UVR 그룹에게 시지각 훈련 프로그램을 주 1회 40분 12회 적용한 후 시각 기능과 SSQ 설문지를 재평가하였다. 복시를 가진 대상자는 UVR 그룹에서 55%, CVR 그룹에서 5%로 나타나서 UVR 그룹에서 월등히 높았으며, 두 그룹간의 입체시, 외사위, 폭주근점( $p < .01$ ) 및 버전스 기능( $p < .001$ )은 차이가 나타났다. 시지각 훈련 후 UVR 사용자 그룹의 SSQ, 입체시, 폭주 근점, 버전스 기능의 변화가 긍정적으로 변화하였다( $p < .01$ ). 따라서, 사이버 멀미 증상은 시각기능과 관련이 있으며, 시지각 프로그램은 사이버 멀미 증상을 완화시키는 방법으로 사용될 수 있을 것으로 보인다.

**주제어** : 융합, 가상현실 프로그램, 감각 융합, 사이버 멀미, 시지각 훈련

**Abstract** The purpose of this paper was to investigate the relationship between cybersickness symptoms and visual function and to determine whether visual perception training is effective in reducing symptoms of cybersickness. The study subjects were healthy adult males who experienced the same virtual reality program for 15 minutes. Afterwards, the VR satisfaction score and cybersickness level were measured and classified into a comfortable virtual reality program viewer group (CVR group, 20 people) and an uncomfortable virtual reality program viewer group (UVR group, 20 people). Visual function test was performed on all subjects, and the vision therapy training program was applied to the UVR group once a week for 40 minutes 12 times, and then the visual function and SSQ questionnaire were re-evaluated. Subjects with diplopia were 55% in the UVR group and 5% in the CVR group, which was significantly higher in the UVR group, there were differences in stereopsis, exophoria, near point convergence( $p < .01$ ) and vergence function( $p < .001$ ) between the two groups. After vision therapy, changes in SSQ, stereopsis, near point convergence, and vergence function of UVR user group were positively changed( $p < .01$ ). Therefore, cybersickness symptoms are related to visual function, it seems that the vision therapy can be used as a way to alleviate the symptoms of cybersickness.

**Key Words** : Convergence, Virtual reality program, Sensory fusion, Cybersickness, Vision therapy

\*Corresponding Author : HeeJae Lee(heejaelee@kangwon.ac.kr)

Received November 12, 2021

Accepted February 20, 2022

Revised December 7, 2021

Published February 28, 2022

## 1. 서론

가상 현실(virtual reality: VR)은 컴퓨터로 생성된 가상 환경(computer-generated virtual reality)과 환경 내에서 물리적 존재의 환상을 사용자에게 제공하는 하드웨어의 사용으로 정의하고 있다[1]. VR 시스템은 과학적 연구, 불안 장애 치료와 군대, 소방서, 비행, 의학 등의 전문적인 분야에서 광범위하게 사용되고 있고[2-5], 앞으로 일상생활의 다양한 분야에 더욱 확장되어질 것이다.

일반인들은 헤드 마운틴 디바이스(head-mounted devices: HMDs) 3D 장치를 이용하여 VR 3차원 환경을 체험하게 되는데, VR 기술을 이용한 프로그램을 체험하면서 멀미(motion sickness)와 비슷한 일련의 증상을 호소하는 경우가 있다. VR 프로그램을 체험하면서 일어나는 멀미의 하위 유형으로 시뮬레이터 멀미(simulator sickness)와 사이버 멀미(cybersickness)가 있다. 시뮬레이터 멀미는 항공기 조종, 군사 훈련 등 모의 시뮬레이터 훈련 중에 멀미 증상이 있는 것에 반해 사이버 멀미는 헤드 마운틴 디바이스 3D 장치를 이용하여 VR 3차원 환경을 체험하는 동안 발생한다. 사이버멀미의 증상으로는 불편감(discomfort), 메스꺼움(nausea), 어지럼증(vertigo), 발한(sweating), 방향감각상실(disorientation), 두통, 초점 맞추기의 어려움, 집중의 어려움, 눈의 피로 등이 있다[6]. 일반적으로 시뮬레이터 멀미는 안구운동(oculomotor) 관련 문제가 나타나며, 사이버 멀미에서는 어지럼으로 표현되는 방향감각상실(disorientation) 관련 증상이 제일 심하게 나타나며, 교통기관 등의 이용으로 발생하는 멀미의 주요 증상이 메스꺼움과 위장관계 증상으로 보고되고 있다[6].

멀미의 신경 메카니즘은 여전히 잘 이해되지 않고 있지만 현재 가장 지배적인 이론은 감각 불일치 이론(sensory conflict theory)으로 전정 시스템(vestibular system), 눈, 고유 수용 감각(proprioceptor sense)으로부터 받는 신호가 충돌될 때 멀미가 발생한다는 것이다[7]. 이러한 감각 간의 갈등과 충돌(conflict)은 전정 자극, 시각 자극, 두 자극의 조합에 의해서 시작되어진다[6]. 멀미를 설명하는 데 폭넓게 사용하는 또 다른 이론으로 자세 불안정 상황으로, 이러한 자세 불안정 상황에 어떻게 적응하고 적절하게 균형을 유지하는지 배우지 못하였을 때 멀미 증상이 생긴다는 자세 불안정성 이론(postural instability theory)이 있다[8]. 감각 불일치 이론과 자세 불안정 이론은 가장 일반적인 이론이며 또 다른 이론으로 에반홀츠(Ebenholtz)에 의해서 제시된 눈 움직임 이론

(eye movement theory)으로 신경생리학적 접근이다[9]. 눈 움직임 이론의 메카니즘은 두 개의 특정한 눈 움직임 즉 시선이동안진(optokinetic nystagmus)과 전정안구반응(vestibular ocular response)에 의해 눈 근육의 긴장을 만들어 미주신경(vagus nerve)을 자극하여 집중이 어렵고 눈의 피로와 두통과 같은 불쾌한 증상을 초래한다는 것이다[9]. 그리고 Tresman의 진화이론도 있다[10].

