입체영상의 양안 깊이 변화에 따른 시청 피로도 분석

김남규*

요약

입체영상 디스플레이 제조 및 콘텐츠 저작 소프트웨어 기술의 발달은 3차원 입체영상의 응용 분야를 특수한 가상시뮬레이션의 응용 분야에서 주변에서 흔히 접할 수 있는 영화, 게임, 광고, 전시 등 다양한 분야로 확장시키고 있다. 하지만, 현존하는 양안시차 원리 기반의 입체영상은 시청자에게 피로감을 유발시킨다. 양안시차에 의한 깊이 인지와 피로감 사이의 관계를 도출하기 위해 시청자 실험 기반의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재 3차원 입체영상 제작 및 시청 가이드라인의 결과물들이 제시되고 있다. 또한, 입체영상 기술은 과다 깊이 제공을 통한 몰입도 증대의 제작자 측면과 허용 범위 내의 최소 피로 추구의 시청자 측면의 상반되는 목적성을 갖고 있다. 본 연구는 3D입체영상 제작 및 가이드라인에 기초가 되는 깊이 변화도 중심의 분석 데이터를 제공한다. 입체영상 제작자 측면에서 활용 가능한 안정적 깊이 변화 구간과 장면 간 깊이 변화의 속도 기준을 도출하였으며, 시청자 측면에서는 뇌파 장치를 활용하여 깊이 변화 적응 시간에 대한 기준 값을 제시하였다.

키워드 : 입체영상, 시청 피로도, 깊이 변화, 시청자 실험

Visual Discomfort Analysis of Binocular Depth Change on 3D Stereoscopic Imaging

Nam-Gyu Kim*

Abstract

The development of stereoscopic display hardwares and 3D authoring softwares expands its application areas from particular virtual simulation applications to general movies, games, advertising applications. However, the binocular-based 3D stereoscopic images cause fatigue to viewers. Recent performed many research results about the binocular stereoscopy's depth perception and viewers' fatigue are derived from experimental users studies. In some results, watching and making guidelines for 3D stereoscopic imaging contents are introduced. The 3D stereoscopic-related contents have the contradictory aspects, which are audiences' pursuit of a tolerable minimum fatigue and producer's its of excessive depth changes for providing viewers' immersion. This paper provides user experiments and analysis data in aspects of 3D depth changes. For use of producers, a safety zone and translational velocity of 3D depth changes are introduced. Also, on the viewer side, we present the depth change adaptation time by using an EEG device.

Keywords : Stereoscopic Imaging, Visual Discomfort, Depth Change, User Experiment

1. 서론

※ Corresponding Author : Nam-Gyu Kim

Received: January 23, 2015

Revised: February 20, 2015

Accepted: February 27, 2015

* Dept. of Game Engineering, Dong-Eui University

Tel: +82-51-890-2713 ,Fax: +82-51-890-2639

email: ngkim@deu.ac.kr

■ This work was supported by the ICT R&D program of MSIP/IITP. [2014(15501-14-1013), 3D Stereoscopic Image Production Research and

광범위하게 사용되고 있는 3차원 입체영상 기술은 양안시차(Disparity)와 수렴(Convergence)의 시각 인지 원리를 이용하여, 안경을 착용한 시청자에게 양안의 정보 차이를 발생시켜 실제와 같은 깊이 정보를 느끼도록 도와준다. 이와 같은 양안시차의 원리는 근본적으로 눈 근육의

Development]

활동을 증가 시킬 뿐 아니라, 실생활 속의 자율적인 수련과 초점 능력을 착용 안경 등을 통하여 강제적으로 시각 정보를 제공하기 때문에, 시청자에게 불편함, 피로감 등을 유발 시킬 수 있다. 그럼에도 불구하고, 양안시차를 이용한 입체영상 기술은 시청자에게 간편한 장치 착용으로 입체감을 제공할 수 있는 흥미로운 콘텐츠 기반 기술로 다루어지고 있다.

시청자가 보다 증대된 깊이를 인지하기 위해서는 시청하는 환경의 하드웨어 구성 요소 - 시청 거리, 각도, 화면 크기, 해상도 등 - 와 영상을 촬영하고 제작하는 과정 속에 활용된 다양한 소프트웨어의 특성과 영상이 갖고 있는 콘텐츠적 요소들 - 객체의 움직임, 영상 밝기 및 변화 정도, 화면 복잡도 및 선명도 등 - 이 복합적으로 영향을 미치게 된다. 양안 입체영상이 시청자의 피로도를 최소화하고 입체감을 극대화하기 위해서는 영상에 노출되는 시간적 측면을 반드시 고려해야 한다. 특히, 시간 흐름에 따른 깊이 정보의 변화는 자연스럽고 편안한 입체감 전달이라는 시청자 측면과 스토리텔링의 제작자 측면 모두에서 중요시 되는 요소이다.

