

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제17권 제4호, 2012년 7월 (JBE Vol. 17, No. 4, July 2012)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2012.17.4.572>

무안경식 Interactive 3D Display: 시청거리, 시청방위, 협응동작이 시각피로에 미치는 영향

김 덕 중^{a)}, 이 형 철^{a)†}, 김 신 우^{a)}

Glasses-free Interactive 3D Display: The Effects of Viewing Distance, Orientation and Manual Interaction on Visual Fatigue

Duk-Joong Kim^{a)}, Hyung-Chul O. Li^{a)†}, and ShinWoo Kim^{a)}

요 약

본 연구에서는 interactive 3D(i3d) 시스템을 사용하는 시청 환경에서의 시각 피로를 측정하고, 시각 피로에 영향을 주는 중요한 변인이 무엇인지를 연구하였다. i3D는 무안경식 디스플레이로 사용자가 화면에 제시되는 자극에 대해 손을 사용한 간단한 상호작용을 지원한다. 실험 1에서는 i3D 환경에서 시각피로를 측정할 수 있는 설문문항을 개발하기 위해, 개방형 설문을 실시한 후 사용자의 응답을 다시 설문문항으로 사용하여 요인분석을 통해 문항의 타당성을 검증하였다. 실험 2에서는 실험 1에서 도출한 피로측정 설문지를 사용하여 다양한 시청환경에서 피로를 측정하였다. 협응동작(유/무), 시청거리(1/2/4m), 시청방위(0/28/56°)의 세 변인을 사용하여 피험자내 요인설계를 통해 각 조건에서의 시각피로를 측정하였다. 그 결과, 시청거리가 멀어질수록 시각피로가 줄어드는 결과를 획득하였으며, 시청방위와 협응동작은 시각피로에 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 실험조건 중 극단적인 시청환경 (예를 들어, 시청거리 1m, 시청방위 56°)인 조건에서는 피로감이 줄어드는 결과를 획득하였으나 이는 무안경식 디스플레이의 한계로 인해 입체감이 사라져 참가자들이 이중상을 경험한 결과인 것으로 해석하였다. 본 연구의 제한점과 후속 연구에 대한 제안을 종합논의에 제시하였다.

Abstract

In this study, we investigated visual fatigue in i3D system and basic factors that contribute to visual fatigue in the system. i3D is a type of glasses-free display which supports elementary manual interaction of users with the display. In Experiment 1, we performed open-ended survey of visual fatigue and collected responses from observers which then were used as survey questions for visual fatigue. The questions were validated by factor analysis from which we derived fatigue measurement scale. In Experiment 2, we measured visual fatigue in various conditions using survey questions obtained from Experiment 1. Using manual interaction (present/absent), viewing distance(1/2/4m), and viewing orientation(0/28/56°) as three factors in within-subject design, we measured visual fatigue in each condition. The results indicated that visual fatigue decreases with farther viewing distance, but viewing orientation and manual interaction does not influence visual fatigue. Although fatigue unexpectedly decreased in an extreme viewing condition (e.g., distance 1m, orientation 56°), the results were obtained because of technical limitation of glasses-free 3D display. General discussion provides discussion on limits of the current study and suggestions for future research.

Keyword : Glasses-free 3D, Visual fatigue, Viewing distance

1. 서론

최근에 가속화된 가정용 3DTV의 보급 및 발전에 따라, 일반 가정이나 극장에서 3D로 구현된 영상을 감상하는 것이 현실화 되었다. 3D로 구현된 영상은 이전에 사용되어왔던 일반 2D영상에서는 제공되지 않는 깊이정보를 제공하여, 시청자에게 좀 더 실감나는 영상을 제공한다는 장점이 있다. 사람은 외부세계를 3차원 공간으로 지각하여 깊이감을 느낄 수 있는데, 이는 두 개의 눈을 가지고 있기 때문이다. 두 눈이 물리적으로 떨어져 있음에 따라, 왼쪽 눈에 들어오는 좌안 영상과 오른쪽 눈에 들어오는 우안 영상은 서로 차이를 가지게 된다. 이와 같은 두 눈의 영상차이, 즉 양안 시차를 통해 우리는 외부세계를 3차원으로 지각할 수 있다. 최근에 개발되고 있는 3D영상들은 양 눈에 다른 영상을 제시함으로써 깊이감을 유발한다.

많이 알려진 안경방식 3D 디스플레이에서 3D를 구현하는 방식은 크게 두 가지로 나뉜다. 화면에서 좌안 영상과 우안 영상을 한 줄씩 배치하고 안경의 렌즈를 통해 한쪽의 영상만 제시함으로써 두 눈에 서로 다른 영상을 보여주는 *passive* 방식과, 화면에서 좌-우안 영상을 빠른 속도로 번갈아가며 제시하고, 안경의 렌즈도 이와 동기화하여 좌-우안 영상만을 선택적으로 각 눈에 제시함으로써 두 눈에 서로 다른 영상을 제시하는 *active* 방식이 있다. 이러한 안경방식 3D디스플레이 외에도 안경을 사용하지 않고도 입체지각이 가능한 무안경식 디스플레이도 최근 각광받고 있다. 안경의 사용이 용이하지 않은 옥외 광고판이나 전광판 등에서도 입체지각이 가능한 것이 무안경식 디스플레이의 장점이다. 하지만 무안경식 3DTV 역시 안경식 3DTV와 완전히 동일한 방식으로 입체지각을 구현하지는 않지만, 궁극적으로는 좌안과 우안 영상을 다르게 제시하는 것을 기반으로 입체감을 구현한다. 안경식과 무안경식 3DTV의 물리적인 구

현방식은 다르고, 각각 장단점이 있으나, 결국 안경식이든 무안경식이든 좌-우안 영상을 다르게 제시하여 입체감을 지각하게 하는 논리적인 구조는 같다.