앞서 언급된 멀미를 설명하는 이론들을 사이버 멀미에도 적용할 수 있는데 그 중에 시각 자극 그리고 적절한 전정 혹은 고유수용 감각 피드백 간의 불일치를 설명하는 감각 불일치 이론이 사이버 멀미에 있어 가장 가능성이 높은 원인으로 볼 수 있다[11]. 시각 기능 혹은 시각 기술(visual skills)과 사이버 멀미 증상과의 관련성을 살펴보면 우선, 3차원 입체 시각 프로그램인 VR 프로그램은 시각 입력에 대한 의존성이 절대적이며 또한 사이버 멀미 설문지(simulator sickness questionnaire: SSQ)의 내용에서 두통, 눈의 피로, 초점 맞추기의 어려움, 집중하는데 어려움, 흐린 시야, 어지럼증 등의 증상은 시각 기능에 문제에서 나타나는 증상과 유사하다는 것이다[12]. 마지막으로 3차원 입체 HDTV 영상 시청으로 인한 시각적 피로(visual fatigue)와 관련한 연구에서 이미지가 해당 초점 심도(depth of focus) 범위를 넘거나, 깊이(depth)에 대한 변화를 주면 시각 피로가 증가한다는 것이다[13]. 시각에 의존도가 높은 VR 프로그램, 사이버 멀미 증상이 시각기능 문제의 증상과 유사하다는 점과 시각 기능에 문제가 있는 경우에 사이버 멀미 증상이 더욱 심하다는 위의 세 가지 측면은 사이버 멀미 증상 발생과 시각 기능 혹은 시각 기술과의 강한 관련성을 추측할 수 있다.

시각 기술(visual skill)은 양안시(binocularity), 추적(tracking), 고정(fixation), 초점 변경(focus change), 입체시(stereoacuity), 주변시(peripheral vision), 근거리 시각기능(near visual acuity), 주의집중 유지(maintaining attention), 원거리 시각기능(distance visual acuity) 등의 다양한 기능들이다[14]. 시각 기능에 장애가 있는 사람들은 두통, 간헐적 복시, 간헐적 흐림, 눈의 피로, 어지럼증, 주의집중 부족 등의 다양한 증상을 호소한다[15]. 이러한 시각 기능은 세상에 있는 모든 대상을 편안하고 안정적으로 탐색하기 위한 기초적이고 중요한 신경생리학적 기능이다.

이러한 시각 기능의 문제를 해결하기 위한 방법 중

하나로 시지각 훈련(vision therapy: VT)이 사용되어 지고 있다[16]. 시지각 훈련은 검안 치료의 일부분으로 시각적 기술과 처리 능력을 개발, 재활 및 향상시키기 위해 시각전문가가 개별적으로 처방하고 모니터링하는 일련의 신경 감각 및 신경-근(neuromuscular) 활동이며, 포괄적인 눈 검사 또는 상담 결과를 기반으로 환자의 요구 사항, 환자의 징후 및 증상을 고려하여 렌즈, 프리즘, 필터, 차폐기, 특수기구 및 컴퓨터 프로그램을 사용하여 적용한다[18]. 시지각 훈련(VT)은 기존의 시각적인 치료가 안경을 이용한 시력 교정과 안질환에 대한 안과적인 수술이 위주인 것에 비해 새로운 개념으로 시력 외에도 시지각, 지각, 신경감각 및 신경-근 활동까지 고려한 융복합적인 훈련방법이다. 그러므로 시각 기능 혹은 시각 기술과 사이버 멀미와의 관련성을 고려하여 보면 시지각 훈련을 사이버 멀미의 예방과 치료를 위하여 사용할 수 있을 것으로 보여진다.

사이버 멀미의 예방과 치료는 기존의 멀미의 예방과 치료에 사용하는 행동 요법, 적응, 약물 사용 방법과 같은 방법으로 적용할 수 있을 것이다. 최근에 소비자용 VR 헤드 마운트 3D 디스플레이의 폭발적인 증가와 더불어 VR을 이용한 매스 미디어는 크게 증가하고 있으며, 언택트 시대가 되면서 VR에 대한 활용의 범위와 사용 인구의 증가는 더욱 빨라질 것이다. 이에 비하면 VR 프로그램의 활용으로 발생할 수 있는 사이버 멀미에 대한 인식 수준은 낮고 이에 대한 예방과 치료에 대한 방안은 충분하지 않다. 그러므로 사이버 멀미의 치료를 위한 방안의 개발이 필요하다.

이에, 본 연구에서는 사이버 멀미 증상과 시각 기능과의 관련성을 살펴보고 시지각훈련이 사이버 멀미의 증상을 치료하거나 줄이는데 도움을 줄 수 있는지 확인하는데 목적이 있다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상

본 연구에서 대상자는 수도권에 소재하고 있는 시지각 센터와 연계된 안경원을 방문하는 고객 중에 안내문을 보고 참여를 희망하는 20~39세 사이의 건강한 성인 남성이었다. 연구 참여 지원자 중 가상 현실 영상을 시청하게 하고[8] 가상현실 영상을 편안하게 사용한 20명(comfortable VR: CVR)과 가상현실영상 시청이 불편

하다는 20명(uncomfortable VR: UVR)으로 총 40명을 선정하였다. 여성, 노안(presbyopia) 약시(amblyopia), 내사위(esophoria), 사시(strabismus)나 안과 질환이 있는 자, 뇌전증 병력이 있는 경우는 연구대상에서 제외하였다. 대상자에서 여성을 제외한 것은 남성보다 여성이 VR 사이버 멀미 증상이 더 많이 나타난다는 선행 연구를 참조하여 성별에 따른 영향을 받지 않도록 하기 위함이었다[17,18]. 본 연구는 강원대학교 IRB의 승인(번호 2020-03-008)을 받았으며, 이에 근거하여 연구 대상자들에게 본 연구의 목적과 연구 방법을 설명하고, 자발적으로 동의하는 경우에 한해서 연구에 참여하였다. 연구 도중 언제든지 그만둘 수 있으며 이로 인한 어떠한 불이익도 없음을 설명하였다.

## 2.2 연구 그룹 분류와 연구 절차

### 2.2.1 연구 그룹 분류

연구 참여를 원하는 사람들에게 먼저 가상 현실 영상 프로그램을 체험하도록 한 이후 사이버 멀미 수준을 측정하였다. Gear VR, 모델 SM-R325(SAMSUNG, Co, Vietnam)를 사용하여 15분 동안 동일한 가상 현실 프로그램을 체험하도록 한 이후, VR 만족도 점수(VR satisfaction score: VRSS)와 사이버 멀미 설문지(simulator sickness questionnaire: SSQ)를 이용하여 사이버 멀미 수준을 측정하였다.