본 연구에서는 입체영상의 깊이 변화 정도에 초점을 맞춘 입체영상 제작 및 시청 가이드라인에 기초가 될 수 있는 실험 데이터 및 분석 결과를 제공한다. 2장에서는 양안시차 원리와 피로도, 피로도 측정, 가이드라인 등의 관련 선행 연구들을 살펴보고, 3장에서부터 안정적인 깊이 변화 구간, 4장의 깊이 변화 속도, 5장의 시청자의 깊이 변화 적응 내용을 세부적으로 살펴본다. 마지막으로 6장에서 본 연구 결과의 데이터의 활용 방안에 대해 고찰한다.

2. 관련 연구

2.1 양안시차 입체 원리와 피로도

양안시차 3D 입체영상과 관련하여 시차 정보, 조절과 수렴, 원근, 가림 등의 다양한 조건들을 이용한 실험 연구들이 국내외적으로 많이 수행되고 있다. 3차원 입체 영상이 보편화 되면서, 입체 영상 자체에 대한 성, 건강 기준, 표준 등 다양한 문제들이 제기되고 있으며, 특히, 입체영상 디스플레이 장치, 예, 3DTV에서 시각적 편

안함이 중요 문제라 말할 수 있다 [1,2]. 대부분의 선행 연구에 있어, 불편함(Discomfort)과 피로감(Fatigue)을 동일시하고 있지만, 근본적으로 차이가 있다. 불편함이란 설문에 근거한 사용자 실험 테스트를 통해 얻어 질 수 있는 것이며, 피로감은 객관적으로 측정 가능한 신체적 현상이라는 것이다. 즉, 피로감은 눈의 오작동(예, 양안시차 범위 시청, 수렴과 폭주의 불일치)에 의한 근육 긴장도 등을 통해 얻을 수 있어, 뇌파, 근전도 등 센서 장비들을 사용하여 측정한다 [3, 4]. 본 연구는 불편함에 근접한 개념을 설명하기 위해 피로도(Discomfort)의 용어를 선택하였다.

2.2 시청자 피로도 측정

불편함이나 피로감을 측정하기 위해선 주관적인 평가와 객관적인 측정의 두 가지 방법으로 접근 할 수 있다. [2, 6]. 주관적인 평가는 이산적으로, 탐구 연구, 질의 따른 설문 조사가 대표적이다. 탐구 연구는 기준을 부여한 것과 부여하지 않은 상황에서 평가 후, 요인들을 추정해 낸다 [4]. 질의 따른 설문 조사는 임의의 수준 (예, 3수준, 좋다, 보통이다, 나쁘다)을 두고 질의하여 답한 데이터를 통해 그 결과를 분석한다. [4, 5, 6]. 지금까지 입체영상 분야에서 양안 시차나 조절 및 수렴을 포함한 다양한 깊이 인지에 대한 실험을 통해 도출한 피로감 유발 요인과 결과들이 존재한다. [7, 8, 9, 10]. 국내에서도 입체 영상에 대한 휴먼 팩터 연구들이 다양하게 시도되고 있으며, 점진적으로 연구 결과들이 도출되고 있다 [11, 12, 13]. 이와 같은 연구 결과들이 보다 시청자와 제작자 측면에서 널리 사용되기 위해서는 분석 결과가 일반적인 환경에 맞도록 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

2.3 기술의 진화와 가이드라인

최근의 3차원 디스플레이 하드웨어 및 실시간 영상 편집, 애니메이션, 3D 저작 소프트웨어의 발전으로 인해, 3차원 입체영상 기술은 기존의 고가의 선택 사양에서 현재는 하나의 필수 옵션의 기술로 진화하고 있다. 또한 양안 시차 기반 입체영상기술이 갖고 있는 근본적인 시청 피로감을 줄이기 위한 3차원 홀로그램 및 자동입체영상 디스플레이 기술 개발이 활발히 진행되고 있으나, 실사용에 이르기 까지 극복해야 할 하드

웨어의 안정성 등의 기술적 문제와 고가의 기술로 소비 시장에서의 가격 문제가 해결해야 할 요소이다 [13, 14, 15].