그런데 이 방식들은 일반적인 환경이 아닌 인공적인 방식으로 깊이감을 유발하기 때문에, 시각피로, 영상왜곡과 같은 문제점들을 수반한다. 시각피로는 3D영상을 시청할 때 발생하는 현기증이나 어지러움을 일컫는데, 수렴-조절의 불일치가 주요한 원인으로 알려져 있다^{[1][8][9][10]}. 수렴(*convergence*)은 관찰자로부터 대상까지의 거리에 따라 두 눈의 수정체 각도가 달라지는 현상을 지칭하는데, 관찰자로부터 멀리 떨어진 대상을 바라볼 때는 평행하게 되고 대상이 가까워질수록 수정체사이의 각도가 줄어들게 된다. 조절(*accommodation*)은 대상의 거리에 따라 수정체의 두께가 달라짐을 일컫는데, 대상이 멀어질수록 두께가 얇아지고 가까워질수록 두꺼워 짐으로써 망막에 선명한 상이 맺히도록 하는 역할을 한다.

일반적인 자연환경에서는 특정한 거리의 대상을 바라볼 때 수렴과 조절의 정도가 일치하게 되지만, 3D 디스플레이의 영상에서는 이 둘 간의 불일치가 발생한다. 왜냐하면 3D 디스플레이에서는 실제로 대상은 항상 화면상에 위치하여 관찰자로부터의 거리가 동일하기 때문에 선명한 상을 맺히게 하려면 조절에 의해 일정한 수정체의 두께를 유지하게 된다. 반면, 수렴은 지각된 거리에 따라 두 수정체 간의 각도를 줄이거나 늘이는데, 이는 조절과 달리 ‘지각된’ 거리에 기반을 두기 때문에 수렴-조절 불일치에 따른 시각피로가 발생한다^{[11][12]}.

3D영상 시청 시 발생하는 시각피로에 대한 다양한 연구들이 이루어져 왔다. 시각피로에 대한 연구흐름을 크게 나뉘보면 첫째로 시각피로를 유발하는 원인이 무엇인지를 찾아내는 것, 둘째로 유발된 시각피로를 어떻게 측정할 것인가의 두 가지로 나눌 수 있다. 시각피로 유발원인에 대해서는 수렴-조절 불일치가 가장 중요한 것으로 알려져 있다^[1]. 이외에도 시청환경(시청거리, 시청방위, 조도 등)의 요인들이 시각피로를 유발하지만 이 요인들은 3D 시스템의 고유한 문제는 아니다.

피로감 연구의 두 번째 측면인 시각피로 측정에 대한 연구도 상당수 진행되어 왔다. 앞서 언급한 시각피로의 원인

a) 광운대학교 (Kwangwoon University)

‡ 교신저자 : 이형철 (Hyung-Chul O. Li)

E-mail: hyung@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5425 Fax: +82-2-941-9214

※ 본 연구는 지식경제부 및 전자부품연구원의 산업원천기술개발사업(인터랙티브 UI 기반 3D 시스템 기술 개발)의 일환으로 수행하였음.

· 접수일(2012년5월15일), 수정일(2012년7월16일), 게재확정일(2012년7월17일)

에 대해 연구하기 위해서는 시각피로를 측정하는 타당한 방법론의 확립이 선행되어야 하기 때문이다. 기존 연구에서 안경식 3D 디스플레이를 시청할 때 발생하는 피로감을 측정하는 설문지를 개발하였다^[2]. 이 연구에서는 시각피로의 하위요인을 규명하고 각각을 측정하는 문항을 개발하였는데, 참가자에게 시청시간과 양안시차를 달리한 영상을 보여주고 직접 해당문항으로 측정함으로써, 문항의 타당성을 보여주었다. 이 연구외에도 3DTV와 3DTV 시청시 느껴지는 시각피로에 대한 연구는 많이 이뤄졌으나^{[3][4][5][6][7][13]}, 무안경식 3DTV에 대해서는 연구가 전무하다.

본 논문에서는 i3D라는 무안경식 시스템을 사용할 때의 피로감을 측정하기 위한 설문도구를 개발하고 이를 통해 시청거리, 시청방위, 협응동작에 따른 피로감을 연구하였다. i3D는 interactive-3D의 줄임말로, 사용자와 3D 디스플레이가 상호작용할 수 있는 새로운 영상시스템이다. 이때의 상호작용이란, 3D로 제시되는 영상자극을 직접 손으로 만지거나 회전 시키는 등의 행위를 의미한다. 즉, i3D에서는 3D 디스플레이를 수동적으로 시청하는 것을 넘어서 시청자와 디스플레이의 콘텐츠의 상호작용이 가능하다. 또한 이 시스템을 구현하기 위해 사용하는 i3D 시스템은 무안경식으로 복수의 관찰시점을 지원한다.

그런데 안경식과 달리 무안경식 3D는 기술적인 한계로 인해 입체감을 지각할 수 있는 시청거리나 방위가 제한되어 있다. 안경식과 마찬가지로 두 눈에 서로 다른 영상을 제시함으로써 입체감을 구현한다는 원리는 동일하지만 다른 구현방식을 사용하며, 이에 따라 시각피로도 달라질 수 있다. 따라서 무안경식 3D를 시청할 때 발생하는 시각피로를 측정하기 위해서는 일반적인 안경식에서 사용된 것과는 다른 특화된 측정도구가 필요하다. 더불어 i3D 시청환경에서는 사용자와 디스플레이의 상호작용 동작이 존재하기 때문에 정적인 시청환경과는 다른 피로요인이 발생할 수 있다. 그럼에도 불구하고 무안경식 3D (혹은 무안경식 interactive 3D)에서의 시각피로 연구는 현재까지 존재하지 않는다.