VRSS는 영상 프로그램을 시청하면서 사이버 멀미 수준을 체크하는 것으로 복시(diplopia) 치료 만족도 척도[19]의 설문지를 사이버 멀미에 맞게 일부 수정하여 사용하였으며 그 내용은 Table 1과 같다. VRSS는 4점 척도로 점수가 높을수록 사이버 멀미 수준이 심한 것으로 판단한다. 본 연구에서는 1, 2점을 획득한 대상자는 편안한 VR 사용(comfortable VR: CVR) 그룹으로 3, 4점을 획득한 대상자는 불편한 VR 사용(uncomfortable VR: UVR) 그룹으로 선정하고 각 그룹당 20명씩 배정하였다.

Table 1. VR satisfaction score

1	I feel comfortable all the time/I don't feel dizzy or uncomfortable.
2	I feel dizzy and uncomfortable for a little while.
3	I often feel dizzy and uncomfortable.
4	I always feel dizzy and uncomfortable.

## 2.2.2 연구 절차

CVR 그룹과 UVR 그룹으로 분류한 후 대상자 모두에게 Kennedy et al.[20]에 의해 개발된 SSQ(simulator sickness questionnaire)와 시각 기능 검사(binocular vision functions: VFT) 검사를 수행하였다. SSQ는 16개 증상에 대한 설문으로 구성되어 있으며 각 4점 척도로 점수가 높을수록 사이버 멀미 수준이 심한 것으로 판단한다. 설문의 내용은 크게 방향감각상실(disorientation: D), 안구 운동 관련(oculomotor: O), 구역(nausea: N)의 세 카테고리로 나뉜다. 설문에 포함된 총 16개의 증상을 각각 0점(증상 없음)부터 3점(매우 심함)의 4단계 중 한 가지로 점수를 매기고 증상 카테고리별로 합산한 후 가중치를 주어 총점을 계산해 낸다[6].

VFT를 검사하기 위하여 VR 착용 전 모든 대상자에게 교정시력(corrected visual acuity) 기준으로 오른쪽 눈과 왼쪽 눈 모두 시력이 동등하게 1.0이 나온 조건에서 착용하도록 하여 시력 차이로 인한 영향을 최소화하였다. VFT는 근거리에서 수행하였으며 감각 융합 검사(sensory fusion), 사위 검사(phoria), 버전스 검사(vergence: NRC/PRC), 입체시 검사(stereo-acuity), 폭주 근점(near point convergence: NPC) 검사, 조절 기능(accommodation) 검사가 포함되었다. VFT에 사용하는 측정 장치 및 도구는 VISUSSCREEN 500(Carl Ziss Inc, Germany), Worth 4 Dot(Bernel Inc, USA), Prism Bar(Bernel Inc, USA), Polaroid glasses device(Carl Ziss Inc, Germany), 편광안경(Bernel Inc, USA), Howell phoria card(Cyclopean

Design Inc, made in Australia), Titmus fly(Stereo Optical co, Inc USA)이다.

VFT에서 가림 검사(cover test)를 제외하고는 모든 사위 검사는 양 눈의 융합을 제거한 상태에서 검사하는 자각식 검사 방법이며, 임상 장면에서는 주로 프리즘을 이용하여 상을 분리시켜 복시를 만드는 방식으로 사위 측정을 하는데 본 연구에서 사위 검사를 위해 하엘 사위 카드로 근거리(40cm)에서 검사를 수행했으며, 사위 측정은 오른쪽 눈에 수직 8~10 프리즘을 두꺼운 쪽이 위로 향하도록 하면 화살표가 위-아래로 분리가 되는데 위쪽 화살표가 가리키는 위치가 노란색을 가리키면 외사위(exophoria), 파란색을 가리키면 내사위(esophoria)를 뜻하고 가리키는 숫자로 사위의 양을 측정하였다.

## 2.3 시지각 훈련의 과정과 방법

UVR 그룹에게 시지각 훈련(vision therapy)을 수행하였으며, 종료 후 시각 기능과 SSQ 설문지를 재평가하였다.

시지각 훈련 프로그램은 주 1회 40분 12회로 구성되었으며, 시지각 훈련 전문가와 1:1의 조용한 치료실에서 진행하였다. 시지각 훈련 프로그램은 Table. 2와 같이 외안근 근력 강화운동(EMRT), 억제훈련(ST), 양안 융합 강화훈련(BFT), 양안 버전스 강화훈련(BVT), 안구추적 강화훈련(ETRT)을 적용하였다. 이러한 훈련프로그램은 Table 3과 같이 도입단계, 연습 단계, 최종 단계마다 훈련 프로그램의 내용을 다르게 구성하였다. 대상자의 검안학적 시각 기능 문제가 다르기 때문에 단계별 훈련 순서는 연구 대상자에 맞추어 진행되었다.

Table 2. Vision therapy program

Vision Therapy program	Application time(min)	Objective
EMRT	5~10	Strengthen the extraocular muscles, which are the muscles around the eyeball.
BFT	5	To enhance binocular fusion ability so that both eyes can blend together in the brain
ST: Brock-string training	10~20	It is a very effective training that reduces the phenomenon of suppression of visual information in one eye due to the efficiency problem of binocular vision and strengthens the ability to use both eyes together.
FVT - Step vergence training	10	The balance of the power of vergence is very important in order to observe objects or objects accurately and stably. Therefore, the purpose is to strengthen the normal vergence quantity, that is, the power of NRC and PRC, based on the normal expected value at a short distance.
ETRT	10	It aims to enhance the ability to follow moving objects naturally and accurately with both eyes.

EMRT:Extraocular muscle reinforcement training, BFT:Binocular fusion stimulus training, ST:Suppression therapy, FVT:Fusional vergence training, ETRT:Eye tracking reinforcement training

Table 3. Vision therapy training program progress

Session	Stages	Training program
1~2 times	Introduction stages	ST, EMRT
2~3 times	Practice stages	BFT, ST, EMRT
4~5 times		BVT, ST BFT, EMRT
6~7 times		BVT, ST, ETRT, EMRT
8~9 times		BVT, ST BFT, ETRT
10~12 times	Final stages	BVT, BFT, ETRT

2.4 자료 분석

수집된 자료는 IBM SPSS statistics ver 27.0 프로그램을 사용하여 분석하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 기술통계 분석을 수행하였다. 그룹 간 복시 빈도의 차이는  $\chi^2$  분석을 실시하였다. CVR과 UVR 그룹 간의 비교는 비모수 검정인 Mann-whitney U 검정을 수행하였고, 시지각 훈련 전후에 대한 비교분석은 Wilcoxon signed-rank 검정을 수행하였다.