하드웨어 기술 개발과 더불어 영상 콘텐츠 제작 측면에서는 보다 편안한 시청 영상 제작 방법을 필요로 한다. 이를 위해, 영상 제작 단계에서 여러 가지 카메라 촬영 기법과 영상 전체 흐름에 부합하는 깊이 예산(Depth Budget) 제어가 필요하다. 다양하고 복잡한 입체영상 제어 요소들은 시청 안정 영역에 부합하는 경험적 지식에 따라 영상 제작 감독 및 편집자에 의해서 결정되어 왔으며, 입체영상 콘텐츠 및 디스플레이에 따른 시청자 실험 기반의 가이드라인 연구 결과들에 의해 결정되고 있다 [16, 17, 18, 19].

본 연구 결과는 이와 같은 맥락의 시청자 실험 기반 데이터 구축 및 분석 내용을 담고 있으며, 깊이 변화의 구간, 깊이 변화의 속도, 시청자의 깊이 변화 적응 시간의 3가지 측면을 고찰하고 있다.

3. 깊이 변화 구간

본 장에서는 입체영상의 콘텐츠적 구성 요소를 배제하고, 깊이에만 초점을 두고 깊이 인지의 변화 구간이 시각피로에 어떤 차이를 보이는지 알아보려고 한다. 깊이 변화의 기준은 음의 시차(Negative Disparity)의 시청 돌출영역과 양의 시차(Positive Disparity) 후퇴영역 사이의 전환이며, 그 전환이 시각 피로에 어떠한 영향을 미치는지 시청자 실험을 통해 살펴본다.

(그림 1) 깊이변화 실험영상 및 환경

(Figure 1) Test Image and Environment for Depth Change Range

3.1 실험 구성

실험에 쓰이는 입체 영상은 (그림 1)과 같이 성인 누구나 이해 할 수 있는 검은 바탕에 지구 이미지를 삽입하여 실험영상을 제작하였으며, 실험

환경은 55인치 3DTV를 3m의 거리에서 시청하도록 하였다. 영상 콘텐츠의 구성은 깊이 변화 이외의 모든 요소들을 제거하여 깊이의 변화만을 관찰하기 위해 단순하게 하였다. 실험 영상은 일정한 시간 간격을 두고 깊이 값이 다른 2개의 입체영상 쌍 $I=(Img_1, Img_2)$ 을 시청 한 후, 피로도 설문을 작성하게 했다.

각각의 입체영상에서 지구의 크기는 동일하나, 깊이 설정을 다르게 함으로써 깊이 영향 요소만을 고려하였다. $D(Img_1), D(Img_2)$ 는 각 입체영상의 상대적 깊이 차이를 의미한다. 일반적으로 깊이 차이는 양안의 수렴 위치를 0의 값으로 설정하고, 주어진 양안 영상의 픽셀 차이(왼쪽 영상 기준)가 수평으로 얼마인지 백분율(%)로 나타낸다. 차이가 음의 값이 나타날 때 이를 음의 시차인 돌출 시각이 되며, 양의 값이 나타날 때, 양의 시차인 후퇴 시각이 된다. 영상의 깊이 정보는 다음을 만족하도록 변화를 주었다.

$$D(Img_1), D(Img_2) \in \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$$

각각의 값은 깊이 차이이며 단위는 백분율(%)이다. 음과 양의 차이는 기존 연구[17, 19]에서 권고하고 있는 2%에 과다 시차 3%까지 확장하여 영상 쌍 $I=(Img_1, Img_2)$ 42개를 제작하고, 그 영상들을 조합하여 하나의 실험 동영상을 구성하였다. 하나의 실험 영상의 길이는 쌍 영상 앞뒤에 블랙영상을 포함하여 10초이며, 한 피실험자 당 실험시간은 설문작성을 포함하여 전체 약 10분 정도 소요되었다.

(그림 2) 동공거리 측정과 입체맹 테스트 영상

(Figure 2) IPD Measuring and Stereo-blindness Testing Image

3.2 실험 진행

실험설문지는 피실험자의 기본정보와 입체 영상시청 관련 설문, 실험영상 설문으로 구성되어

있다. 기본정보는 각 개인마다 갖고 있는 서로 다른 신체적 조건과 입체 영상과의 관계 분석을 위한 설문이며, 계측이나 실험 타당성을 위해, (그림 2)의 왼쪽 그림과 같이 동공 거리 측정 장치를 이용하여 IPD(inter-pupillary distance)를 측정하였으며, 오른쪽 그림의 영상을 활용하여 실험 전에 피실험자의 입체맹(Stereo-blindness)을 테스트하였다. 입체 영상시청 관련 설문지는 입체 영상(영화, TV, 게임) 경험 횟수와 영상 시청 시 집중하는 정도에 대한 설문으로 이루어져 있다. 실험영상 설문은 실험영상 시청 후 작성하는 것으로 시각피로에 관련된 질문을 5점 척도로 제시하였다. 실험은 11명을 대상으로 하였다.

