

# 눈 움직임에 이용한 밝기와 시청거리에 따른 3D 콘텐츠 피로도 분석

김용우<sup>†</sup>, 강행봉<sup>††</sup>

## Eye Movement-based Visual Discomfort Analysis from Watching Stereoscopic 3D Contents Regarding Brightness and Viewing Distance

Yong-Woo Kim<sup>†</sup>, Hang-Bong Kang<sup>††</sup>

### ABSTRACT

When watching 3D contents, people often experience various visual discomforts like tiredness, dryness, headaches, and dizziness. Previous researches on visual discomfort analyzed and concluded vergence-accommodation conflict, viewing distance, and brightness changes to be the causes of visual discomfort. Yet it is necessary to systematically analyze the visual discomfort due to the changes in object, background brightness and viewing distance. In this paper, we produce four videos that have four different background brightness and two different viewing distances to solve analyze the visual discomfort from watching 3D contents. We measure and analyze eye-blink and saccadic movement, saccadic latency, Nearest Point of Convergence (NPC), and participant survey for amore accurate result compared to previous researches. Our results show that the eye-blink rate and saccadic latency increase when the background is bright and viewing distance is close while the saccadic movement decreases in the same environment. However, NPC only changes when the background brightness changes. We confirm that the bright background and near viewing distance create greater visual discomfort and decrease depth perception abilities.

**Key words:** Visual Discomfort, Brightness, Viewing Distance, Eye Movement, Near Point Of Convergence

### 1. 서 론

많은 사람들이 3D 콘텐츠를 시청할 때 피곤함과 건조, 두통, 어지러움, 이증상, 흐릿함 등을 호소한다 [1]. 양안시차가 이러한 불편함을 유발하는 가장 큰 원인으로 양안시차로 인한 수렴-조절불일치, 영상의 움직임, 왜곡 등이 발생하여 불편함을 유발한다. 수렴-조절불일치란, 폭주와 조절을 수행한 위치가 다르기 때문에 발생하는 것으로 폭주는 3D 콘텐츠

에서 두 개의 영상을 하나로 합치는 과정이고 조절은 눈의 초점 이동이다[2-11]. 양안시차는 영상의 움직임에 따라서 변화하여 지속적인 눈의 움직임을 발생시키기 때문에 시각적 불편함을 유발하고 영상의 움직임으로 발생한 왜곡 또한 시각적 불편함을 유발하는데 영상이 왜곡되어있으면 좌우 눈에서 받아들이는 이미지가 다르기 때문이다[12-14].

수렴-조절불일치 이외에 시각적 불편함을 유발하는 요인으로는 시청거리와 밝기가 있다. 영상의

\* Corresponding Author : Hang-Bong Kang, Address: (420-743) Dept of Digital Media, Catholic Univ. of Korea, 43-1 Yeogok 2-dong, Bucheon-si, Gyeonggi-do, Korea, TEL : +82-2-2164-4598, E-mail : hbkang@catholic.ac.kr  
Receipt date : Mar. 24, 2016, Revision date : Aug. 5, 2016  
Approval date : Aug. 22, 2016

<sup>†</sup> Dept. of Media Engineering., Catholic University of Korea (E-mail : kyw93@catholic.ac.kr)

<sup>††</sup> Dept. of Media Engineering., Catholic University of Korea

\* This work was supported by the Catholic University of Korea, Research Fund, 2016.

시청거리에 따라서 발생하는 시각적 불편함에 대한 연구가 진행되었고, 시청거리에 따른 불편함의 원인은 시청거리에 따라서 폭주와 조절을 수행한 위치가 달라지기 때문이다[6-11]. 시청거리와 시각적 불편함 사이의 관계에 대한 연구로는 특정 범위를 지정한 연구와 상대적인 거리를 이용한 연구가 있다. 특정 범위를 지정한 연구 결과로서 권장 시청거리보다 가까운 곳에서 시청하면 더 큰 시각적 불편함을 유발하고, 모니터 높이의 3배부터 4배 사이의 거리에서 시청할 때 시청자가 느끼는 시각적 불편함을 최소화 한다[6-7]. 상대적인 거리에 따른 연구 결과에 따르면 가까운 시청거리와 긴 시청시간이 시각적 불편함에 많은 영향을 미친다[8-9]. 시청거리가 증가하면 편안하게 시청할 수 있는 양안시차의 범위가 넓어지고, 폭주와 조절을 수행하기 위한 눈 움직임이 작아져서 더 큰 양안시차를 가지는 영상을 시청할 수 있다[10]. 시청거리에 대한 기존의 연구들은 눈 깜박임, CFF(Critical Flicker Frequency) 및 ATMT(Advanced Trail Making Test)를 이용하였는데, 눈 깜박임보다 비약운동의 지연시간이 피로도 측정에 더 정확하다는 것을 발견하였다[11]. CFF와 ATMT는 영상을 시청하는 동안 눈의 변화를 측정하는 것이 아닌 영상 시청 전후에 진행되는 것으로 눈의 피로와 건조와 같은 이유보다는 어지러움, 두통, 몽롱한 느낌으로 인한 시각적 불편함과 관련이 있기 때문이다.

3D 콘텐츠 제작자들은 밝은 밝기가 3D 콘텐츠 제작에 있어서 중요한 요소라는 것을 발견하였다[15]. 영상의 밝기에 영향을 미치는 콘트라스트, 즉 채도와 명도의 대비는 깊이 인지 능력에 영향을 미치고 전체적인 밝기 변화와 오브젝트의 밝기 변화는 깊이 인지 능력과 관련이 있다[16-18]. 밝기 변화에 대한 기존의 연구들은 영상 전체의 밝기와 오브젝트의 밝기 변화, 시청 환경의 밝기에 따른 깊이 인지와 피로도에 관해 수행되었는데, 시청자는 시청환경과 영상의 밝기가 모두 밝을 때 더 큰 시각적 불편함을 인지하는 결과를 얻었다[18-20].

밝기에 대한 연구는 영상의 전체적인 밝기 변화 혹은 오브젝트의 밝기 변화와 관련하여 진행되어왔지만, 영상에서 오브젝트를 제외한 배경의 밝기도 피로도에 중요한 영향을 미치기 때문에 영상의 배경 밝기가 변화할 때 발생하는 시각적 불편함을 측정하

는 것이 바람직하다. 밝기와 시청거리에 따른 시각적 불편함을 측정된 기존연구에서는 깜박임과 CFF, ATMT를 사용하였으나 정확한 시각적 불편함 측정에 적합하지 않기 때문에 좀 더 정확한 방법을 이용한 시각적 불편함 측정이 필요하다.

본 논문에서는 객체와 배경의 밝기 및 시청거리를 변화시켜서 영상을 시청하는 동안 눈 깜박임과 비약운동의 횟수, 비약운동의 지연시간을 측정하고, 폭주근점 측정 및 설문을 통해서 피로도를 분석한다. 눈 깜박임은 눈을 감았다가 떴을 때 발생하며, 비약운동은 두 눈이 동시에 같은 방향으로 빠르게 움직일 때를 의미한다. 비약운동의 지연시간은 비약운동 자극이 주어진 시점으로부터 비약운동이 발생하기까지의 시간을 의미하고, 폭주근점은 피험자가 한 점을 응시하도록 하였을 때 정상적으로 응시할 수 있는 최단거리를 의미한다.

본 논문은 총 5장으로 구성되어 있다. 2장은 관련 연구로 기존 시각적 불편함을 줄이기 위해 진행한 연구들을 분석하였고 3장은 본 논문의 실험 방법으로 사용 영상과 측정 요소, 실험 과정에 대하여 기술하였다. 4장은 실험의 결과에 대하여 작성하였고 5장은 결론이다.