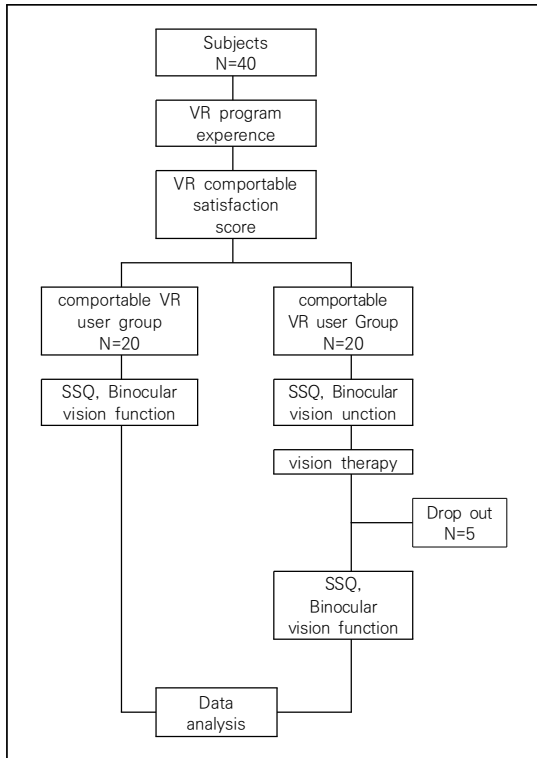


Fig. 1. Study flow

3. 결과

3.1 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자의 일반적 특성은 Table 4와 같다. VR 만족도 점수로 편안한 VR 사용자 그룹(CVR)과 어지러움 증상이 있는 불편한 VR 사용자 그룹(UVR) 각각 20명으로 나누어져 있다. CVR 그룹의 평균 연령은  $26.90 \pm 5.35$ 세이었고, UVR 그룹의 평균 연령은  $27.50 \pm 3.95$ 세로 차이가 없었다. VR 만족도 평균 점수는 CVR 그룹에서는  $3.45 \pm 0.51$ 점, UVR 그룹에서는  $1.65 \pm 0.47$ 점으로 나타났고, SSQ 평균 점수는 CVR 그룹에서는  $2.95 \pm 3.19$ 점, UVR 그룹에서는  $17.9 \pm 8.31$ 점으로 통계학적으로 유의하게 나타났다( $p < .001$ ).

Table 4. General characters of subject

Variables	CVR	UVR
N	20	20
Age <sup>§</sup>	$26.9 \pm 5.35$	$26.7 \pm 4.08$
VRSS <sup>§</sup>	$3.45 \pm 0.51$	$1.65 \pm 0.49^{***}$
SSQ <sup>§</sup>	$2.95 \pm 3.19$	$17.9 \pm 8.31^{***}$

CVR: Comfortable VR group, UVR: uncomfortable VR group, VRSS: VR satisfaction score, SSQ: The simulator sickness questionnaire, SD: Standard deviation, <sup>§</sup>Mean $\pm$ SD, \*\*\* $p < .001$

3.2 CVR 그룹과 UVR 그룹의 감각 융합

CVR 그룹과 UVR 그룹의 감각 융합 정도를 알아본 결과는 Table 5와 같다. CVR 그룹에서 복시를 가지고 있는 경우는 1명(5.0%)이었고 UVR 그룹은 11명(55.0%)으로 나타나서 UVR 그룹에서 복시를 가진 대상자가 월등히 높은 것으로 나타났다( $p < .001$ ).

Table 5. Sensory fusion of CVR and UVR n(%)

	Sensory-fusion	Diplopia	$\chi^2$	p
CVR	19(95.0)	1(5.0)	11.905	.001
UVR	9(45.0)	11(55.0)		
Total	28(70.0)	12(30.0)		

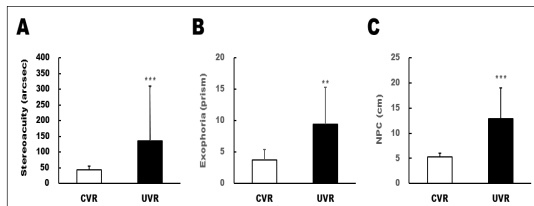
CVR: Comfortable VR group, UVR: Uncomfortable VR group

3.3 CVR 그룹과 UVR 그룹의 입체시, 외사위, 폭주근점

CVR 그룹과 UVR 그룹의 입체시, 외사위, 폭주근점에 대한 검사 결과는 Fig. 2와 같다. 입체시 기능은 Fig. 2A와 같이 CVR 그룹의 평균 입체시(근거리)는  $44.00 \pm 10.46$ (arcsec), UVR 그룹의 평균 입체시(근거리)는  $136.50 \pm 173.67$ (arcsec) 이었다.

외사위(exophoria)의 각은 Fig. 2B와 같이 CVR 그룹에서 평균  $3.75 \pm 1.68$ ( $\Delta$ ), 사이버 멀미 UVR 그룹에

서 평균  $9.45 \pm 5.90(\Delta)$ 였으며, 폭주 근점은 Fig. 2C에 나타난 바와 같이 CVR 그룹, UVR 그룹 각각 평균  $5.25 \pm 0.78(\text{cm})$ ,  $12.85 \pm 6.16(\text{cm})$ 으로 나타났다. 입체시, 외사위, 폭주 근점(NPC)에서 Fig. 2에서 보는 바와 같이 두 그룹 간에서는 통계학적으로 유의하게 차이가 나타났다( $p < .001$ ).



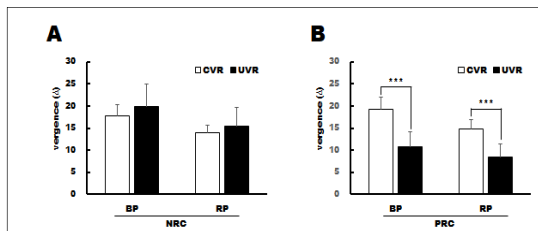
**Fig. 2. Comparison of stereoacuity, exophoria, and near point convergence in CVR group and UVR group**

CVR=Comfortable VR group, UVR=Uncomfortable VR group, NPC=near point convergence, arcsec=Seconds of ARC,  $\Delta$ =prism,  $***p < .001$

### 3.4 CVR 그룹과 사이버 멀미 UVR 그룹의 버전스 기능

CVR 그룹과 사이버 멀미 UVR 그룹 사이의 버전스 (vergence) 기능을 비교하여 Fig. 3에 제시하였다.