3.3 실험 데이터 분석 및 고찰

실험 데이터 분석은 SPSS 통계 툴을 이용하였으며, 총 462개(인원수 11명 x 실험 영상 수 42개)의 설문데이터로 분석을 수행하였다.

분석 기준 설정을 위해, 처음 영상 Img_1 을 기준으로 Img_2 로 전환 시 지구그림이 앞으로 나오면 '전진', 뒤로 들어가면 '후진'으로 나누어 '방향' 변수를 설정하였다. '방향'을 독립변수로, 설문된 '시각피로' 값을 종속변수로 설정하여 T-test를 실시한 결과 <표 1>과 같이, 유의수준 5%에서 '전진'과 '후진' 간의 유의한 차이를 보였다. 결론적으로 전진(후퇴영역에서 돌출영역) 영상이 후진(돌출영역에서 후퇴영역) 영상에 비해 시각 피로가 높다고 할 수 있다.

<표 1> 깊이 변화 방향과 시각 피로 분석 결과

Forward	Backward	Average Difference	t	p
2.45	2.19	.26	2.196	.029

<Table 1> T-test Result about Depth Change Direction and Visual Discomfort

깊이 변화의 절대적 차이의 관계성을 알아보기 위해, 전진과 후진에 대한 방향 분리 후, 다음 수식과 같이 절대적 깊이 차를 기준으로 회귀분석을 수행하였다.

$$G = |D(Img_1) - D(Img_2)|$$

<표 2>는 전진과 후진, 깊이차를 기준으로 한 평균 데이터와 전진과 후진에 대한 회귀분석 적합성 데이터를 보여 주고 있다.

<표 2> 방향과 깊이차 데이터 및 회귀모형

Direction	G	Average	Std. Dev.
Forward	1	1.23	.422
	2	2.24	.999
	3	2.95	1.120
	4	3.24	1.032
	5	3.86	.990
	6	3.73	1.348
Backward	1	1.38	.718
	2	1.82	.983
	3	2.41	1.085
	4	2.88	1.244
	5	3.27	1.077
	6	3.91	1.375

	R	R ²	F	p
Forward	.682	.465	198.933	.000
	$y = 0.875 + 0.592x$			
Backward	.596	.356	126.362	.000
	$y = 0.870 + 0.497x$			

<Table 2> Analysis and Regression Model for Direction and Depth Change Range

전진, 후진의 경우, 모두 양의 상관관계를 나타내므로, 깊이 변화량의 절대적 차이가 클수록 시각 피로는 크다고 말할 수 있다. 또한, 회귀분석 식에서 기울기 값이 전진일 때 크므로, 앞의 t-Test 분석 결과와 같이 같은 깊이 변화량에 대해 전진 영상이 피로에 더 영향을 많이 준다고 해석 할 수 있다. 다음 <표 3>은 깊이 변환 구간의 안정 영역으로, 5점 척도의 3점 이상을 과다 피로로 설정할 경우, 안전 영역을 유추할 수 있다. 또한, 회귀분석 그래프 수식을 이용하여 깊이 변화 종속 변수를 기준으로 시각 피로를 유추 할 수 있는 정량적인 결과를 도출하였다.

<표 3> 깊이 변화 구간 안정 영역

		Img_2						
		3	2	1	0	-1	-2	-3
Img_1	3	0	1.18	1.91	2.45	3.36	3.64	3.73
	2	1.91	0	1.27	1.91	3.00	3.00	4.09
	1	1.73	1.36	0	1.09	2.64	3.27	3.36
	0	2.73	2.00	1.27	0	1.36	2.55	3.09
	-1	2.91	2.45	1.91	1.09	0	1.36	2.18
	-2	3.55	3.00	2.36	1.91	1.45	0	1.09
	-3	3.91	3.00	2.73	2.09	1.55	1.18	0

<Table 3> Safety Zone of Depth Change Range

4. 깊이 변화 속도

앞의 3장에서 깊이 변화 구간을 기준으로 한 안정 영역을 도출하였다. 본 장에서는 변화 구간 또는 전체적 깊이 변화의 속도에 대한 실험 분석을 진행하였다. 깊이 변화의 속도란 임의 장면의 깊이 값이 시간의 흐름에 따라 점진적으로 변화하는 속도를 의미한다. 일정한 시간이 있을 경우, 깊이 변화 값이 크다면, 변화 속도는 높다고 할 수 있다.