본 연구는 i3D 시스템에서의 시각피로를 측정하기 위한 설문지를 개발하였고 (실험 1), 이를 통해 시청거리, 시청방위 및 협응동작에 따른 i3D 시청의 피로감을 측정하였다 (실험 2). 실험 1에서는 i3D 시청과 유사한 환경에서 참가

자들에게 피로관련 개방형 설문을 실시하였고 요인분석을 통해 공동요인을 추출하였다. 실험 2에서는 3가지 변인 (시청거리, 시청방위, 협응동작)을 조작하여 시각피로를 측정함으로써 i3D에서의 시각피로 연구에 대한 최초의 데이터를 획득하였다.

II. 실험 1: 피로 측정 설문문항 개발

1. 목적

기존의 연구에서 일반적인 3D시청 환경에서 피로를 측정하는 설문 문항이 개발되어있다. 하지만 무안경식 i3D시스템의 시청 환경은 일반적인 3D 시청환경과는 다르다. 따라서 실험 1에서는 i3D 시스템 환경에서 유발되는 주관적 시각피로를 측정하는 설문문항을 개발하였다.

실험 1은 크게 두 단계로 나뉘는데, 첫 번째 단계에서는 (실험1A) i3D의 시청환경과 유사한 환경을 갖추어 실험참가자에게 제시하고, 개방형 설문을 통하여 초기문항 수집을 하였으며, 두 번째 단계에서는 (실험1B) 수집된 문항들을 통해 시각피로를 측정하여 요인분석을 실시함으로써 문항들을 통계적으로 검증하였다.

2. 실험 1A. 초기문항수집

2.1. 참가자

대학생 20명이 참가하였다. 참가자들은 모두 정상시력 혹은 교정된 정상시력을 가지며, 입체지각에 문제가 없었다.

2.2. 실험장치

i3D 시스템은 무안경식 자유 시점의 시청환경을 지원한다. 그러나 연구당시 출시된 무안경식 디스플레이는 특정한 방위와 거리에서만 안정적인 입체감이 지각되도록 제작되었다. 이에 따라 무안경식에 비해 관찰시점과 방위가 자유로운 안경식 3D를 사용하여 초기문항을 개발하였다. 입체감의 구현원리는 무안경식과 안경식이 사실상 동일하기

때문에 최초 문항개발에서는 안경식의 사용이 무리가 없을 거라 판단하였다. 실험 2에서는 무안경식 i3D를 통해 시각 피로를 측정하였다.

안경식 3D 디스플레이는 앞서 언급한 것처럼 크게 passive 방식과 active 방식으로 나누어볼 수 있다. 두 방식의 구조가 다르기 때문에 passive 방식을 사용하는 현대IT사의 46인치 LCD 3D (S465D)와 active 방식을 사용하는 삼성의 46인치 LED 3D (UN46C8000XF)를 사용하였다.



그림 1. 실험에 쓰인 애니메이션인 우주순찰대(좌)와 실사인 월드컵(우)자극의 좌, 우안 영상

Fig. 1. Screen shots of two video clips(left: space patrol, right: world cup) used in Experiment 1A

2.3. 실험자극

3D 영상은 애니메이션으로 제작할 수도 있고 실제 촬영을 통해 제작할 수도 있다. 이에 따라 피로도의 일반화된 측정을 위해 3종류의 실사와 1종류의 애니메이션을 실험 자극으로 사용하였다. 실사에는 한 인물에 포커싱 되는 장면이 많은 영상 (전통혼례), 역동적인 움직임이 많은 영상 (월드컵), 많은 개체를 먼 시점에서 촬영한 영상 (개막행사) 이 쓰였으며 애니메이션으로는 특정대상에 대한 포커싱, 배경 및 전경에 대한 줌 인-아웃, 빠른 움직임 등이 다양하게 발생하는 영상 (우주순찰대)을 사용하였다. 그림 1은 실사영상(월드컵)과 애니메이션 (우주순찰대)의 좌, 우안 영상의 예 이다.

각 영상을 편집하여 하나의 영상이 끝나면 바로 다음 영상이 제시되도록 하여 하나의 동영상 파일을 제작하였다. 제시순서는 전통혼례-월드컵-우주순찰대-개막행사였으며, 각 영상은 약 8~9분의 길이로 편집하여 총 35분 길이의 영

상을 제작하였다.

2.4. 절차

테이블형 i3D 시스템과 최대한 유사한 환경을 조성하기 위해 디스플레이의 화면을 지면과 수평이 되도록 설치하였다. 테이블 옆에는 두 사람이 위에서 내려다보며 동시에 관찰 가능하도록 좌석을 배치하였다 (그림 2). 모든 관찰자의 관찰위치는 관찰자로부터 영상이 제시되는 디스플레이까지의 가장 짧은 거리는 30cm, 가장 먼 거리가 75cm가 되도록 고정하였고, 지면으로부터 디스플레이까지의 거리는 75cm 이었다 (그림 2).

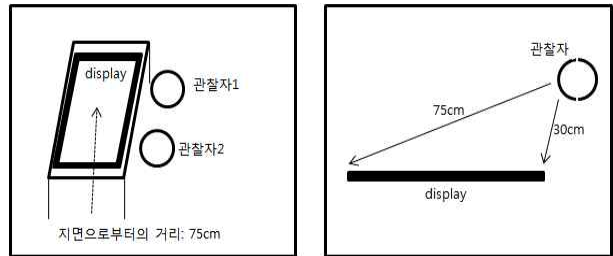


그림 2. 실험 1A의 실험환경에 대한 도식(좌)과 관찰자-디스플레이의 거리(우)

Fig. 2. Schematic diagram of Experiment 1A (left) and distance between observer and display (right)

각 디스플레이 (active, passive 방식)에 10명의 참가자를 할당하여 약 35분간 영상을 제시한 후, 자신이 경험한 불편감이나 감정에 대해 최대한 다양하고 구체적으로 기술하도록 요청하는 개방형 설문 (표1)을 실시하였다.