NRC(negative relative convergence)는 CVR 그룹이 평균 복시 점(break point)과 회복 점(recovery point)이 각각  $17.75 \pm 2.55 \Delta$ ,  $13.95 \pm 1.76 \Delta$ 이며 사이버 멀미 UVR 그룹은 평균 복시 점과 회복 점이 각각  $19.90 \pm 5.1 \Delta$ ,  $15.50 \pm 4.26 \Delta$ 로 두 그룹 사이에 통계학적으로 유의하게 나타나지 않았다. PRC(positive relative convergence)는 CVR 그룹이 평균 복시 점과 회복 점이 각각  $19.15 \pm 2.94 \Delta$ ,  $14.75 \pm 2.22 \Delta$ 이며, UVR 그룹에서는 평균 복시 점과 회복 점이 각각  $10.85 \pm 3.23 \Delta$ ,  $8.50 \pm 2.82 \Delta$ 로 두 그룹 간에서 통계학적으로 유의하게 나타났다( $p < .001$ ).



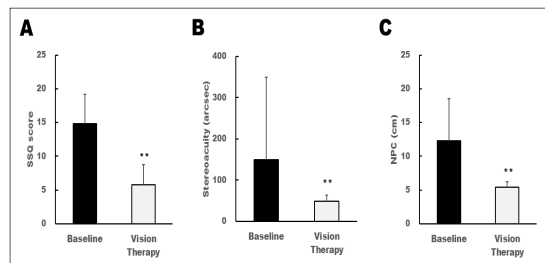
**Fig. 3. Comparison of vergence in CVR group and UVR group**

CVR=Comfortable VR group, UVR=Uncomfortable VR group, NPC=negative relative convergence, PRC= positive relative convergence, BP=break point( $\Delta$ ), RP= recovery point( $\Delta$ ),  $\Delta$ =prism,  $***p < .001$

### 3.5 사이버 멀미 UVR 그룹의 시지각 훈련 전·후 비교

#### 3.5.1 시지각 훈련 후 UVR 사용자 그룹의 SSQ, 입체시, 폭주 근점의 변화

시지각 훈련 적용한 후 SSQ 점수의 변화는 Fig. 4A와 같다. 사이버 멀미 UVR 그룹에서는 SSQ 점수가  $14.90 \pm 4.29$ 에서 VT 적용 후 SSQ 점수가  $5.82 \pm 2.93$ 로 나타나서 통계학적으로 유의하게 나타났다( $p < .01$ ). 입체시 (근거리) 기능은 Fig. 4B와 같이 VT이후  $150.00 \pm 199.89(\text{arcsec})$ 에서  $48.67 \pm 14.53(\text{arcsec})$ 로 향상되어 통계학적으로 유의하게 나타났다( $p < .01$ ). VT 적용 후 폭주 근점은 Fig. 4C와 같이 사이버 멀미 UVR 그룹에서 폭주 근점(NPC)이  $12.33 \pm 6.25 \text{ cm}$ 에서  $5.40 \pm 0.83 \text{ cm}$ 로 향상되어 통계학적으로 유의하게 차이가 나타났다( $p < .01$ ).



**Fig. 4. Changes in SSQ, stereoacuity, and near point convergence in the UVR group after vision therapy**

$***p < .001$ , SSQ:The Simulator Sickness Questionnaire, UVR=Uncomfortable VR group, NPC=near point convergence, arcsec=seconds of ARC,  $\text{cm} = \Delta$ =prism.

#### 3.5.2 시지각 훈련 후 사이버 멀미 UVR 그룹의 감각 융합

UVR 그룹 20명중 VT 적용 과정 중 탈락하거나 평가를 하지 못한 인원을 제외하고 15명에 대상으로 VT 적용후 감각 융합 정도와 복시인 경우를 알아보았다. 그 결과는 Table 5와 같다.

UVR 그룹에서 VT 적용 전 감각 융합은 5명(33.3%), 복시는 11명(66.7%)이었으나 VT 적용 후 감각 융합은 14명(93.3%), 복시를 가진 대상자가 1명(6.7%)로 감소하여 통계학적으로 유의하게 나타났다( $p < .01$ ).

**Table 5. After vision therapy of sensory fusion in UVR group n(%)**

	Sensory-fusion	Diplopia	p
Baseline	5(33.3)	10(66.7)	.002
After vision therapy	14(93.3)	1(6.7)	

### 3.5.3 사이버 멀미 UVR 그룹의 시각 훈련 전·후의 버전스 기능 비교

사이버 멀미 VR 사용자 그룹에서 VT 적용 후의 버전스(vergence) 기능을 비교한 결과는 Fig. 5와 같다.

사이버 멀미 UVR 그룹의 NRC의 복시 점(break point)은  $20.50 \pm 4.92 \Delta$ 에서 VT 적용 후  $21.00 \pm 3.87 \Delta$ 로, 회복 점(recovery point)은  $15.80 \pm 4.21 \Delta$ 에서 VT 적용 후  $16.40 \pm 3.25 \Delta$ 로 통계학적으로 유의하게 나타나지 않았다. 하지만 사이버 멀미 UVR 그룹의 PRC의 복시 점이  $11.13 \pm 3.48 \Delta$ 에서 VT 이후  $20.00 \pm 3.52 \Delta$ 로 증가되었고, 회복 점은  $8.67 \pm 3.01 \Delta$ 에서 VT 적용 후  $15.73 \pm 2.91 \Delta$ 로 상승하여 통계학적으로 유의하게 차이가 나타났다( $p < .01$ ).

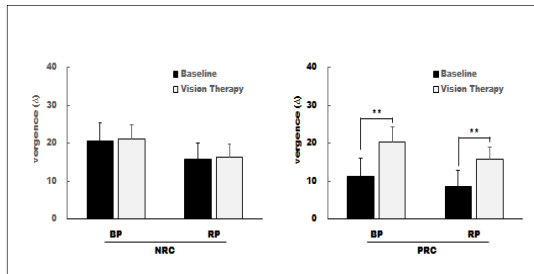


Fig. 5. Changes in vergence in the UVR group after vision therapy

\*\*\* $p < .001$ , UVR=Uncomfortable VR, NRC=negative relative convergence, PRC=positive relative convergence, BP=break point( $\Delta$ ), RP= recovery point ( $\Delta$ ),  $\Delta$ =prism

## 4. 고 찰

본 연구는 사이버 멀미 증상과 시각 기능과의 관련성을 살펴보고 시각훈련이 사이버 멀미의 증상을 치료하거나 줄이는데 도움을 줄 수 있는지 알아보려고 하였다.