## 2. 관련연구

3D 콘텐츠를 시청할 때 많은 사람들이 시각적 불편함을 인지하기 때문에 불편함을 줄이기 위한 연구가 다양한 방법으로 진행되어 왔다. M. Emoto et al.[5]은 3D TV에서 시각적 불편함을 평가하기 위해 3D TV에서 불편함을 평가하고 2D TV와 비교하는 실험을 진행하였고 3D TV가 더 큰 시각적 불편함을 유발하는 것을 발견하였다. Y. Nojiri et al.[4]은 HDTV 프로그램을 시청한 후의 시청자가 경험하는 시각적 불편함에 대한 실험을 진행하였고, 수렴-조절불일치가 불편함을 발생시키는 주요 요인이라는 것을 발견하였다. S. Lee et al.[3]은 입체영상에서 오브젝트의 속도와 방향에 대한 연구를 통해 시각적으로 편안한 모델을 도출하였다. M. Lambooij et al.[12]은 3D 깊이의 빠른 변화와 부자연스러운 흐릿함이 시각적 불편함의 원인이라고 분석하였다. J. Li et al.[13-14]은 전경과 배경의 상대적인 속도 차이는 시각적 불편함을 유발할 수 있는 주된 요인이라고 주장하였고, 주관적인 인식과 높은 상관관계를

보여주는 움직임의 종류에 의한 시각적인 불편함을 비교하는 모델을 제안하였다.

F. Kooi와 A. Toet[21]은 양안시차를 이용해 깊이를 인지하는 영상을 시청할 때 시청거리에 따라서 3D 깊이의 인지 위치가 달라진다는 것을 발견하였다. 안구가 수렴을 수행할 때는 지각된 거리에 따라서 깊이를 인지하므로, 시청거리에 따라서 영상의 깊이가 커지거나 작아질 수 있다. D. Han과 H. Kang [22]은 3D 깊이를 측정할 수 있는 기구를 제작하여 오브젝트의 돌출거리를 측정하였다. J. Kim과 H. Kang [23]은 시각적 불편함을 줄이는 3D 콘텐츠의 제작 방법을 제시하였다. 3D Consortium [24]은 시청거리의 변화로 인해 과도한 양안시차가 유발된다면 시각적 불편함을 유발할 수 있다는 것을 발견하였다. T. Shibata et al.[10]은 세 가지 시청거리를 지정하여, 시청자의 상태를 분석하였다. 오브젝트가 화면 앞으로 튀어나오는 음의 양안시차는 시청거리가 길어질 때 더 편안한 시청이 가능하다. 시청거리가 증가하면 폭주를 수행하기 위한 눈의 움직임이 작아져서 더 큰 양안시차를 가지는 영상을 시청할 수 있다. K. Sakamoto et al.[6-7]은 시청거리를 이용하여 영상을 시청할 때 발생하는 시각적 불편함을 측정하였는데, 모니터 높이의 3배부터 4배 사이의 거리에서 시청할 때 시각적 불편함을 최소화 할 수 있다고 하였다. 하지만, 추가 실험을 통해 시청거리가 165cm부터 200cm 사이일 때 화면 높이의 3배 거리 같은 엄격한 기준 거리보다 더 적은 시각적 불편함 유발할 수 있다고 주장하였다. 특정 범위를 지정하여 시청거리를 제시하였으나 주변 환경 등의 이유로 해당 범위 내에서 시청이 불가능한 경우가 발생하기 때문에 특정 범위를 지정하지 않고 시청거리의 상대적인 거리에 대한 연구들이 있다. S. Mun et al.[9]은 핸드폰으로 영상을 시청할 때 시청거리와 시청시간에 따른 연구를 진행하였으며, 가까운 시청거리와 긴 시청시간이 시각적 불편함에 영향을 미치는 것을 발견하였다. T. Morita와 H. Ando [8]는 가정과 비슷한 시청환경에서 3D TV로 인한 불편함 평가하여 일반적인 시청거리보다 더 가까운 곳에서 3DTV를 시청하면 다음날까지 피곤한 느낌이 있을 수 있다는 결과를 얻었다. 두 연구를 통해 화면의 크기와 상관없이 가까운 시청거리에서 더 큰 시각적 불편함이 유발되는 것을 알 수 있다. 기존의 연구들

은 시청거리에 따른 시각적 불편함을 측정하기 위해 눈 깜박임과 CFF, ATMT, 설문을 이용하였지만 CFF와 ATMT는 영상 시청 후에 측정하여 영상 시청 도중 발생하는 변화를 측정하지 못한다. 영상 시청 도중 측정이 가능한 것은 눈 깜박임이지만 비약 운동의 지연시간보다 부정확하다는 연구결과가 있다[11]. 따라서, 영상 시청 도중 발생하는 시각적 불편함을 정확하게 측정하기 위해서 눈 깜박임 이외의 요인을 통한 분석이 필요하다.

3D 콘텐츠에서 밝은 밝기를 이용하는 것이 영상을 전달함에 있어서 더 좋은 방법이나 영상의 밝기가 밝으면 시청자는 시각적 불편함을 느끼는 문제가 발생한다. S. Cho와 H. Kang[16]은 전체적인 밝기 변화와 오브젝트의 밝기 변화를 가지는 영상을 시청하는 동안의 불편함을 분석하여, 밝은 밝기에서 더 많은 시각적 불편함을 유발하고 오브젝트의 밝기 변화가 더 큰 영향이 있는 것을 발견하였다. P. Wang et al.[20]은 시청환경의 밝기변화와 영상의 밝기변화에 따른 시각적 불편함을 분석하였고 두 상황에서 모두 밝기가 밝을 때 더 큰 시각적 불편함이 발생하는 것을 발견하였다. 영상의 밝기는 피로도 뿐만 아니라 시청자의 깊이 인지 능력에도 영향을 주는데 L. Cormack et al.[16]은 영상의 밝기에 영향을 미치는 콘트라스트, 즉 채도와 명도의 대비를 변화시키며 실험을 진행하였고 콘트라스트가 깊이 인지 능력에 영향을 미치는 결과를 얻었다. M.T. Pourazad et al.[18]은 밝기 변화와 깊이 인지에 대해 분석하였고, 전체적인 밝기 변화와 오브젝트의 밝기 변화는 깊이 인지 능력에 영향을 미치는 결과를 얻었다. 깊이 인지 능력에 영향을 미친다는 것은 깊이를 인지하기 위해 수행하는 폭주와 조절 과정에 영향을 미친다는 의미이다. 특히, 폭주와 조절을 수행하는 능력이 저하되면 3D 영상의 깊이를 정확히 인지하지 못하기 때문에, 시각적 불편함을 일으킬 수 있다. 영상 전체의 밝기와 오브젝트의 밝기 변화가 깊이 인지 능력에 영향을 미치는 것을 확인하였으나, 배경 밝기 변화로 인해 발생하는 깊이 인지 능력 변화는 측정되지 않았기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다.

### 3. 실험 방법

#### 3.1 연구 목표

기존 연구에서 시각적 불편함 측정을 위해 사용하였던 눈 깜박임은 부정확하다는 연구가 있기 때문에 영상 시청 도중 발생하는 시각적 불편함을 측정하기 위해 다른 방법을 이용한 연구가 필요하다. 아울러, 전체적인 밝기와 오브젝트의 밝기 변화에 대한 연구는 진행되었으나 배경의 밝기 변화에 대한 연구는 진행되지 않았기 때문에, 배경의 밝기 변화에 따른 연구가 필요하다.

본 논문에서는 다음과 같은 가설 두 가지를 증명하고자 한다.