표 1. 개방형 설문 문항

Table 1. Open-ended questionnaire

여러분이 3D 영상을 시청하셨을 경우에 느끼게 되는 시각적 불편감 또는 시각적 피로감 증상에 대해서 적어 주세요(가능한 구체적으로). 특히, 가로로 누워있는 디스플레이를 볼 때에 경험하게 되는 불편감이나 피로감 증상이 있는데 이에 대해 가능한 한 구체적으로 기술해 주시기 바랍니다.

2.5. 결과

개방형 설문으로 수집된 응답의 개수는 총 109개였으며 (참가자당 평균 = 5.45), passive와 active 방식간의 응답내

표 2. 피로측정을 위한 31개의 초기문항
Table 2. 31 preliminary questions for fatigue measurement

예상 요인	문항	빈도
자극 요인	초점을 맞추기 어려웠다.	16
	응시한 곳의 상이 이중으로 보였다.	11
	입체감이 느껴지지 않았다.	11
	선명하지 않았다.	4
	응시한 곳 주변이 이중으로 보였다.	≤3
	화면 모서리의 깊이감이 모호하였다.	≤3
	화면이 한 눈에 들어오지 않았다.	≤3
	화면에서 어렵게 지각되는 곳의 색이 잘 구별되지 않았다.	≤3
	나에게서 가까운 디스플레이 부분의 영상이 흐릿하게 보였다.	≤3
	이전 영상의 잔상이 보였다.	≤3
안구 피로	깊이가 역전되어 보였다.	≤3
	눈이 피로하였다.	9
	눈이 아팠다.	4
	눈 깜빡임이 증가하였다.	≤3
	눈에 긴장감이 느껴졌다.	≤3
	눈이 뻑뻑하였다.	≤3
	눈에 힘이 들어갔다.	≤3
	눈물이 나왔다.	≤3
신체 불편	눈이 빠근하였다.	≤3
	어지러웠다.	8
	영상에 주의를 집중하는 것이 어려웠다.	4
	내려다보는 것이 불편하였다.	4
	졸렸다.	≤3
	가슴이 답답했다.	≤3
	안경이 불편했다.	≤3
신체 통증	속이 울렁거렸다.	≤3
	목이 아팠다.	4
	머리가 아팠다.	≤3
	관자놀이 부분이 아팠다.	≤3
	어깨가 빠근했다.	≤3
허리가 빠근했다.	≤3	

응은 매우 유사하여 구분하기 어려웠다. 따라서 응답을 디스플레이에 따라 구분하지 않고 사용하였다. 109개의 응답 중 최소 2명이상이 응답한 항목은 31개였으며, 이를 토대로 피로도 측정을 위한 31개의 초기문항을 구성하였다. 표 2는 실험 1A에서 두 명 이상 참가자들의 응답을 예상요인과 빈도로 구분하였다. 예상요인은 유사성에 근거하여 분류한 것으로 실험 1B에서 문항의 검증에 위한 요인분석에서 하나의 요인으로 묶일 가능성이 있는 문항들을 범주화 하였다.

3. 실험1B. 수집된 초기문항의 검증 (요인분석)

실험 1A에서는 개방형 설문을 통하여 참가자들의 자유로운 피로반응을 유도하였다. 실험 1B에서는 실험 1A에서 얻어진 반응을 그대로 초기문항으로 사용하여 참가자들에게 설문을 실시한 후 요인분석을 실시하였다. 가령, ‘초점을 맞추기 어려웠다’라는 반응에 대해서 실험 1B에서는 참가자들이 7점 척도 상에 평정을 하였고 이를 토대로 요인분석을 실시하였다.

3.1 참가자

대학생 50명이 참가하였다. 참가자들은 모두 정상시력 혹은 교정된 정상시력을 가지며, 입체지각에 문제가 없었다.

3.2. 실험장치 및 자극

실험 1A에서 사용한 두 개의 디스플레이를 그대로 사용하였다. 실험자극도 마찬가지로 실험 1A에서 사용한 영상을 사용하였으나 재생길이를 짧게 편집하여 총 재생시간이 5분이 되도록 조작하였다.

3.3. 절차

실험 1A와 동일하지만, 참가자들에게 개방형 설문이 아닌 각 문항에 대한 평정을 받았다. 실험에 쓰이는 설문지는 앞서 실험1A에서 얻은 31개의 응답을 그대로 문항으로 사

용하여 “1. 전혀 그렇지 않다” 부터 “7. 매우 그렇다” 까지 7점척도로 평정하도록 하였다. 또한 실험참가자가 설문에서 성실히 임했는가를 알아보기 위하여 역문항을 포함하였다. 역문항에는 자극요인의 “입체감이 느껴지지 않았다”를 역으로 한 “입체감이 느껴졌다”를 비롯하여, 자극요인의 “선명하지 않았다”, 신체불편감의 “어지러웠다”를 역으로 한 문항, 안구피로요인의 “눈이 아팠다”를 역으로 한 문항, 신체통증의 “머리가 아팠다”를 역으로 한 문항 등 총 5개의 문항을 역으로 구성하였다. 역문항들은 기존의 31개 문항과 합하여 설문지에는 총 36개의 문항이 사용되었다. 설문 문항은 어떤 요인에 속해있는가에 상관없이 랜덤하게 제시하였다.