VR 사용의 확장은 교육 매체의 활용으로 이어지고 있는데, 학생들은 선택이 아닌 필수적인 상황으로 VR을 체험하게 될 가능성이 높다. 사이버 멀미로 인한 어려움을 가진 학생들에게 이러한 교육 환경은 새로운 위협으로 다가올 수 있다. 사이버 멀미 증상이 VR 체험을 반복하면서 증상이 줄어드는 보고가 있지만[21], VR 체험을 반복하여 사이버 멀미 증상을 완화시키는 것은 적절한 방법은 아니며, 약물 처방의 효능에 대한 연구가 부족하다. 사이버 멀미의 증상을 줄이기 위한 시도와 연구[22-24]가 이루어지고 있지만 원인과 치료 방법이 명확하지 않다.

본 연구에서 UVR 그룹에서 VR 만족도가 낮았고 사

이ber 멀미 정도는 심한 것으로 나타났다. 시각 기능에서 UVR 그룹에서 복시를 가지고 있는 경우가 55.0%로 나타났다. 입체시(stereo-acuity), 외사위(exophoria), 폭주 근점(NPC), 버전스 기능에서 두 그룹 간에서 유의하게 차이가 나타났다( $p < .001$ ). UVR 그룹이 입체시의 정상 범위를 벗어나고 있었다. 입체시(stereo vision)는 오른쪽 그리고 왼쪽 눈에서 보이는 물체의 이미지 간의 양안 시차(binocular disparity)를 바탕으로 얻어진 3차원 깊이 지각이며, 물체 사이의 정확한 거리판단을 할 수 있도록 도움을 주는 중요한 양안 시각 기능이다[25]. 입체시는 VR 혹은 3D 영화를 볼 때 경험하는 깊이 지각(depth perception) 감각을 제공하며[26] 다른 깊이 단서와 함께 작용하여 깊이와 모양의 지각을 파악하는데 영향을 미친다[27, 28]. 외사위(exophoria)와 사이버 멀미에 관한 측면에서 UVR 그룹의 평균 외사위 양은 CVR 그룹의 평균 외사위 양보다 높게 나왔는데, 근거리 사위 양의 적정 기댓값 수준보다 UVR 그룹의 평균 외사위 양이 높은 것이었다. 과도한 외사위는 감각 융합에 스트레스를 주게 되며 또한 과도한 외사위를 가지고 있으면서 버전스의 PRC가 낮다면 부족한 PRC의 보상을 위해 조절(accommodation)이 과도하게 작용할 가능성이 높다. 이러한 조절과다(accommodative excess)는 흐린 시야(blurred vision), 안정피로(asthenopia), 안통(ocular pain), 두통, 복시, 위장장애(gastric disturbance), 구토 증상을 유발한다[29]. 즉, 과도한 조절이 작용하면 이는 곧 자율신경계에 영향을 미치는 것이기 때문에 이러한 부분이 마스크움으로 나타날 수 있고 사이버 멀미 증상이 발생할 수 있다.

CVR 그룹과 사이버 멀미 UVR 그룹 사이의 버전스(vergence) 기능과 관련하여 버전스의 NRC는 두 그룹 사이에 차이가 나타나지 않았으며, PRC는 두 그룹 간에서 차이가 나타났다( $p < .001$ ). UVR 그룹에서 버전스의 PRC가 CVR 그룹보다 낮게 나타났는데, UVR 그룹의 PRC는 정상 기댓값 기준에서 많이 벗어난 것이다. 낮은 PRC는 VR 환경 내에 존재하는 다양한 흥미 물체나 대상에 주시(fixation)를 못하게 하여 집중력을 흐트러지게 만들 수 있고, 또한 낮은 PRC는 조절(accommodation)을 과도하게 작용하도록 만들어 자율신경계에 영향을 주게 되고 이로 인해 사이버 멀미 증상의 하나인 마스크움 나타날 가능성이 있다[29]. 버전스(vergence)는 이항운동 움직임이라 부르며 수평, 수직, 회선 융합성 움직임

(fusional movement)을 포함한다[30]. 버전스는 눈이 서로 반대 방향으로 움직이는 것으로 다양한 거리에 있는 타깃을 양안 중심과 주시(bifoveal fixation)를 유지하는데 매우 중요한 기능이다[30]. VR 콘텐츠 환경 내 흥미 물체나 대상에 양 눈이 효율적으로 정확히 오랜 시간 주시(fixation)하기 위해서 사위 양과 더불어 버전스의 힘의 균형이 적절히 맞아야 한다[31].

본 연구에서 시지각 훈련을 적용한 후 사이버 멀미 UVR 그룹에서는 사이버 멀미가 줄어든 것으로 나타났다( $p < .001$ ). Preciado et al.[32]은 시각 훈련(visual training)이 사이버 멀미를 감소시킨다고 하여 본 연구와 유사한 보고를 하였다. 본 연구에서 시지각 훈련 적용 후 사이버 멀미 UVR 그룹에서 감각융합은 14명(93.3%), 복시를 가진 대상자가 55%에서 6.7%로 감소하였다( $p < .05$ ). 더욱이, 시지각 훈련 적용 후 사이버 멀미 UVR 그룹의 입체시 기능이 향상되었고, 폭주 근점(NPC)이 가까워지면서 시각 기능이 향상된 것으로 나타났다( $p < .05$ ). 입체시(근거리)에서 시지각 훈련 중재 전에 평균 입체시가  $150 \pm 199$  arcsec였으나 시지각 훈련을 받은 이후에  $48.67 \pm 14.53$  arcsec으로 향상되었다. 이러한 연구 결과는 시지각 훈련 이후에 입체시의 의미 있는 향상이 있었다는 여러 연구와도 일치한다[33, 34]. 입체시는 양안 시차(binocular disparity)로 얻어진 정보에 의한 3차원 깊이 지각이다. Cumming과 Parker[35]는 입체시 기능은 뇌의 일차 시각 피질(primary visual cortex)에서 시작하지만 기능을 완전하게 성취하기 위해서는 시각 피질의 다른 영역에서의 신경망이 연결되어야 한다고 하여 입체시의 기능이 뇌의 문제와 깊게 관련되었음을 시사한다.