4.1 실험 구성과 진행

실험에 활용되는 환경은 3장의 실험 구성과 같이 55인치 3DTV와 3m 위치에서 구형의 객체를 바라보는 설정이다. 앞의 3장 실험에서는 깊이 변화 구간과 시각 피로와의 상관관계를 살펴 보았다면, 본 실험에서는 시간의 흐름에 따른 깊이 변화 속도와 시각 피로와 상관관계를 살펴보고자 한다. 부가적으로 시간의 흐름에 따라 입체감 및 선명함과 같은 정성적 요인과 눈의 깜빡임과 비정합(두개의 영상으로 보이는 현상)과 같은 물리적 요인도 함께 살펴보았다.

실험영상은 기존의 3%내외의 시차에서 6%까지 გადა 시차 범위까지 확장함으로써 실험의 시각 피로 발생 빈도를 높여 시간과의 연관성을 도출하고자 했다. 피실험자는 3장의 실험 진행 과정과 같이 기본 설문과 동공 거리 측정, 입체맹 측정 과정을 거치고, 제작된 실험 영상을 시

청하게 된다.

기준이 되는 깊이 변화 구간(DC) 및 깊이 변화 속도(DV)를 두 개의 독립변수로 설정한다. 두 독립변수에 따라 시각피로(VD , Visual Discomfort), 입체감(FD , Feeling of Depth), 선명함(VC , Visual Clearance), 눈 깜박임(EF , Eye Flicker), 비정합(NC , No Convergence)의 5가지 요소를 종속변수로 보고, 시청자 설문을 진행하였다. 깊이변화 구간 및 변화 속도는 다음과 같이 구간 8레벨, 속도 5레벨을 설정하였다.

$$DC(Image) \in \{-5, -4, -3, -2, -1, 2, 4, 6\}$$

$$DV(Image) \in \{0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5\}$$

깊이 변화 구간, DC 값은 0부터 출발하여 DC 값까지의 일련의 깊이 변화가 이루어진 영상을 의미한다. 즉, -5의 경우, 0에 놓인 구 객체가 돌출영역 5% 까지 재현되는 영상을 의미한다. 변화 속도 값은 변화 구간의 완성되기까지의 시간을 의미한다. 단, 초당 영상 프레임 수는 24프레임으로 간주하고, 모든 영상은 광고 지속 시간인 15초로 제한하였다. 예를 들어, $DC(Image)=-5$, $DV(Image)=1.0$ 인 경우, 0%에서 돌출영역 5%까지 객체가 움직이며, 그 움직임 완성 시간은 1.0초에 이루어진다. 따라서 15초 동안 15번의 객체 돌출영상을 관찰하게 된다. 같은 DC 값에 DV 값이 작다면, 시청자가 느끼는 속도는 더욱 빠를 것이며, 15초 동안 반복되는 횟수는 늘어날 수 있다. 영상 간의 균일한 반복 회수 조정을 위해, 가장 느린 속도를 갖는 2.5의 6번에 맞추었다.

이와 같은 제약 조건 하에, 도출 될 수 있는 영상의 조합은 40개이며, 조합에 따른 동영상 제작하고, 무작위로 조합된 동영상 관찰한다. 동영상 간의 일정한 회복 유지 시간 5초가 주어졌으며, 설문 문항 작성 시간을 고려하면 피실험자가 실험에 임하는 시간은 20분 내외이다.

4.2 실험 데이터 분석 및 고찰

설문 데이터는 30명에 해당하는 데이터 1,200개의 설문지에 대해 사전 설문지 분석을 통해 과대/과소 입체감 인지 데이터를 제외한 929개의 설문지를 분석 대상으로 하였다.