3.4. 결과

역문항과 기존 문항간의 상관은 -.72로 참가자들은 대체

표 3. 최종 요인분석 결과
 Table 3. Results of factor analysis

	안구증상	시각경험	신체피로
27. 눈이 아팠다	.81		
36. 눈이 빠근하였다	.80		
34. 눈에 긴장감이 느껴졌다	.80		
6. 눈이 피로하였다	.78		
3. 어지러웠다	.74		
33. 눈에 힘이 들어갔다	.74		
15. 눈 깜빡임이 증가하였다	.64		
29. 응시한 곳의 상이 이중으로 보였다		.80	
8. 응시한 곳 주변이 이중으로 보였다		.77	
11. 화면이 한 눈에 들어오지 않았다.		.70	
19.나에게서 가까운 디스플레이 부분의 영상이 흐릿하게 보였다		.66	
18. 내려다보는 것이 불편하였다		.61	
1. 초점을 맞추기 어려웠다.		.61	
2. 이전 영상의 잔상이 보였다		.61	
25. 영상에 주의를 집중하는 것이 어려웠다		.57	
5. 입체감이 느껴지지 않았다		.55	
9. 어깨가 빠근했다			.76
24. 허리가 빠근했다			.75
21. 가슴이 답답했다			.74
17. 목이 아팠다			.64
14. 속이 울렁거렸다			.64
22. 관자놀이 부분이 아팠다			.63
30. 졸렸다			.54
4. 눈물이 나왔다			.46
Eigen value	4.62	4.09	4.00
설명량(%)	19.26	17.02	16.66

분석방법: 주성분 분석, 베리맥스 회전 (요인부하량 .4 이상만 포함)

로 성실하게 설문에 임하였음을 확인하였다. 다음으로 측정 문항의 구성타당도 검증을 위하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석은 역문항을 제외한 31개의 초기문항만을 이용하였다. 요인 추출방법으로는 주성분 분석 방법을 사용하였으며, Eigen value가 1이 넘는 문항들을 살펴 요인을 3개로 고정하고, 베리맥스 방식으로 요인 축을 회전하였다.

요인분석 과정 중에 어느 요인에도 속하지 못한 “7. 선명하지 않았다.”, “23. 화면에서 어둡게 지각되는 곳의 색이 잘 구별되지 않았다”, “26. 안경이 불편했다” 문항은 제외하였고, 두 요인에 중복하여 나타나는 “16. 눈이 뻑뻑하였다”, “32. 머리가 아팠다” 역시 분석과정에서 제외하였다. 나머지 26문항으로 최종 요인분석을 실시한 결과 세 개의 요인이 추출 되었으며, 이들은 51%의 변량을 설명하였다. 각 추출된 요인은 내용에 따라 안구증상요인, 시각경험요인, 신체피로요인으로 명명하였다.

요인분석 결과 요인구조가 명확하게 구분되었으나, 안구증상요인과 신체피로요인의 문항 수는 각각 7개인 반면 시각경험요인의 문항 수는 11개로 상대적으로 많았다. 하나의 요인에 많은 문항을 배치하는 것은 비효율적이라 판단하여 시각경험 요인에서 부하량이 가장 낮은 두문항인 “28. 깊이가 역전되어 보였다”와 “10. 화면모서리의 깊이감이 모호하였다” 문항을 분석에서 제외하여 다시 요인분석을 실시하였다. 둘을 제외한 최종 요인분석(표3)에서 세 요인은 전체의 53%의 변량을 설명하였다.

3.5. 논의

실험 1은 i3D 시스템을 사용할 때의 피로감을 신뢰롭게 측정할 수 있는 설문문항을 구성하는 것이었다. 실험 1A에서는 i3D시스템의 테이블형 시청환경과 유사한 환경을 만들어 자극을 제시한 후 개방형 설문을 받은 다음, 수집된 응답을 추려 31개의 초기문항을 구성하였다. 실험 1B에서는 31개의 문항에 대해 참가자들이 7점 척도로 평정하게 한 후, 평정치에 대한 요인 분석을 실시하였다. 요인분석 결과 안구증상(7개 문항), 시각경험(9개 문항), 신체피로(7개 문항)의 3요인이 추출되었다. 이를 통해 총 23개의 문항으로 구성된 i3D 시각피로 측정 설문지를 완성하였다.

실험 2에서는 실험1에서 도출된 설문지를 사용하여 다양

한 조건에서 무안경식 i3D 시스템을 시청할 때의 피로감을 측정하였다.

III. 실험 2: 시각피로에 영향을 미치는 변인 검증

실험 2에서는 무안경식 디스플레이를 다양한 환경에서 시청할 때 피로감을 측정하여 피로감에 영향을 미치는 변인이 무엇인지를 검증하였다. 시청환경을 조성할 때 고려해야 하는 변인은 매우 다양하지만 그 중에서 i3D 환경에서 중요하다고 판단되는 변인 3개를 선택하였다.

첫 번째 변인은 “협응동작”이다. i3D시스템에서는 자극을 수동적으로 관찰할 뿐만 아니라, 손을 뻗어 자극을 만지거나 표면을 더듬는 활동이 추가된다. 따라서 협응유무에 따라 시각피로의 정도가 달라지는지를 측정하고자 하였다. 이와 더불어 “시청거리”와 “시청방위” 변인을 조작하였다. 시청에 출시된 대부분의 무안경식 디스플레이는 자유시점이 아닌 특정시점에서 입체감 지각이 용이하도록 설계되어 있다. 특정방위 및 거리에서만 입체감이 잘 구현된다면, 해당 범위를 벗어나면 이중상이 보이거나 잔상이 심해지는 등으로 인해 시각피로가 증가될 수 있다. 따라서 시청거리 및 시청방위에 따른 시각피로를 측정하고자 하였다. 종합하면 실험 2에서는 위의 세 가지 변인 (협응동작, 시청거리, 시청방위)을 조작하여 시각피로를 측정하였다.