사이버 멀미 UVR 그룹의 NRC의 복시 점(break point)은 시지각 훈련 적용 후 차이가 나타나지 않았으나 PRC의 복시 점은 상승하였다( $p < .001$ ). 본 연구에서는 CVR 그룹이 UVR 그룹보다 감각 융합 능력이 더 좋은 것으로 나타났다. CVR 그룹은 95%에서 융합이 되었고, UVR 그룹은 45%만이 융합이 되고 나머지는 복시(diplopia) 증상이 있었다. 감각 융합(sensory fusion)은 두 눈으로 들어온 이미지를 융합하여 양안 단일시(binocular single vision)를 가능하게 하는 대뇌의 기능으로[38] 감각 융합이 되기 위해서는 이미지가 망막 지역에 대응이 되어야 할 뿐만 아니라 충분히 크기, 선명함이 비슷해야 한다[33]. 대뇌에는 양 눈으로 오는 자

극을 수렴하는 첫 번째 단계에서 양안 피질 세포(binocular cortex cell)가 관여하기 때문에[36] 융합 처리 과정에 문제가 있으면 그 처리 영역에 관여하는 양안 피질 세포의 기능도 퇴화시킬 것이다. 시지각 훈련을 받기 전에 33.3%만이 감각 융합 능력을 가졌지만 시지각 훈련을 받은 후에 93.3%를 달성했다. 이러한 연구 결과는 시지각 훈련이 감각 융합 기능을 증진시킨다는 연구 결과[37]와 유사하며 최근의 Cho의 연구[33]와 Cho & Ro의 연구[34]에서도 비슷한 결과를 보고 하였다.

가상현실은 등장부터 큰 문제, 즉 메스꺼움, 위장 인식 등의 불편함에 직면해 있다[6]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기계나 전자 분야부터 뇌인지 영역까지 다양한 영역의 연구가 지속되고 있으나 명확한 해결점이 제시되지 않고 있다. 본 연구는 국내에서 가상 현실의 문제 중 하나를 해결하기 위한 초창기의 시도라고 보여진다. 유사한 임상 증상을 기반으로 한 선행연구를 통한 고찰은 부족하지만 앞으로 가상 현실의 문제를 해결하기 위한 한 방법으로 활용되고 그 연구의 기초가 되길 바란다.

## 5. 결론

본 연구는 사이버 멀미 증상과 시각 기능과의 관련성을 살펴보고 시지각 훈련이 사이버 멀미의 증상을 치료하거나 줄이는데 도움을 줄 수 있는지 알아보았다.

본 연구의 결과를 종합해서 볼 때 CVR 그룹보다 사이버 멀미를 느끼는 UVR 그룹에서 감각 융합 수준, 입체시, NPC, 버전스의 PRC 기능이 떨어지는 것으로 나타나서 사이버 멀미 증상과 시각기능과 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한, 시지각 훈련을 통해 감각융합수준, 입체시, 버전스 기능이 향상되었고 사이버 멀미의 증상이 줄어들어서 사이버 멀미 증상을 완화시키는 방법으로 시지각 훈련을 적용할 수 있는 것으로 보인다.

본 연구의 제한점으로는 연구 대상자의 수가 충분하지 못해 두 그룹의 시각 기능의 특징을 해석하는데 충분하지 못하다는 것이며 남성만 대상으로 연구를 진행하였다는 것이다. 향후 연구로는 시지각 훈련 이후 시각기능의 향상이 얼마나 오랫동안 유지되는지에 대한 연구와 여성을 포함시켜 성별에 따르는 시각기능의 차이가 있는지 알아보는 연구가 후속적으로 이루어져야 하겠다.



## REFERENCES

- [1] C. Anderson-Hanley, A. L. Snyder, J. P. Nimon. & P. J. Arciero. (2011). Social facilitation in virtual reality-enhanced exercise: competitiveness moderates exercise effort of older adults. *Clin. Interv. Aging*, 6, 275-280. DOI : 10.2147/CIA.S25337
- [2] M. Gerardi, J. Cukor, J. Difede, A. Rizzo & B. O. Rothbaum. (2010). Virtual reality exposure therapy for post-traumatic stress disorder and other anxiety disorders. *Curr. Psychiatry Rep*, 12, 298-305. DOI : 10.1007/s11920-010-0128-4
- [3] M. Lukowska. (2011). Zastosowanie technologii wirtualnej rzeczywistości w psychologii. *Rocznik Kognitywistyczny*, 5, 103-108. DOI : 10.4467/20843895RK.12.012.0416
- [4] R. S. Kennedy, K. M. Stanney & W. P. Dunlap. (2000). Duration and exposure to virtual environments: sickness curves during and across sessions. *Presence*, 9, 463-472. DOI : 10.1162/105474600566952
- [5] J. D. Bric, D. C. Lumbard, M. J. Frelich & J. C. Gould. (2016). Current state of virtual reality simulation in robotic surgery training: a review. *Surg. Endosc*, 30, 2169-2178. DOI : 10.1007/s00464-015-4517-y
- [6] H. Y. Byun & C. W. Park. (2019). Introduction of Cybersickness. *Korean Otorhinolaryngol-Head Neck Surg*, 62(10), 545-53. DOI : 10.3342/kjorl-hns.2018.00759
- [7] J. E. Bos, W. Bles & E. L. Groen. (2008). A theory on visually induced motion sickness. *Displays*, 29, 47-57. DOI : 10.1016/j.displa.2007.09.002
- [8] J. E. Bos. (2011). Nuancing the relationship between motion sickness and postural stability. *Displays*, 32(4), 189-193. DOI : 10.1016/j.displa.2010.09.005
- [9] S. M. Ebenholtz. (2001). *Oculomotor Systems and Perception*. New York, NY: Cambridge University Press. DOI : 10.1017/cbo9780511529795.006
- [10] G. J. Zelinsky. (2008). A theory of eye movements during target acquisition. *Psychol Rev*, 115(4), 787-835. DOI : 10.1037/a0013118
- [11] A. M. Gavgani, F. R. Walker, D. M. Hodgson & E. Nalivaiko. (2018). A comparative study of cybersickness during exposure to virtual reality and "classic" motion sickness: are they different?. *J Appl Physiol*, 125, 1670-1680. DOI : 10.1152/jappphysiol.00338.2018
- [12] J. R. Griffin & J. D. Grisham. (2002). *Binocular Anomalies: Diagnosis and vision therapy*. (4th ed., pp. 70-100), USA: Elsevier Science.
- [13] S. Yano, M. Emoto & T. Mitsuhashi. (2004). Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images. *Displays*, 25(4), 141-150. DOI : 10.1016/j.displa.2004.09.002
- [14] Optometric Extension Program Foundation. (2000). What is visual training? <https://www.oep.org/>.
- [15] M. Scheiman & B. Wick. (2002). *Clinical management of binocular vision: Heterophoria, accommodative, and eye Movement disorders*. 2, 8-50. USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- [16] <http://www.oep.org>.
- [17] A. Stacy, S. A. Cledes & P. A. Howarth. (2005). The menstrual cycle and susceptibility to virtual simulator sickness. *Journal of Biological Rhythms*, 20(1), 71-82. DOI : 10.1177 748730404272567
- [18] G. D. Park, R. W. Allen, D. Fiorentino, T. J. Rosenthal & C. M. Look. (2006). Simulator sickness scores according to symptom susceptibility, age, and gender for an older driver assessment study. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(26), 2702-2706. DOI : 10.1037/e577802012-007
- [19] M. A. Tamhanker, Gui-shuang Ying & N. J. Volpe. (2011). Success of prisms in the management of diplopia due to fourth Nerve Palsy. *J Neuroophthalmol*, 31(3), 206-209. DOI : 10.1097/WNO.0b013e318211daa9
- [20] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum & M. G. Lilienthal. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220. DOI : 10.1207/s15327108ijap0303\_3
- [21] A. M. Gavgani, K. V. Nesbitt, K. L. Blackmore & E. Nalivaiko. (2017). Profiling subjective symptoms and autonomic changes associated with cybersickness. *Auton Neurosci*, 203, 41-50. DOI : 10.1016/j.autneu.2016.12.004
- [22] E. Chang, I. Hwang, H. Jeon, Y. Chun, H. T. Kim & C.