4.2.1 요인 분석

본 실험의 종속변수로 다루어 졌던 시각피로 (VD), 입체감(FD), 선명함(VC), 눈깜박임(EF), 비정합(NC)의 5가지 요소와 변화 구간(DC), 속도(DI)의 두 독립변수간의 요인 분석(Factorial analysis)을 통해 상호관련성을 평가해 보았다. (그림 3)은 깊이 변화 구간을 가로축으로 속도를 세로축으로 한 각 종속변수들의 관계 위치를 도식화 한 그래프이다. 그래프의 결과와 같이, 시각피로(VD)는 구간과 속도에 모두의 영향을 받으며, 입체감(FD)과 선명함(VC)은 속도에 보다 의존적이며, 눈 깜박임(EF)과 비정합(NC)은 구간에 보다 의존적임을 알 수 있다. 결과적으로 시간 변화에 따른 물리적 시각 부분(눈 깜박임, 비정합 등)은 깊이 변화 구간이 큰 영향을 미치며, 인지적 시각(입체감, 선명함) 부분은 깊이 변화 속도가 영향을 주는 것으로 판단 할 수 있다.

(그림 3) 깊이 변화 구간 및 속도에 따른 요인 분석

(Figure 3) Factorial Analysis with Range and Velocity of Depth Change

4.2.2 경계 영역 도출

4.1의 실험 구성 시, 깊이 변화 구간은 돌출 및 후퇴 영역의 두 구간으로 구분되어 졌다. 즉, 초기 깊이 위치를 0으로 지정하였으므로, 설문 데이터를 돌출 영역과 후퇴 영역으로 그룹화 할 수 있다. 본 절에서의 분석 목적은 이와 같이 그룹화 된 두 영역에서 깊이변화 구간과 속도의 영향이 시각피로(VD)와 입체감(FD)에 미치는 시간 흐름 상의 경계 영역을 도출하는데 목적을 둔다. 경계 영역을 도출하기 위해, 다음과 같은 그룹화 기법을 사용한다.

Algorithm: Data Partitioning

```
S: Entire Data Set,  $S = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 
BL: Boundary Value List

for (  $k = 1 \dots n-1$  )
    Divide two set  $S_1, S_2$ ,  $S_1 = \{e_1, \dots, e_k\}$ ,  $S_2 = \{e_{k+1}, \dots, e_n\}$ 
    Performing T-test with  $S_1$  and  $S_2$ 
    if (  $p\text{-value} < 0.05$  ) Insert  $e_k$  to BL
    else go next step
```

(그림 4)는 후퇴영역에서의 그룹화 기법에 따른 경계 영역의 도출 그래프이다. 시각피로의 경우 4% 속도 2.5에서부터 피로가 나타나기 시작하고, 6% 속도 2.0에서 상대적으로 높아지는 경계 영역으로 분석되었다. 입체감의 경우는 6% 속도 2.5가 경계 영역 지점으로 도출되었다. 기존의 가이드라인(후퇴 영역 4%)들과 본 결과의 관계성을 살펴 볼 때, 4% 위치는 결정적 안전 영역이며, 입체감을 제공하는 최대 안전 경계 영역은 6% 속도 2.5 이하로 판단 할 수 있다.

(그림 4) 후퇴영역 경계 그래프

(Figure 4) Boundary Graph on Positive Disparity Region

(그림 5) 돌출영역 경계 그래프

(Figure 5) Boundary Graph on Negative Disparity Region

(그림 5)는 돌출영역에서의 경계 영역 그래프이다. 그룹화 기법에 따라 나뉜 결과를 고찰하면, 돌출영역에서의 시각피로는 2% 속도 1.5에서 시작되어, 3% 속도 1.5까지의 경계 영역 지

점을 알 수 있으며, 입체감의 경우 3% 속도 2.0과 4% 속도 0.5에서의 경계 영역 지점으로 살펴볼 수 있다. 이와 같은 결과는 후퇴영역과 동일하게 기존의 돌출영역 가이드라인 2.0%를 검증해 볼 수 있으며, 입체감을 최대한 살린 시각피로의 한계 영역은 3% 속도 2.0에서 1.5 사이임을 분석 결과를 통해 알 수 있다.

5. 깊이 변화 적응

3장에서는 안정 깊이 변화 구간을 도출하였고, 4장에서는 깊이 변화 속도에 대한 경계 영역을 도출하였다. 본 장에서는 돌출영역 구간에서 발생하는 피로를 어느 정도 인간의 시각 인지 측면에서 적응이 가능한가, 가능하다면 어느 정도 시간이 필요한지를 정량적 수치로 도출하고자 하는데 목적을 둔다.