1. 참가자

대학생 20명이 참가하였다. 참가자들은 모두 정상시력 혹은 교정된 정상시력을 가지며, 입체지각에 문제가 없었다.

2. 실험장치 및 자극

4DVision 社 (<http://www.4dvision.co.kr>)의 46인치 무안경식 디스플레이 (slanted barrier 방식)를 사용하였다. 이 디스플레이는 8시점에서 입체지각이 가능하며, 최대시청각은

160°이다. 실험1에서는 동영상 자극을 사용하였으나 실험 2에서는 화면에 제시되는 특정사물의 일부분이나 모서리 등을 만져야 하는 협응동작이 포함되어 있었기 때문에 빠르게 움직이거나 다양한 물체가 제시되는 영상은 자극으로 적절하지 않다고 판단하였다. 따라서 실험 2에서는 4DVision이 제공한 샘플 영상 중 하나의 사물만이 등장하며 가장 입체감이 잘 지각되는 대표적인 영상을 2개 선택하여 자극으로 사용하였다 (그림 3). 각 자극의 제시시간은 15초로, 두 자극을 연속하여 제시함으로써 조건 당 자극제시시간은 30초로 통제하였다. 자극의 제시순서는 무선화하였다.



그림 3. 실험 2에서 쓰인 두 가지 영상
 Fig. 3. Two video clips used in Experiment 2

3. 설계

2 (협응동작: 유/무) x 3 (시청거리: 1/2/4m) x 3 (시청방위: 0/28/56°)의 피험자내 요인설계를 사용하여 총 18조건을 구성하였다. 한명의 참가자가 여러 조건에 노출되는 것에 따른 순서효과 및 학습효과를 제거하기 위하여 각 조건의 제시순서를 무선화 하였다.

4. 절차

참가자들에게 먼저 설문지와 실험 자극을 보여주고, 문항에 대한 설명과 함께 협응동작 시 수행해야할 과제에 대해 설명하였다. 협응동작 조건에서는 자극이 제시됨과 동시에 자극의 특정부분 (말 모형의 머리, 연꽃의 꽃잎 중 가장 튀어나 보이는 잎)을 사용자가 만지도록 지시하였고, 협

응동작이 없는 조건에서는 자극을 단순히 관찰하도록 요청하였다. 실험에 대한 설명이 끝나면, 참가자들은 무선화 된 제시 순서 중 첫 번째 조건의 거리와 각도에 해당하는 위치에 놓인 의자에 앉게 된다. 이때 협응동작 조건인 경우에는 미리 관찰자에게 구두로 알려주어 자극제시와 동시에 협응동작을 수행하게 하였다.

참가자가 착석하여 준비가 완료되면 두 정지영상이 연속으로 각각 15초씩 총 30초간 제시되었다. 해당 조건에서의 시청 및 협응동작이 끝나면 실험1에서 도출한 설문지에 응답하도록 하였다. 설문 작성 시에는 시간을 충분히 주어 정확한 평정이 이루어지도록 하였다. 설문지 작성을 완료하면 다음 조건에 해당하는 위치로 의자를 옮기고, 같은 절차를 반복하였다. 이와 같은 절차를 반복하여 총 18개 조건에서 실험을 진행하였다.

5. 결과

각 관찰조건에 따른 피로도 설문 전체평균에 대한 분석을 실시한 다음, 각 피로도 요인별 결과를 보고하고자 한다.

5.1. 전체 평균에 대한 분석

독립변인(협응동작, 시청거리, 시청방위)에 따른 피로감의 전체평균을 분석하였다 (표 4).

표 4. 협응동작, 시청거리, 시청방위에 따른 피로도 평균
 Table 4. Average fatigue as a function of manual interaction, viewing distance, and viewing orientation

		거 리			
		1m	2m	4m	평균
협응있음	0°	3.8	3.0	2.6	3.1
	28°	4.0	3.0	2.8	3.3
	56°	3.5	3.4	3.0	3.3
	평균	3.7	3.1	2.8	3.2
협응없음	0°	4.0	3.1	2.6	3.3
	28°	4.1	3.0	2.4	3.2
	56°	3.3	3.4	3.0	3.2
	평균	3.8	3.2	2.7	3.2
전체평균		3.8	3.2	2.7	3.2

표 4에 따르면 협응동작의 유/무에 따른 평균간 차이는 거의 보이지 않으며, 시청방위에 따른 평균차이도 거의 관찰할 수 없었다. (표 4의 맨 오른쪽 열을 참조할 것). 반면, 시청거리가 멀어질수록 피로감의 평균이 점점 작아지는 경향이 있음을 확인할 수 있다 (표의 맨 아래 행을 참조할 것).

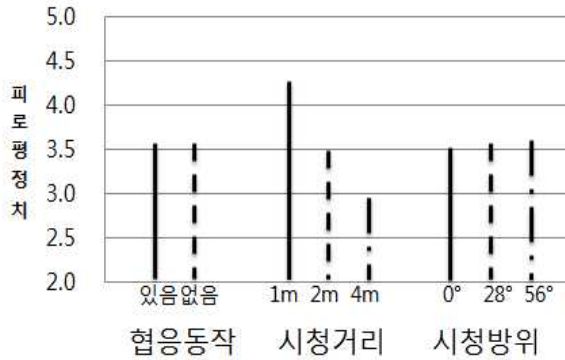


그림 4. 협응동작, 시청거리, 시청방위에 따른 참가자의 피로도 평균
Fig 4. Average fatigue as a function of manual interaction, viewing distance, and viewing orientation

전체평균을 막대그래프로 나타낸 것이 그림 4이다. 피로감은 협응동작 및 시청방위에 영향을 받지 않는 반면, 시청거리가 멀어짐에 따라 피로감이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

표 5. 피로도에 대한 변량분석결과 (F값)
Table 5. ANOVA results on fatigue (F-values)

협응	거리	방위	협응 x 거리	협응 x 방위	거리 x 방위	협응 x 거리 x 방위
0.00	32.82***	0.13	0.99	1.60	10.52***	1.67

(*** p < .001)

위의 해석을 확인하기 위해 2 (협응동작) x 3 (시청거리) x 3 (시청방위)이 독립변인이고 피로평정이 종속변인인 반복측정 변량분석을 실시하였다 (표 5). 그 결과 협응 및 방위의 주효과는 존재하지 않았으나, 거리에서의 주효과가 유의미 하였다. 즉, 거리가 멀어짐에 따라 시각피로가 줄어든다는 결과를 획득하였다.