- Park. (2013). Effects of rest frames on cybersickness and oscillatory brain activity. *International Winter Workshop on Brain-Computer Interface (BCI)*, 62-64. DOI : 10.1109/IWW-BCI.2013.6506631
- [23] J. Y. Jung, K. S. Cho, J. H. Choi & J. H. Choi. (2017). Causes of cyber sickness of VR contents: An experimental Study on the view point and movement. *The Journal of the Korea Contents Association*, 17(4), 201-206. DOI : 10.5392/JKCA.2017.17.04.200
- [24] J. K. Yoon & S. I. Kim. (2019). A Study on the cyber motion sickness of VR content-focused on content environment. *Journal of the Korea Convergence Society*, 10(3), 135-140. DOI : 10.15207/JKCS.2019.10.3.135
- [25] J. C. A. Read. (2015). Stereo vision and strabismus. *Eye*, 29(2), 214-224. DOI : 10.1038/eye.2014.279
- [26] D. M. Levi, D. C. Knill & D. Bavelier. (2015). Stereopsis and amblyopia: A mini-review. *Vision Res*, 114, 17-30. DOI : 10.1016/j.visres.2015.01.002
- [27] J. M. Hillis, S. J. Watt, M. S. Landy & M. S. Banks. (2004). Slant from texture and disparity cues: Optimal cuecombination. *Journal of Vision*, 4(12), 967-992. DOI : 10.1167/4.12.1
- [28] P. G. Lovell, M. Bloj & J. M. Harris. (2012). Optimal integration of shading and binocular disparity for depth perception. *Journal of Vision*, 12(1), 1. DOI : 10.1167/12.1.1
- [29] S. R. Kim, H. Kwak, M. S. Kang, S. I. Kim. & M. J. Park. (2017). The Changes in convergence function of accommodative anomalies in their twenties after watching video on a smartphone. *J Korean Ophthalmic Opt Soc*. 22(2), 133-142. DOI : 10.14479/jkoos.2017.22.2.133
- [30] W. J. Benjamin. (2006). Borish's Clinical Refraction. (2th edi., pp. 145-915), USA: Butterworth-Heinemans, an imprint of Elsevier Inc.
- [31] J. R. Griffin & J. D. Grisham. (2002). Binocular Anomalies: Diagnosis and vision therapy. (4th edi., pp. 40-49, USA: Elsevier Science.
- [32] C. Preciado, M. J. Starrett & A. D. Ekstrom. (2021). Assessment of a short, focused training to reduce symptoms of cybersickness. *Virtual and Augmented Reality*, 27(4), 361-377. DOI : 10.31234/osf.io/dwz37
- [33] H. C. Cho (2018). *The Recovery of Stereo vision through Vision Therapy for strabismus patients with and without strabismus Surgeries*. Kangwon national university, Master thesis.
- [34] H. C. Cho. & H. L. Ro. (2020). The Effect of convergence vision therapy on symptoms and visual perception in children with ADHD tendency. *Korea convergence society*, 11(7), 59-71. DOI : 10.15207/JKCS.2020.11.7.059
- [35] B. G. Cumming & A. J. Parker. (2000). Local disparity not perceived depth is signalled by binocular neurons in cortical area V1 of the macaque. *Journal of Neuroscience*, 20, 4758-4767. DOI : 10.1523/JNEUROSCI.20-12-04758.2000
- [36] K. W. Wright. (2003). Binocular vision and introduction to strabismus. In: Wright KW, eds. pediatric ophthalmology and strabismus. (2nd edi., chap. 9), New York: Springer-Verlag. DOI : 10.1007/978-0-387-21753-6\_9
- [37] H. S. Shin. (2009). Relationship between vergence facility and fusional vergence. *J. Korean Oph. Opt. Soc*, 14(3), 37-42.

조 형 철(Hyung-chel Cho) [정회원]



- 2018년 2월 : 강원대학교 응급의료 재활학과 (이학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 의학과 박사과정
- 2003년 5월 ~ 현재 : 한국시지각센터 원장

- 관심분야 : Brain Cognition, Visual Physiology, Vision Therapy
- E-Mail : id2166@hanmail.net

노 효 련(Hyo-Lyun Roh) [정회원]



- 2001년 8월 : 대구대학교 재활학과 (이학석사)
- 2006년 2월 : 대구대학교 물리치료학과 (이학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 물리치료학과 교수

- 관심분야 : 소아물리치료, 신경계 물리치료
- E-Mail : bustryagain@naver.com

이 희 제(HeeJae Lee) [정회원]



- 2004년 2월 : 경희대학교 의학과(의학 박사)
- 2006년 3월 : 일본 큐슈대학교 JSPS RONPAKU 프로그램 시스템 생물학 전공(이학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 의학과 교수

- 관심분야 : 신경정신약리, 생약, 의학교육
- E-Mail : heejaelee@kangwon.ac.kr