(1) 시청거리에 따라서 발생하는 시각적 불편함을 측정하는데 있어서 기존 연구에서 사용한 요소보다 새로 측정에 사용한 요소가 더 좋은 결과를 보일 것이다. 새로운 측정 요소로는 비약운동의 횡수와 지연시간, 폭주근점(Near point of convergence, NPC)을 사용한다.

(2) 전체적인 밝기 변화와 오브젝트의 밝기 변화에 관한 기존의 연구들처럼 영상 배경의 밝기가 밝을 때 더 큰 시각적 불편함을 유발할 것이다. 4개의 밝기로 나누어 각 밝기에서의 변화를 측정하고 분석한다.

두 가설을 증명하기 위해 영상 시청 시 발생하는 시각적 불편함을 측정하였다. 실험은 외부 요인이 영향을 미칠 수 없는 암실에서 진행하였고, 2가지 시청거리와 4가지 영상을 이용하여 8회 시청하였다. 영상 시청 도중 발생하는 시각적 불편함을 측정하기 위해 눈 움직임을 기록하고, 눈 움직임을 통해 눈 깜박임을 측정하였다. 눈 깜박임의 부정확성을 보완하기 위해 비약운동의 횡수와 지연시간을 함께 측정하였다. 눈 움직임 외에도 3D 깊이 인지 능력을 측정하기 위해 폭주근점을 측정하고 피험자의 주관적인

시각적 불편함을 측정하기 위해 설문을 진행하였다.

### 3.2 실험 설계

시청거리가 가까울 때 더 많은 시각적 불편함을 유발하는 것과 배경의 밝기가 밝을 때 더 큰 시각적 불편함 유발하는 것을 측정하기 위해 2가지의 시청거리를 정하고 4단계의 배경 밝기 변화를 가지는 영상을 제작한다. 시청 거리가 멀 때 더 적은 시각적 불편함을 유발하는 것을 확인하기 위해서 기존의 권장 시청거리인 모니터 높이의 3배 거리와 그보다 더 먼 4배 거리에 모니터를 두고 영상을 시청하고, 배경의 밝기가 밝을 때 더 큰 시각적 불편함을 유발하는 것을 확인하기 위해서 영상의 배경 밝기를 총 4개의 밝기로 나누어 제작한 영상을 시청한다.

시각적 불편함 측정을 위해 영상을 시청하는 동안 눈의 움직임을 기록하여 눈 깜박임과 비약운동의 횡수 및 비약운동의 지연시간을 측정하고, 밝기가 깊이 인지 능력에 미치는 영향을 확인하기 위해 폭주근점을 측정한다. 영상을 시청하는 동안 피험자의 주관적 상태를 확인하기 위해 설문을 실시한다.

### 3.3 실험 환경

실험에는 총 25명의 피험자가 참가하였으며 남성 13명과 여성 12명으로 구성되어있고 피험자의 나이는 20세부터 26세 사이이다. 실험 영상을 보여주기 위한 디스플레이 장치로는 27인치 3D 모니터를 사용하였으며 모니터의 해상도는 1920x1080이고 화면 비율은 16:9이며 편광방식을 이용하여 3D를 보여준다. 시선 추적 장치로는 EyeLink 1000 Plus를 이용하였고, EyeLink는 피험자가 턱 받침대에 얼굴을 올

Table 1. Survey questions

Questions	Degree	No it is not.				yes it is.
		1	2	3	4	5
Q1. Do you feel eyestrain?						
Q2. Do you feel eye dryness?						
Q3. Do you see a double image?						
Q4. Do you see blurry?						
Q5. Do you have a headache?						
Q6. Do you feel dizziness?						
Q7. Do you have a hazy feeling?						
Q8. Do you have a sensational feeling in your eye?						

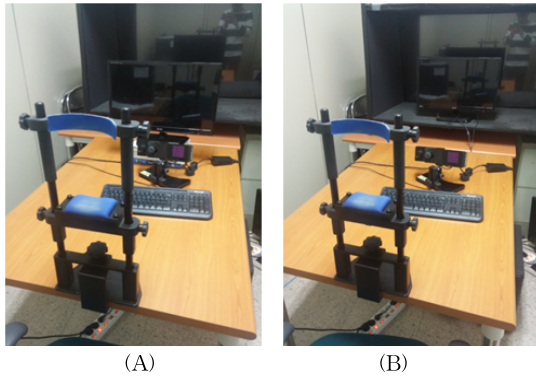


Fig. 1. Experiment environment. (A): 3H, (B): 4H.

려놓고 영상을 시청하며 영상을 시청하는 동안 눈의 움직임을 기록한다. 기록한 눈 움직임 데이터를 Matlab 프로그램을 통해서 눈 깜박임과 비약운동의 횟수, 비약운동의 지연시간을 측정한다. 폭주근점 측정 막대를 이용하여 실험 전후에 폭주근점을 측정한 후, 설문을 진행한다. 설문은 문항은 Table 1과 같이 총 8문항으로 구성되어있고, 5개의 응답지가 있으며 1은 '매우 그렇지 않다'를 의미하고 5는 '매우 그렇다'를 의미한다. 설문은 기존연구[16]에서 사용한 것을 기반으로 작성하였으며, 1번 문항부터 4번 문항은 눈에서 발생하는 피로도를 측정하고 5번 문항부터 8번 문항은 3D 영상 시청 시 발생할 수 있는 몸의 변화를 측정한다.

외부 요인이 실험의 결과에 영향을 미치는 것을

피하기 위해, 온도와 습도 등이 일정하게 유지되며 외부의 빛이 완전히 차단되는 암실에서 피험자 혼자 영상을 시청한다. Fig. 1은 실험 환경을 나타낸 그림이다. 실험은 불을 끈 상태로 진행하였으나 실험 환경을 보여주기 위해서 불을 켜 상태로 촬영하였다.

2개의 시청거리와 4개의 밝기를 가지는 영상을 이용하여 총 8가지 환경에서 실험을 진행한다. 시청거리는 모니터 높이의 3배 거리와 4배 거리를 이용하였고, 모니터 종류에 따른 변화를 제거하기 위해 하나의 모니터의 위치를 이동시켜서 시청한다. 영상은 배경의 밝기를 다르게 하여 직접 제작한 영상을 사용한다.

영상의 밝기를 조절하기 위해 오브젝트의 밝기는 일정하게 유지하고 배경의 밝기를 변화시며 총 4가지의 밝기를 이용해서 영상을 제작하였다. 오브젝트는 2명의 사람으로 comfort zone에 위치하도록 제작하였고 양안시차로 인한 시각적 불편함을 줄이기 위해서 오브젝트의 양안시차는  $-1^\circ$ 의 양안시차를 사용하였다. 영상의 길이는 총 15분이고, 비약운동의 지연시간을 측정하기 위해 3분마다 하나의 원을 좌우에서 교대로 보여주며 시점의 이동을 유발하는 비약운동 유발 영상이 포함되어있다. Fig. 2는 실험에 사용한 영상이다.