상호작용에서는 협응-거리, 거리-방위의 이원상호작용과 협응-거리-방위의 삼원상호작용은 유의미 하지 않았으나, 거리-방위의 상호작용은 통계적으로 유의미 하였다.

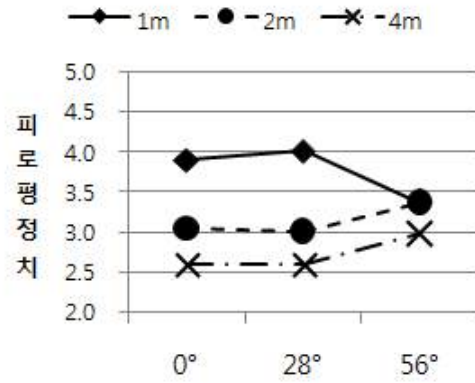


그림 5. 거리와 방위에 따른 참가자의 피로도 평균
Fig. 5. Average fatigue as a function of viewing distance and orientation

거리와 방위의 상호작용 양상을 검토하기 위해 두 변인의 수준에 따른 피로 평정치 그래프를 구성하였다. 그림 5를 보면 거리-방위의 상호작용이 어느 조건에 의해 발생하는지 확인할 수 있다. 2, 4m의 시청거리에서는 (시청방위에 따른) 피로도가 평행한 것을 확인할 수 있으나, 1m의 시청거리에서는 56°의 시청방위일 때 피로가 급격히 하락하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과에 대한 해석은 실험 2의 논의에서 다루기로 한다.

5.2. 각 하위요인별 변량분석

참가자들의 피로는 안구증상, 시각경험, 신체피로의 세 가지 하위요인으로 구분할 수 있다. 각 하위요인에 해당하는 문항들에 대한 평정치를 종속변인으로 하여 세 개의 2 (협응동작) x 3 (시청거리) x 3 (시청방위)의 반복측정 변량분석을 실시하였다.

표 6은 각 하위요인에 따른 변량분석 결과를 제시한다. 변량분석결과, (전체평균에 대한 결과와 마찬가지로) 거리에서의 주효과가 모든 하위요인에서 통계적으로 유의미하였음을 확인할 수 있다. 반면, 전체평균분석에서는 확인할 수 있었던 거리-방위의 상호작용은 신체피로요인에서는 나

타나지 않았으나 ($p=.12$), 안구증상과 시각경험 요인에서는 통계적으로 유의미 하였다. 그래프로 확인한 결과 이 상호작용은 그림 5와 유사한 양상에 의해, 즉 1m의 시청거리에서 56°의 시청방위일 때 피로평정치가 급격하게 하락함으로써 나타난 결과임을 확인할 수 있었다. 협응, 거리, 방위의 삼원 상호작용은 모든 하위요인에서 통계적으로 유의하지 않았다.

표 6. 각 하위요인별 변량분석 결과
 Table 6. ANOVA results of each factors

	협응	거리	방위	협응 x 거리	협응 x 방위	거리 x 방위	협응 x 거리 x 방위
안구증상	0.00	26.50***	1.65	0.48	1.60	10.38***	2.47
시각경험	2.61	39.40***	1.85	0.83	0.73	10.79***	0.53
신체피로	2.64	8.08***	0.30	0.44	0.82	1.90	1.73

(*** $p < .0001$)

6. 논의

실험 2에서는 협응동작, 시청방위, 시청거리 변인의 각 수준을 달리하여 영상을 제시한 후, 피로를 측정하여 변량 분석을 실시하였다.

그 결과 시청거리가 멀어짐에 따라 피로가 감소하는 결과를 획득하였다. 이는 대부분의 3D 시청 시 발생하는 결과로 가까우면 크로스톡이 증가하여 피로를 심하게 느끼지만 시청거리가 멀어질수록 크로스톡이 감소하여 피로감이 줄어들게 된다. 특히 이러한 현상은 각 하위요인에서 안구증상과 시각경험 요인에서 더욱 두드러지게 나타났으며, 신체피로에서는 그 효과가 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있었다.

협응과 시청방위는 전체평균(표5)과 하위요인(표6)의 변량분석에서 모두 유의미하지 않은 결과를 획득하였다. 이는 i3D 시스템의 추가적 시청인자인 화면과의 상호작용이 피로에 영향을 미치지 않으며 시청방위도 피로에 미치는 영향이 없음을 의미한다.

상호작용에서는 시청거리와 시청방위가 전체평균과 하위요인분석 모두에서 상호작용하는 것을 확인할 수 있었다. 앞서 언급한 것처럼 이 결과는 1m의 거리에서 56°의 방위

에서 관찰할 때 피로가 급격하게 하락함에 따른 결과이다 (그림 5). 이 조건에서 피로가 줄어드는 것은 반직관적인 결과일수 있다. 그러나 극단적인 시청환경에서는 무안경식 디스플레이의 한계로 인해 자극의 깊이감이 오히려 사라지기 때문에 피로감도 마찬가지로 낮아진 것으로 보인다. 실제로 대부분의 참가자들이 이 조건에서 이중상을 경험하였음을 보고하였고, 더불어 하위요인별 분석에서도 (입체감과 상관이 없는) 신체피로 요인에서는 관찰거리와 방위의 상호작용이 나타나지 않았다는 것은 이러한 해석을 지지하는 결과들이다.