5.1 실험 구성과 진행

실험 입체영상의 구성은 3장의 지구 객체 영상과 동일하며, 시청피로 유발을 위해, 돌출영역에만 관심을 갖는다. 깊이 변화 구간은 돌출영역 1%에서 시작하여 0.5% 씩 증가하여 최대 5%까지 도달하는 총 9개의 영상을 순차적으로 구성하였다. 본 실험 영상은 10초로 구성하고, 실험 영상 사이에는 블랙 영상 10초를 삽입하여, 피실험자는 총 3분 정도 길이의 돌출영역 입체동영상을 시청한다. 앞의 3장과 4장의 내용과 같이 피실험자는 사전설문지, 동공 거리 측정 등의 실험전 과정을 거친다. 본 실험에서는 피실험자 설문지 아닌, 적응 시간을 정량적으로 알아보기 위하여, 시청하는 동안 피실험자의 느낌을 피드백 할 수 있는 입력 장치와 뇌파 신호 측정을 동시에 사용하였다. (그림 6)은 뇌파 부착 실험 환경 및 입력 장치를 보여주고 있다.

(그림 6) 실험 환경 및 입력 장치

(Figure 6) Experimental Setup and Input Device

총 30명의 피실험자를 대상으로 하였으며, 디스플레이 장치는 기존 3장, 4장 실험과 동일한 55인치 디스플레이 장치이며, 3m 거리도 함께 유지 하였다. 사용자 입력을 위한 레버 장치(그림 6 오른쪽)는 기존 조이스틱 형태를 취하며, 근육의 움직임을 최소화 할 수 있는 부드러운 조작이 가능하도록 제작되었다. 뇌파 측정 장비는 Laxtha사의 PolyG-A를 사용하였다.

실험 환경 속의 피실험자는 움직임을 최소화 하고, 오른손을 입력 장치에 올려놓은 후, 주어진 실험 동영상을 시청한다. 시청하는 동안 시각피로 또는 기타 불편함을 느끼는 순간 입력 장치를 임의 방향으로 움직여 유지한다. 계속적 영상을 시청하는 동안, 기존에 느꼈던 피로나 불편함이 사라지거나 익숙해지는 순간에 레버를 놓도록 하여 그 지속시간을 관찰하였다. 입체영상의 시각피로 및 적응에 해당하는 뇌파 신호와의 상관관계를 파악하기 위해서는 뇌파 신호와 입력 장치 신호를 동기화 하여 수집하여야 한다. 이를 위해 별도의 동기화 및 수집 모듈을 구현하여 사용하였다. 데이터 동기화 수집 모듈은 입체영상 동영상 플레이와도 동기화 되어, 피실험자의 전체적인 반응을 동시에 수집할 수 있다.

<표 4> 관심 대상 뇌파 신호 데이터 분석

Relative Alpha	Z	p
bRA_ch2 - aRA_ch2	-1.791	.037**
bRA_ch11 - aRA_ch11	-1.704	.044**

Relative High-Beta	Z	p
bRHB_ch2 - aRHB_ch2	-2.447	.007**
bRHB_ch11 - aRHB_ch11	-2.572	.005**
bRHB_ch13 - aRHB_ch13	-2.396	.008**

<Table 4> Interesting EEG Data Analysis

5.2 데이터 분석 및 고찰

입체영상 시청 및 일반적인 뇌파 분석에 사용되는 뇌파의 지표는 매우 다양하다. 분석에 사용되는 뇌파 신호는 피실험자의 입력을 중심으로 전후 일정 시간 동안의 데이터를 필터링하여 사용하였다. 다양한 뇌파 신호 중, 데이터 분석을 통해 얻은 유의한 뇌파 신호는 <표 4>와 같이 상대알파파와 상대고베타파이다. 알파파는 안정적일 때 나오는 신호이며, 고베타파는 긴장과 흥

분의 경우 표출되는 신호로 알려져 있다. 유의한 뇌파의 위치는 사고중심의 2번, 시각 중추 11번과 13번이었다.

2번, 11번 채널의 상대알파파와 2번, 11번, 13번의 상대고베타파가 유의하였다. 그들의 상관관계를 분석한 결과, 2번 채널에서 상대알파파가 증가되면, 11번 채널에서는 감소하는 경향이 있었고, 상대고베타파의 경우 상대알파파와 반대로 2번 채널이 감소하고 11번, 13번 채널에서 증가하는 현상이 자연스럽게 도출되었다. 즉, 긴장과 안정이 유기적으로 작동되고 있음을 의미한다. 입력 장치 조작 시간 전후 동안의 뇌파 신호가 통계적으로 유의하므로, 입력 장치 조작 시간의 평균 수치 3.88초의 값을 기준으로 말할 수 있을 것이다. 즉, 돌출영역 제작 과정에 본 평균 시청 적응 시간 데이터를 활용하여 보다 편안한 입체영상 시청을 유도할 수 있을 것이다.