### 3.4 실험 절차

실험의 진행은 다음과 같이 진행된다. 설문을 진

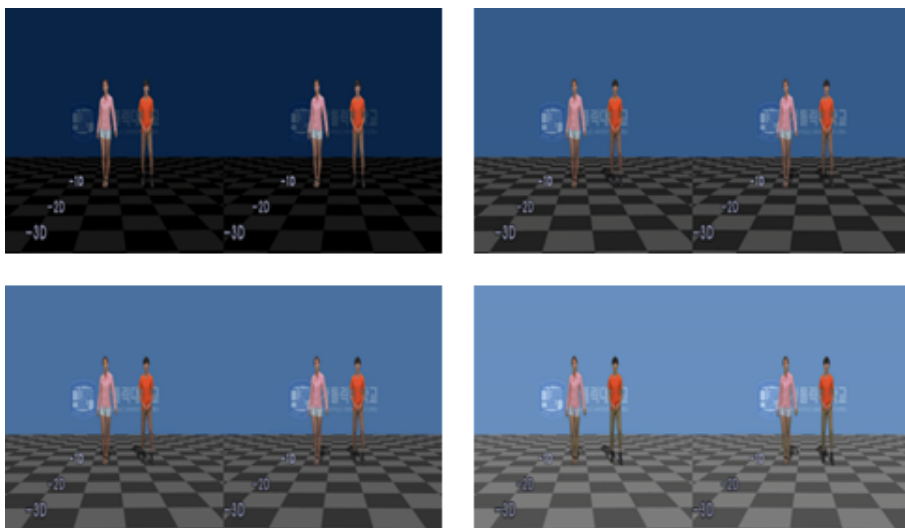


Fig. 2. Test videos.

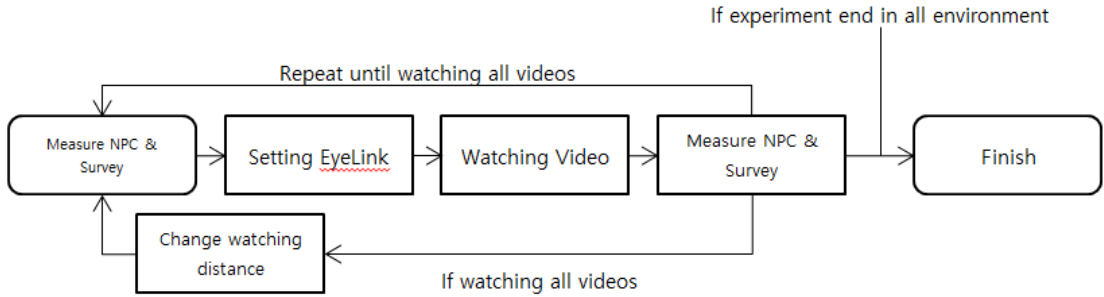


Fig. 3. Experiment procedure.

행하고 폭주근점을 측정한 다음, EyeLink를 이용하여 피험자의 눈 움직임을 기록할 수 있도록 준비한다. 데이터를 기록할 준비가 되면 영상을 15분 동안 시청하고, 영상 시청이 끝나면 폭주근점을 측정한 다음 설문을 진행하는 것으로 하나의 영상에 대한 실험을 완료한다. 4개의 밝기와 2개의 거리를 통해서 총 8번의 실험을 진행한다. 실험은 피로가 누적되어 측정될 수 있기 때문에 하루에 1개의 거리에서 4개의 밝기를 가지는 영상을 시청하는 것으로 2일 동안 진행된다. Fig. 3는 실험 절차를 도식화한 것이다.

#### 4. 실험 결과

영상 시청도중 기록한 눈 움직임과 영상 시청 전후에 측정한 폭주근점을 분석하고 이와 관련하여 설문을 실시하였다. 눈 움직임을 기록한 데이터에서 눈 깜박임, 비약운동의 횟수 및 비약운동의 지연시간을 측정하였는데, 눈 깜박임과 비약운동의 횟수는 영상 시청 도중 발생한 횟수를 측정하였다. 비약운동의 지연시간은 비약운동 유발 영상이 재생된 뒤에 비약운동이 발생되기까지의 시간을 측정하였으며, 비약운동의 지연시간의 단위는 1000분의 1초이다. 폭주근점과 설문은 영상 시청 전후를 비교하여 분석하였고, 폭주근점의 단위는 cm이다.

데이터의 유의성을 검증하기 위해 SPSS를 이용하여 통계분석을 진행하였다. 모든 데이터는 정규성을 만족하며 시청거리는 2가지만 이용하였기 때문에 대응표본 T-검정(Paired T-Test)을 이용하여 분석하였고, 밝기는 4가지 종류를 사용하였기 때문에 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 분석하였다. 일원배치 분산분석의 사후 검정을 위해 동질성 검정을 진행하였는데, 설문의 Q1 문항을 제외하면 분산의 동질성 검정에서 유의확률이

0.05보다 크기 때문에 등분산을 가정하고 Scheffe를 이용하여 사후검정을 진행하였다. 설문의 Q1 문항은 동질성 검정의 유의확률이 0.05보다 작기 때문에 등분산을 가정하지 않고 Tamhane의 T2를 이용하여 사후검정을 진행하였다.

#### 4.1 눈 깜박임 & 비약운동의 횟수

눈 깜박임과 비약운동의 횟수는 영상을 시청하는 도중의 횟수를 측정하였고 거리와 밝기의 변화에 따라 분석하였다. Fig. 4는 눈 깜박임의 횟수를 거리와 밝기에 따라서 상자도표로 나타낸 것이다. 밝기는 'Bright 1'이 가장 어두운 영상이며 'Bright 4'가 가장 밝은 영상이고 시청거리는 'Distance 1'의 거리는 모니터 높이의 3배 거리이고 'Distance 2'의 거리는 모니터 높이의 4배 거리이다. 두 거리에서 모두 밝기가 증가할 때 눈 깜박임이 증가하고 화면이 가까울 때 보다 멀리 있을 때 더 적은 횟수를 보인다. 눈 깜박임은 눈이 건조할 때 더 많이 일어나기 때문에 눈 깜박임이 많아지는 것은 시각적 불편함이 더 크게 발생하는 것을 의미한다. 눈 깜박임의 결과를 통해 피험자들은 영상의 밝기가 밝거나 시청거리가 가까

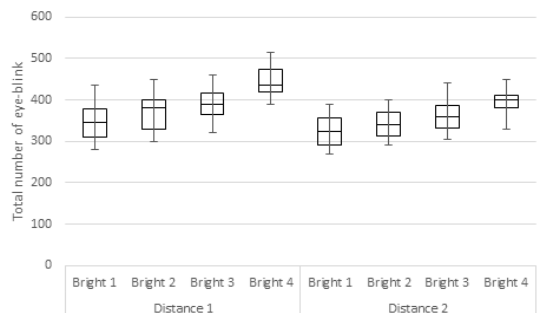


Fig. 4. Eye-blink.

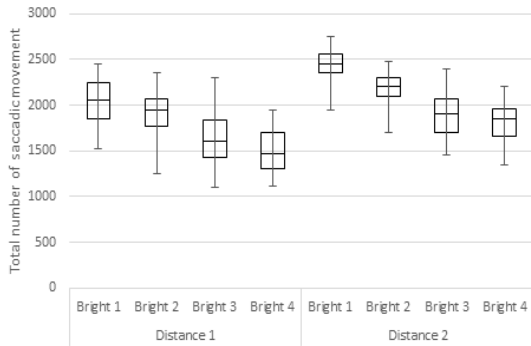


Fig. 5. Saccadic movement.

을 때 더 큰 피로를 느낀다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 비약운동의 횟수를 상자도표로 나타낸 것이다. 밝기가 밝아지거나 화면이 가까이 있을 때 비약운동의 횟수가 적어진다. 비약운동의 횟수는 눈이 피곤할 때 줄어드는데 눈이 피곤하면 움직임이 적어지기 때문이다. 밝기가 밝아질수록 비약운동의 횟수가 감소하고 시청거리가 길 때 비약운동의 횟수가 감소한 것을 통해 피험자들은 영상이 밝거나 가까이 있을 때 더 큰 피로를 느끼는 것을 알 수 있다.

Table 2와 Table 3은 눈 깜박임의 일원배치 분산분석의 사후검정 결과와 대응표본 T-검정의 결과이다. 눈 깜박임에서 밝기의 따른 변화로는 가장 어두

운 밝기와 두 번째로 어두운 밝기를 제외하고 유의미한 차이가 존재한다. 시청거리는 가장 어두운 영상을 제외하고 나머지 세 영상을 시청하는 동안 유의미한 차이가 존재한다.

Table 4와 Table 5는 도약운동 횟수의 일원배치 분산분석의 사후검정 결과와 대응표본 T-검정의 결과이다. 도약운동의 횟수에서 밝기에 따른 변화로 가장 밝은 밝기와 두 번째로 밝은 밝기를 제외하고 유의미한 차이가 존재한다. 시청거리에 따른 변화는 4가지 영상에서 모두 유의미한 차이가 존재한다.

#### 4.2 비약운동의 지연시간

비약운동의 지연시간을 측정할 때 50ms이하의 반응속도는 비약운동 유발영상이 재생되기 전에 피험자의 안구가 미리 움직인 것이기 때문에 제외하였다. 400ms이상의 반응속도는 순간적으로 영상에 집중하지 못해서 피험자의 안구가 느리게 반응함으로써 발생한 것이기 때문에 제외하였다. Fig. 6은 영상과 시청거리에 따른 비약운동의 지연시간을 도표로 나타낸 것이다. 비약운동의 지연시간은 눈이 피곤해지면 자극에 반응하는 속도가 느려지기 때문에 밝기가 밝아지거나 시청거리가 가까울 때 증가하며, 눈 깜박임과 비슷한 변화를 보인다. 비약운동의 지연

Table 2. Multiple comparisons of eye-blink

#### Multiple Comparisons

Scheffe								
(I) Brightness_Type	(J) Brightness_Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval			
					Lower Bound	Upper Bound		
dimension 2	1	dimension 3	2	-17.42000	7.76218	.173	-39.3088	4.4688
			3	-41.66000*	7.76218	.000	-63.5488	-19.7712
			4	-85.80000*	7.76218	.000	-107.6888	-63.9112
	2	dimension 3	1	17.42000	7.76218	.173	-4.4688	39.3088
			3	-24.24000*	7.76218	.023	-46.1288	-2.3512
			4	-68.38000*	7.76218	.000	-90.2688	-46.4912
	3	dimension 3	1	41.66000*	7.76218	.000	19.7712	63.5488
			2	24.24000*	7.76218	.023	2.3512	46.1288
			4	-44.14000*	7.76218	.000	-66.0288	-22.2512
	4	dimension 3	1	85.80000*	7.76218	.000	63.9112	107.6888
			2	68.38000*	7.76218	.000	46.4912	90.2688
			3	44.14000*	7.76218	.000	22.2512	66.0288

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Table 3. Paired sample test of eye-blink

**Paired Samples Test**

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	D1_B1 - D2_B1	22.20000	54.71669	10.94334	-.38594	44.78594	2.029	24	.054
Pair 2	D1_B2 - D2_B2	27.76000	57.81096	11.56219	3.89681	51.62319	2.401	24	.024
Pair 3	D1_B3 - D2_B3	34.08000	55.09380	11.01876	11.33840	56.82160	3.093	24	.005
Pair 4	D1_B4 - D2_B4	45.40000	50.06080	10.01216	24.73592	66.06408	4.534	24	.000

Table 4. Multiple comparisons of saccadic movement

**Multiple Comparisons**

Scheffe								
(I) Brightness_Type		(J) Brightness_Type		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
dimension 2	1	dimension 3	2	203.60000*	55.40767	.004	47.3540	359.8460
			3	482.00000*	55.40767	.000	325.7540	638.2460
			4	598.60000*	55.40767	.000	442.3540	754.8460
	2	dimension 3	1	-203.60000*	55.40767	.004	-359.8460	-47.3540
			3	278.40000*	55.40767	.000	122.1540	434.6460
			4	395.00000*	55.40767	.000	238.7540	551.2460
	3	dimension 3	1	-482.00000*	55.40767	.000	-638.2460	-325.7540
			2	-278.40000*	55.40767	.000	-434.6460	-122.1540
			4	116.60000	55.40767	.222	-39.6460	272.8460
	4	dimension 3	1	-598.60000*	55.40767	.000	-754.8460	-442.3540
			2	-395.00000*	55.40767	.000	-551.2460	-238.7540
			3	-116.60000	55.40767	.222	-272.8460	39.6460

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Table 5. Paired samples test of saccadic movement

**Paired Samples Test**

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	D1_B1 - D2_B1	-376.80000	297.19130	59.43826	-499.47454	-254.12546	-6.339	24	.000
Pair 2	D1_B2 - D2_B2	-275.20000	207.76830	41.55366	-360.96254	-189.43746	-6.623	24	.000
Pair 3	D1_B3 - D2_B3	-290.40000	303.60995	60.72199	-415.72403	-165.07597	-4.782	24	.000
Pair 4	D1_B4 - D2_B4	-387.60000	188.24364	37.64873	-465.30315	-309.89685	-10.295	24	.000



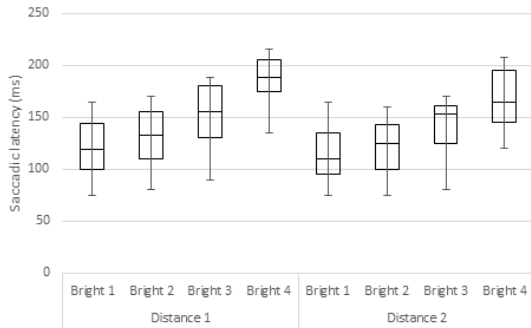


Fig. 6. Saccadic latency.

지연시간이 더 긴 밝은 영상과 가까운 시청거리에서 피험자들은 더 큰 피로를 느낀다.

Table 6과 Table 7은 도약운동 지연시간의 일원 배치 분산분석의 사후검정 결과와 대응표본 T-검정의 결과이다. 도약운동의 지연시간에서 밝기에 따른 변화로 가장 어두운 밝기와 두 번째로 어두운 밝기를 제외하고 유의미한 차이가 존재한다. 가장 어두운 밝기와 두 번째로 어두운 밝기를 제외하고 유의미한 차이가 나타나는 것은 눈 깜박임과 동일하다. 시청거리는 두 번째로 밝은 영상을 제외하고 유의미한 차이가 존재한다.

### 4.3 폭주근점

폭주근점과 설문은 영상 시청 후의 값에서 영상 시청 전의 값을 뺀 영상 시청 전후의 차이를 구하여 비교하였다. 폭주근점은 3D를 인지하는 능력에 있어서 중요하기 때문에 폭주근점의 변화를 통해서 3D 깊이 인지 능력을 확인하였다. Fig. 7은 폭주근점의 차이를 그래프로 나타낸 것이다. 영상 배경의 밝기가 밝을수록 차이가 커지지만 시청거리에 따른 변화는 적다. 밝기가 밝을수록 눈이 피곤해져서 폭주근점의 값이 커지고 3D를 인지하는 능력이 감소한다.

Table 8과 Table 9는 폭주근점의 일원배치 분산 분석의 사후검정 결과와 대응표본 T-검정의 결과이다. 폭주근점에서 밝기에 따른 변화로 모든 밝기 사이의 유의미한 차이가 존재한다. 밝기 변화는 3D 콘텐츠 인지능력에 영향을 미치는 폭주근점을 유의미하게 변화시킨다. 시청거리의 다른 폭주근점의 변화도 모든 밝기에 대해서 유의미한 변화가 존재한다. 폭주근점 변화의 폭은 시청거리보다 밝기가 변화할 때 더 크게 나타났다.