6. 결론

양안 시청 방식의 3차원 입체영상 기술은 기존의 선택에서 필수 옵션으로 확장되고 있다. 본 연구에서는 깊이 변화 관점에서 입체영상 제작을 위한 안전 기준 설정에 필요한 피실험자 기반의 연구 결과를 설명하고 있다. 결과적으로 깊이 변화 구간, 깊이 변화 속도, 깊이 변화 적응의 3가지 측면에서 기준 값을 도출하였다. 도출된 기준 및 안전 영역 설정 값은 입체영상 제작 및 관련 하드웨어 개발 등의 가이드라인들로 활용될 수 있으며, 보다 편안한 입체영상 시청을 유도할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Lenny Lipton, "Foundations of the Stereoscopic Cinema - A Study in Depth," Van Nostrand Reinhold Company, 1982
- [2] P. Howard, and B. J. Rogers, "Seeing in Depth: Depth perception", Oxford University Press, 2008
- [3] M. Emoto, Y. Nojiri, and F. Okano, "Changes in fusional vergence limit and its hysteresis after viewing stereoscopic TV," Displays, Vol.25, pp. 67-76, 2004
- [4] S. Yano, S. Ide, T. Mitsuhashi, and H. Thwaites, "A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images," Displays, Vol. 23, pp. 191-201, 2002.
- [5] L. M. J. Meesters, W. A. IJsselstein, and P. J. H. Seuntjens, "A survey of perceptual evaluations and requirements of threedimensional TV," IEEE Trans. Circuits Systems Video Technology, Vol. 14, pp. 381-391, 2004
- [6] C. Blehm, S. Vishnu, A. Khattak, S. Mitra, and R. W. Yee, "Computer vision syndrome: A Review," Survey. Ophthalmology, Vol. 50, pp. 253-263, 2005.
- [7] M. Lambooi, and W. IJsselstein, "Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: A Review," Imaging Science Technology, Vol. 53, pp. 201-214, 2009.
- [8] K. Uki, and P. A. Howarth, "Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories and observations," Display, Vol. 29, pp. 106-116, 2008.
- [9] G. Mather and D. R. R. Smith, "Depth cue integration: stereopsis and image blur," Vision Research, Vol. 40, pp. 3501-3506, 2000.
- [10] F. Speranza, W. J. Tam, R. Renaud, and N. Hur, "Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images," Proc. SPIE, vol.6055, pp. 94-103, 2006.
- [11] Stereoscopic Imaging Research Center, <http://www.sirc.or.kr>
- [12] Yoonhyung Lee, "Analysis of Visual Fatigue and Depth Perception in Stereoscopic Image," Master Thesis, Soong-Sil University, 2011.
- [13] 3D Display Research Center, <http://www.3drc.org/>
- [14] KOCCA, "Recent Trends of 3D Hologram Technology," CT Issues I, Vol. 35, Apr., 2014

- [15] KOCCA, "Trends of 3D Human Factor Research and 3D Converting Technology," CT Insight, Vol. 26, Oct., 2013
- [16] Kwang-Ho Baek, Min Seo Kim and Myung Hee Han, "The study of stereoscopic editing process with applying depth information," Journal of Digital Contents Society, Vol. 13, No. 2, pp. 225-233, 2012
- [17] "3D stereoscopic filmmaking and viewing Guidelines," KOFIC, Aug., 2013
- [18] Yongwhan Lee, Changhoon Kang and Jinseob Shin, "A Study on the Video Production Reflecting the Characteristic of 3D Stereoscopic," Proc. of Korea Society of Computer Information, Vol. 21, No. 2, pp. 303-306, Jul., 2013
- [19] "3DC Safety guidelines for Dissemination of Human-friendly 3D," 3D Consortium, Japan, 2011

김 남 규

1995년: 한국과학기술원 전산학과 학사

1998년: 포항공과대학교 전자계산학과 석사

2005년: 포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사

2000년~2001년: ATR연구소(일본) 연구원

2001년~2004년: ㈜닷에이스 기술연구소 연구원

2005년~2006년: 포항공대 정보통신연구소 연구원

2006년~2009년: KT중앙연구소 선임연구원

2009년~현재: 동의대학교 게임공학과 조교수

관심분야 : 가상현실(VR), 증강현실(AR), 인간과 컴퓨터 상호작용(HCI), 입체영상(Stereoscopy), 게임(Game)