### 4.4 설문

설문은 영상 시청 후의 값에서 영상 시청 전의 값

Table 6. Multiple comparisons of saccadic latency

#### Multiple Comparisons

Scheffe								
(I) Brightness_ Type	(J) Brightness_ Type		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
dimension 2	1	dimension 3	2	-6.18000	5.08668	.688	-20.5241	8.1641
			3	-33.60000*	5.08668	.000	-47.9441	-19.2559
			4	-59.88000*	5.08668	.000	-74.2241	-45.5359
	2	dimension 3	1	6.18000	5.08668	.688	-8.1641	20.5241
			3	-27.42000*	5.08668	.000	-41.7641	-13.0759
			4	-53.70000*	5.08668	.000	-68.0441	-39.3559
	3	dimension 3	1	33.60000*	5.08668	.000	19.2559	47.9441
			2	27.42000*	5.08668	.000	13.0759	41.7641
			4	-26.28000*	5.08668	.000	-40.6241	-11.9359
	4	dimension 3	1	59.88000*	5.08668	.000	45.5359	74.2241
			2	53.70000*	5.08668	.000	39.3559	68.0441
			3	26.28000*	5.08668	.000	11.9359	40.6241

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Table 7. Paired samples test of saccadic latency

**Paired Samples Test**

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	D1_B1 - D2_B1	13.44000	31.04443	6.20889	.62549	26.25451	2.165	24	.041
Pair 2	D1_B2 - D2_B2	23.64000	37.36072	7.47214	8.21825	39.06175	3.164	24	.004
Pair 3	D1_B3 - D2_B3	12.80000	40.82075	8.16415	-4.04998	29.64998	1.568	24	.130
Pair 4	D1_B4 - D2_B4	26.16000	12.13013	2.42603	21.15293	31.16707	10.783	24	.000

Table 8. Multiple comparisons of near point of convergence

**Multiple Comparisons**

Scheffe								
(I) Brightness_Type	(J) Brightness_Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval			
					Lower Bound	Upper Bound		
dimension 2	1	dimension 3	2	-.49740*	.05592	.000	-.6551	-.3397
			3	-1.68940*	.05592	.000	-1.8471	-1.5317
			4	-2.18940*	.05592	.000	-2.3471	-2.0317
	2	dimension 3	1	.49740*	.05592	.000	.3397	.6551
			3	-1.19200*	.05592	.000	-1.3497	-1.0343
			4	-1.69200*	.05592	.000	-1.8497	-1.5343
	3	dimension 3	1	1.68940*	.05592	.000	1.5317	1.8471
			2	1.19200*	.05592	.000	1.0343	1.3497
			4	-.50000*	.05592	.000	-.6577	-.3423
	4	dimension 3	1	2.18940*	.05592	.000	2.0317	2.3471
			2	1.69200*	.05592	.000	1.5343	1.8497
			3	.50000*	.05592	.000	.3423	.6577

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Table 9. Paired samples test of near point of convergence

**Paired Samples Test**

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	D1_B1 - D2_B1	.25720	.29813	.05963	.13414	.38026	4.314	24	.000
Pair 2	D1_B2 - D2_B2	.48400	.27489	.05498	.37053	.59747	8.803	24	.000
Pair 3	D1_B3 - D2_B3	.27600	.30995	.06199	.14806	.40394	4.452	24	.000
Pair 4	D1_B4 - D2_B4	.22000	.37528	.07506	.06509	.37491	2.931	24	.007

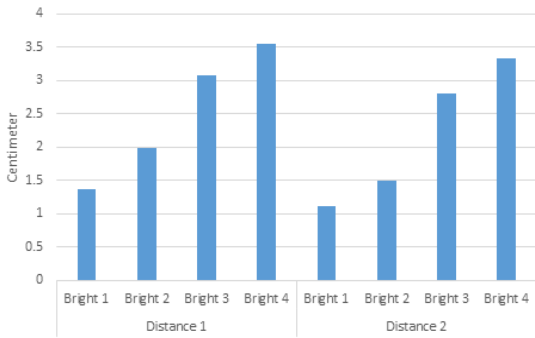


Fig. 7. Near point of convergence.

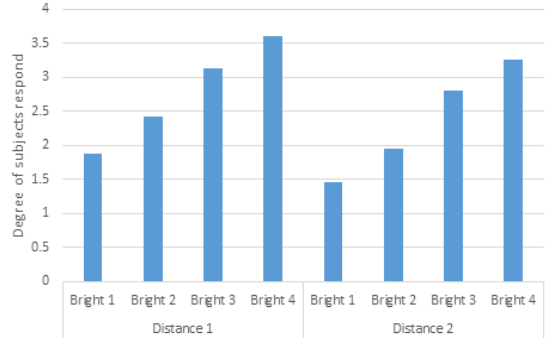


Fig. 8. Survey.

을 빼서 차이를 구하고 통계적으로 유의미한 차이를 보인 Q1과 Q2의 평균을 구하여 분석하였다. Fig. 8은 설문 결과의 그래프를 나타낸 것이다. 두 거리에서 모두 영상이 밝아질수록 피험자들은 더 큰 시각적 불편함을 느낀다고 응답하였고 가까운 곳의 영상을 볼 때가 먼 곳의 영상을 볼 때보다 피곤하다고 응답하였다.

Table 10은 Q1 문항의 일원배치 분산분석의 사후검정 결과이고, Table 11은 Q2 문항의 일원배치 분산분석의 사후검정 결과이다. Table 12는 설문의 대응표본 T-검정의 결과이다. 설문은 Q1 문항과 Q2 문항에서 유의미한 차이를 보였는데, 일원배치 분산

분석의 사후검정으로 Q1 문항은 등분산을 가정하기 않기 때문에 Tamhane의 T2를 이용하였다. 또, Q2 문항은 등분산을 가정하기 때문에 Scheffe를 이용하였다. Q1 문항은 모든 밝기가 서로 유의미한 차이를 보였고, Q2 문항은 가장 어두운 밝기와 두 번째로 어두운 밝기를 제외하고 유의미한 차이를 보였다. 거리에 따른 차이로는 Q2 문항의 두 번째로 밝은 영상을 제외하고 유의미한 차이를 보였다.

4.5 분석

눈 깜박임과 비약운동의 횟수, 비약운동의 지연 시간, 폭주근점, 설문을 이용하여 영상을 시청할 때

Table 10. Multiple comparisons of survey question Q1

Multiple Comparisons

Tamhane								
(I) Brightness_Type	(J) Brightness_Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval			
					Lower Bound	Upper Bound		
dimension 2	1	dimension 3	2	-.64000*	.09107	.000	-.8848	-.3952
		3	-1.36000*	.09630	.000	-1.6191	-1.1009	
		4	-2.04000*	.10045	.000	-2.3104	-1.7696	
	2	dimension 3	1	.64000*	.09107	.000	.3952	.8848
			3	-.72000*	.10506	.000	-1.0021	-.4379
			4	-1.40000*	.10887	.000	-1.6925	-1.1075
	3	dimension 3	1	1.36000*	.09630	.000	1.1009	1.6191
			2	.72000*	.10506	.000	.4379	1.0021
			4	-.68000*	.11328	.000	-.9842	-.3758
	4	dimension 3	1	2.04000*	.10045	.000	1.7696	2.3104
			2	1.40000*	.10887	.000	1.1075	1.6925
			3	.68000*	.11328	.000	.3758	.9842

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Table 11. Multiple comparisons of survey question Q2

**Multiple Comparisons**

Scheffe								
(I) Brightness_ Type	(J) Brightness_ Type		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
dimension 2	1	dimension 3	2	-.34000	.15435	.187	-.7753	.0953
			3	-1.40000*	.15435	.000	-1.8353	-.9647
			4	-1.84000*	.15435	.000	-2.2753	-1.4047
	2	dimension 3	1	.34000	.15435	.187	-.0953	.7753
			3	-1.06000*	.15435	.000	-1.4953	-.6247
			4	-1.50000*	.15435	.000	-1.9353	-1.0647
	3	dimension 3	1	1.40000*	.15435	.000	.9647	1.8353
			2	1.06000*	.15435	.000	.6247	1.4953
			4	-.44000*	.15435	.046	-.8753	-.0047
	4	dimension 3	1	1.84000*	.15435	.000	1.4047	2.2753
			2	1.50000*	.15435	.000	1.0647	1.9353
			3	.44000*	.15435	.046	.0047	.8753

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

Table 12. Paired samples test of survey questions Q1 and Q2

**Paired Samples Test**

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Q1_D1_B1 - Q1_D2_B1	.40000	.50000	.10000	.19361	.60639	4.000	24	.001
Pair 2	Q1_D1_B2 - Q1_D2_B2	.24000	.52281	.10456	.02419	.45581	2.295	24	.031
Pair 3	Q1_D1_B3 - Q1_D2_B3	.40000	.50000	.10000	.19361	.60639	4.000	24	.001
Pair 4	Q1_D1_B4 - Q1_D2_B4	.72000	.54160	.10832	.49644	.94356	6.647	24	.000
Pair 5	Q2_D1_B1 - Q2_D2_B1	.40000	.91287	.18257	.02319	.77681	2.191	24	.038
Pair 6	Q2_D1_B2 - Q2_D2_B2	.60000	1.04083	.20817	.17037	1.02963	2.882	24	.008
Pair 7	Q2_D1_B3 - Q2_D2_B3	.32000	1.24900	.24980	-.19556	.83556	1.281	24	.212
Pair 8	Q2_D1_B4 - Q2_D2_B4	.48000	.87178	.17436	.12015	.83985	2.753	24	.011

느끼는 피로도를 분석하였다. 분석 결과로서 눈 깜박임은 눈이 건조해지기 때문에 증가하고, 눈이 피곤할 때 눈의 움직임이 적어진다. 아울러, 반응 속도가 느려져서 비약운동의 횟수 감소 및 비약운동의

지연시간 증가를 유발한다. 시청거리가 가깝거나 밝기가 밝을 때 눈 깜박임과 비약운동의 지연시간이 증가하며, 비약운동의 횟수가 감소한 것을 통하여 영상을 시청하는 동안 더 큰 피로를 느낀다는 것을

확인하였다. 폭주근점을 통해서 영상 배경의 밝기가 3D 콘텐츠를 인지하는데 영향이 있다는 것을 알 수 있었다.

눈 깜박임보다 비약운동이 더 정확한 결과를 얻을 수 있다는 연구[11]를 바탕으로 비약운동의 횟수와 지연시간을 측정하여 분석하였다. 하지만, 본 연구에서는 눈 깜박임과 비약운동의 횟수, 비약운동의 지연시간이 피로도 측정에 있어서 비슷한 결과를 보였다. 눈 깜박임이 많아지는 것은 눈이 건조해지기 때문에 더 많이 깜박이게 되고, 비약운동의 횟수가 적어지는 것은 눈이 피곤하기 때문에 눈의 움직임이 줄어드는 것이다. 눈이 피곤해지면 자극에 대한 반응속도 또한 늦어지기 때문에 비약운동의 지연시간이 증가한다. 따라서, 피로도는 눈 깜박임, 비약운동의 횟수 및 지연시간을 이용해서 측정할 수 있다.

기존의 연구들은 3H의 거리가 가장 편안하게 3D 콘텐츠를 시청할 수 있는 거리라는 연구[6-7]와 시청거리가 멀수록 더 편안하게 시청할 수 있다는 상반되는 연구결과[8-10]가 있다. 본 논문에서는 실험 결과를 통해서 3H의 거리보다 4H의 거리에서 더 편안하게 시청할 수 있다는 결과를 얻었다. 같은 양안시차를 가지는 영상을 시청할 때, 시청거리가 증가할수록 3D 콘텐츠를 인지하는 과정에서 눈이 모이는 정도가 작아지기 때문에 동일한 양안시차를 더 편안하게 시청할 수 있고 편안하게 시청할 수 있는 양안시차의 범위가 넓어진다. 영상 배경의 밝기 변화는 전체적인 밝기와 오브젝트의 밝기가 밝을 때 시청자가 더 큰 피로를 느낀다는 기존 연구[18-20]들의 결과처럼 밝은 밝기에서 더 큰 시각적 불편함을 발생시킨다. 시청자가 주시하는 오브젝트가 아닌 배경의 밝기가 밝더라도 영상을 시청하는 동안 시청자가 받아들이는 빛의 양이 많아지기 때문에 시각적 불편함이 발생한다. 밝기는 3D 콘텐츠의 깊이를 인지하는 능력에도 영향을 미치는데, 밝기가 더 밝은 영상에서는 폭주근점을 증가시켜서 깊이 인지 능력이 저하되기 때문에 3D 콘텐츠의 정확한 깊이 인지가 어렵다. 3D 콘텐츠의 정확한 깊이 인지가 어렵다면 영상을 완전히 하나로 합치지 못하기 때문에 이중상이 발생한다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 3D 영상을 시청할 때, 밝기와 거리

에 따른 총 8가지 환경에서 발생하는 피로도를 눈 깜박임, 비약운동의 횟수, 비약운동의 지연시간, 폭주근점 및 설문을 통해서 분석하였다. 밝기를 변화시킨 영상을 제작하고, EyeLink를 이용하여 영상을 시청하는 동안 눈 움직임을 측정하였다.

밝기가 밝아지거나 거리가 가까울 때, 눈 깜박임 횟수는 증가하는데 이것은 눈이 건조해지기 때문이다. 이때, 비약운동의 횟수는 감소하는데 이것은 눈이 피곤하기 때문에 발생한다. 비약운동의 지연시간은 밝은 영상 혹은 가까운 시청거리에서 증가한다. 이는 눈이 피곤하면 자극에 대해서 반응하는 시간이 길어지기 때문이다. 같은 상황에서 폭주근점이 증가하는데 이를 통해 배경 밝기가 3D를 인지하는 능력에 부정적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 설문을 통해서 피험자들은 영상의 밝기가 밝고 거리가 가까울 때 더 큰 시각적 불편함을 인지하는 것을 확인하였다. 시청거리가 짧으면 3D 콘텐츠를 인지할 때 눈을 모아야하는 정도가 커지기 때문에 시각적 불편함이 증가하고, 편안하게 시청할 수 있는 양안시차의 범위가 작아진다. 배경의 밝은 밝기는 시청자가 받아들이는 빛의 양을 증가시키기 때문에 시각적 불편함이 증가한다. 밝은 밝기는 3D 깊이 인지 능력을 저하시켜 부정확한 3D 콘텐츠 인지를 발생시키고, 부정확한 3D 콘텐츠 인지 때문에 시청자는 이중상을 느낀다. 이러한 결과를 통해서 시청거리가 가까울 때 더 적은 시각적 불편함을 유발하는 것과 영상 배경의 밝기가 밝을 때 더 큰 시각적 불편함을 유발하는 것을 증명할 수 있었다.

기존 3D 콘텐츠에 대한 관심이 증가하였다가 감소한 이유로는 영상을 시청할 때 발생하는 시각적 불편함 때문이다. 차세대 디스플레이로 주목 받고 있는 HMD가 상용화되기 위해서는 3D 콘텐츠를 시청할 때 발생하는 시각적 불편함을 줄여야 한다. 3D 콘텐츠를 시청할 때 발생하는 시각적 불편함을 감소시킬 수 있다면 HMD를 이용하는 콘텐츠에 대한 관심이 증가할 것이고, 이는 3D 콘텐츠 제작의 활성화와 HMD의 상용화를 이끌 수 있을 것이다. 시각적 불편함을 줄이기 위해서 좀 더 다양한 요소 및 이를 해결하기 위한 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 시각적 불편함을 발생시키는 요인인 시청거리와 밝기에 대해 연구하였고, 먼 시청거리 혹은 어두운 밝기의 영상을 통해 시각적 불편함이 발생하

는 것을 방지할 수 있다는 결과를 얻었다.

본 논문에서 측정된 눈 깜박임과 비약운동의 지연시간은 비슷한 결과를 보인다. 비약운동의 지연시간이 더 정확한 결과를 얻을 수 있다는 기존 연구와 상반되는 결과로 비약운동의 지연시간을 이용하여 시각적 불편함을 측정하는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 밝기와 시청거리가 시각적 불편함에 영향을 미친다는 것을 확인하였으나, 이를 해결하기 위한 방법을 제시하지 못하였기 때문에 밝기와 시청거리로 인해 발생하는 시각적 불편함을 해결하기 위한 방법을 제시하는 연구가 필요하다. 향후 연구 방향으로 시각적 불편함에 영향을 미치는 추가적인 요소를 찾고, HMD를 통해 시청할 때 발생하는 시각적 불편함을 줄이는 방법을 제시하는 것이 바람직하다.

## REFERENCE

- [1] L. Lipton, *Foundations of the Stereoscopic Cinema-A Study in Depth*, Van Nostrand Reinhold, U.S., 1982.
- [2] D.M. Hoffman, A.R. Girshick, K. Akeley, and M. Banks, "Vergence-Accommodation Conflicts Hinder Visual Performance and Cause Visual Fatigue," *Journal of Vision*, Vol. 8, No. 3, pp. 33-33, 2008.
- [3] S. Lee, Y. Jung, H. Sohn, Y. Ro, and H. Park, "Visual Discomfort Induced by Fast Salient Object Motion in Stereoscopic Video," *International Society for Optics and Photonics*, pp. 786305-1-786305-12, 2011.
- [4] Y. Nojiri, H. Yamanoue, A. Hanazato, M. Emoto, and F. Okano, "Visual Comfort/Discomfort and Visual Fatigue Caused by Stereoscopic HDTV Viewing," *International Society for Optics and Photonics*, pp. 303-313, 2004.
- [5] M. Emoto, Y. Nojiri, and F. Okano, "Changes in Fusional Vergence Limit and its Hysteresis after Viewing Stereoscopic TV," *Displays*, Vol. 25, No. 2, pp. 67-76, 2004.
- [6] K. Sakamoto, A. Aoyama, S. Asahara, K. Yamashita, and A. Okada, "Relationship between Viewing Distance and Visual Fatigue in Relation to Feeling of Involvement," *Proceeding of Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction*, pp. 232-239, 2008.
- [7] K. Sakamoto, S. Aoyama, S. Asahara, K. Yamashita, and A. Okada, "Evaluation of Viewing Distance vs. TV Size on Visual Fatigue in a Home Viewing Environment," *Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics*, pp. 1-2, 2009.
- [8] T. Morita and H. Ando, "Effect of Viewing Conditions on Fatigue Caused by Watching 3DTV," *Proceeding of Annual Technical Conference & Exhibition*, pp. 1-9, 2012.
- [9] S. Mun, D. Lee, M. Park, and S. Yano, "Effect of Viewing Distance on 3D Fatigue Caused by Viewing Mobile 3D Content," *Proceedings of SPIE, International Society for Optics and Photonics*, Vol. 8738, pp. 87380C-1-87380C-7, 2013.
- [10] T. Shibata, J. Kim, D.M. Hoffman, and M.S. Banks, "Visual Discomfort with Stereo Displays: Effects of Viewing Distance and Direction of Vergence-accommodation Conflict," *Proceedings of SPIE, International Society for Optics and Photonics*, Vol. 7863, pp. 1-13, 2011.
- [11] D. Kim, S. Choi, J. Choi, H. Shin, and K. Sohn, "Visual Fatigue Monitoring System Based on Eye-movement and Eye-blink Detection," *Proceedings of SPIE, International Society for Optics and Photonics*, Vol. 7863, pp. 786303-1-786303-8, 2011.
- [12] M. Lambooi, W. Ijsselstein, M. Fortuin, and I. Heynderickx, "Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review," *Journal of Imaging Science Technology*, Vol. 53, No. 3, pp. 1-14, 2009.
- [13] J. Li, M. Barkowsky, and P.L. Callet, "The Influence of Relative Disparity and Planar Motion Velocity on Visual Discomfort of

Stereoscopic Videos,” *Proceedings of 3rd International Workshop on Quality of Multimedia Experience*, pp. 155-160, 2011.

[14] J. Li, M. Barkowsky, and P.L. Callet, “Visual Discomfort of Stereoscopic 3D Videos: Influence of 3D Motion,” *Displays*, Vol. 35, No. 1, pp. 49-57, 2014.

[15] B. Mendiburu, *3D Movie Making-Stereoscopic Digital Cinema from Script to Screen*, CRC Press, U.S., 2012.

[16] L.K. Cormack, S.B. Stevenson, and C.M. Schor, “Interocular Correlation, Luminance Contrast and Cyclopean Processing,” *Vision Research*, Vol. 31, No. 12, pp. 2195-2207, 1991.

[17] Z. Mai, M.T. Pourazad, and P. Nasiopoulos, “Effect of Contrast on the Quality of 3D Visual Perception,” *Proceedings of International Conference on Creative Content Technologies*, pp. 269- 270, 2011.

[18] M.T. Pourazad and P. Nasiopoulos, “Effect of Global and Local Brightness-change on the Quality of 3D Visual Perception,” *International Journal on Advances in Telecommunications*, Vol. 5, No. 1, pp. 101-110, 2012.

[19] S. Cho and H. Kang, “Visual Discomfort under Various Brightness Conditions using Eye Movements in Watching Stereoscopic 3D Video,” *Proceedings of SPIE, International Society for Optics and Photonics*, pp. 901123-1-901123-6, 2014.

[20] P. Wang, S. Hwang, K. Chen, J. Chen, J. Chen, and H. Chang, “The Effects of Stereoscopic Display Luminance and Ambient Illumination on Visual Comfort,” *Proceedings of International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 369-373, 2011.

[21] F. Kooi and A. Toet, “Visual Comfort of Binocular and 3D Displays,” *Displays*, Vol. 25, No. 2, pp. 99-108, 2004.

[22] D. Han and H. Kang, “Measuring Perceived Depth For The Object Using 3D Content Depth Measuring Instrument,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 16, No. 9, pp. 1109-1118, 2013.

[23] J. Kim and H. Kang, “Stereoscopic 3D Video Editing Method for Visual Comfort,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 4, pp. 706-716, 2016.

[24] 3D Consortium, *3DC Safety Guidelines for Popularization of Human-friendly 3D*, 2006.



김 용 우

2016년 가톨릭대학교 디지털미디어학부 미디어공학전공 (학사)  
 2016년~현재 가톨릭대학교 디지털미디어학과 석사과정  
 관심분야: 영상처리, 3D 콘텐츠



강 행 봉

1980년 한양대학교 전자공학과 (학사)  
 1986년 한양대학교 전자공학과 (석사)  
 1989년 Ohio State Univ. 컴퓨터공학(석사)  
 1993년 Rensselaer Polytechnic Institute 컴퓨터공학(박사)  
 1993년~1997년 삼성종합기술원 수석연구원  
 1997년~현재 가톨릭대학교 디지털미디어학과 교수  
 2005년 UC Santa Barbara, Visiting Professor  
 관심분야: 컴퓨터비전, 기계학습, HCI, 컴퓨터그래픽스, 인공지능, 빅데이터