V. 종합 논의

본 연구에서는 i3D 시스템을 사용할 때의 시청환경을 조작하여 각 조건에서 발생하는 피로를 측정하였다. 실험 1에서는 개방형 설문과 요인분석을 사용하여 피로감을 측정하는 설문문항을 도출하였는데, 이는 “안구증상”, “시각경험”, “신체피로”의 세 가지 하위요인으로 구성되어 있음을 확인하였다. 실험 2에서는 다양한 시청환경에서의 피로를 측정하기 위해 협응동작(유/무), 시청거리(1/2/4m), 시청방위(0, 28/56°)를 체계적으로 조작하여 각 조건에서 사용자가 실제로 느끼는 피로감을 측정하였다. 그 결과 협응동작과 시청방위는 피로에 영향을 미치지 않는 반면, 거리가 멀어질수록 피로도가 낮아지는 결과를 획득하였다.

더불어 협응동작-시청거리, 협응동작-시청방위의 이원상호작용은 나타나지 않은 반면, 시청거리-시청방위의 상호작용이 통계적으로 유의미하였다 (표5, 표6). 이 결과는 1m의 거리에서 56°의 방위에서 관찰할 때 피로가 급격하게 하락함에 따른 것으로 (그림 5), 극단적인 시청환경에서 무안경식 디스플레이의 한계로 인해 자극의 깊이감이 사라지기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 실제로 대부분의 참가자들이 이중상을 경험하였음을 보고하였고, 특히 하위요인별 분석에서 신체피로요인에서는 상호작용이 발생하지 않았다 (표 6). 이는 신체피로요인은 입체감 지각 혹은 이중상에 영향을 받지 않기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 협응-거리-방위간의 삼원상호작용은 전체평균 및 하위요인 변량분석

에서 모두 나타나지 않았다.

본 연구는 i3D라는 시스템과 사용자간의 새로운 상호작용을 요구하는 무안경식 3D 시청환경에서 시각피로를 연구하였다. 이 시스템은 안경의 불편함을 벗어나고 생생한 시각경험을 구현하는데 그 목적이 있지만, 처음 시도되는 것이기 때문에 시각피로와 그에 영향을 미치는 요인에 대한 연구가 전무하다. i3D 시스템이 새로운 시청환경을 제공한다는 측면에서 피로에 대한 연구는 반드시 필요하며, 본 연구는 이에 대한 최초의 탐색적인 연구라는 점에서 중요하다. 피로에 영향을 미칠 수 있는 요인은 다양할 수 있지만 본 연구에서는 가장 기본적인 시청거리, 시청방위 변인과 더불어 i3D의 고유한 협응동작 요인을 검증하였다.

협응동작은 i3D 시스템을 다른 무안경식 3D 디스플레이와 차별화시키는 중요한 변인이다. 즉, 사용자가 수동적으로 디스플레이를 관찰하는 것이 아니라 3차원으로 구현된 물체를 회전시키거나 이동시키는 것이 협응동작이다. 본 연구에서는 협응동작이 시각피로에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었으나, 실제 i3D 시청환경에서 다양한 협응동작을 하게 되면 결과가 다르게 나올 수 있다. 예를 들어 본 연구에서는 참가자들이 짧은 시간동안 단순한 동작만을 시연하였으나 다양한 동작을 연속적으로 시연해야 하는 경우에는 시청거리와 방위가 연속적으로 변하게 됨으로써 협응동작이 시각피로에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 가능성은 후속 연구에서 탐색해야할 연구 질문이다.

거리와 방위 등을 조작하여 시각피로를 측정하는 연구는 이미 존재한다. 그 중에서 이형철 (2010)에서는 본 연구와 유사한 방법으로 시각피로를 측정하는 문항을 개발하고 이를 타당화 하였다. 그러나 해당연구에서는 일반적인 안경식 3D 디스플레이를 사용하였으므로 무안경식 3D에 직접적으로 적용하기에는 제한점이 존재하였다. 본 연구는 i3D에 특화된 피로측정 설문을 개발하고 타당화했다는 점에서 중요한 의의를 가진다.

본 연구의 가장 큰 제한점은 실험 2에서 다양한 실험 자극을 사용하지 못했다는 점이다. 이는 연구당시 4DVision 社 제공한 소수의 영상만이 i3D 시스템에서 구

현 가능하였기 때문인데, 후속 연구에서는 보다 다양한 자극을 사용하여 깊이감 등의 자극 속성에 따른 시각피로를 측정할 필요가 있다. 깊이감, 질감, 색상, 시청시간 등에 따른 피로감을 측정함으로써 i3D 시스템의 허용 가능한 시청가이드라인을 제작할 수도 있다. 무안경식 3D 디스플레이가 더욱 발전을 거듭하여 다중시점을 지원한다면 좀 더 다양한 시청거리와 시청방위에서의 연구도 필요하다. 본 연구에서 개발한 피로측정 문항과 기초적인 데이터는 이 연구들의 방향을 제시하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. Vergence - accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue, *Journal of Vision*, 8(3):33, 1 - 30, 2008.
- [2] 이형철, 주관적인 3차원 피로감 측정방법에 대한 휴먼팩터 연구, 한국방송공학회지 제15권 제5호 pp.607-616, 2010.9.
- [3] Yano, S., Ide, S., Mitsuhashi, T., Thwaites, H. A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images, *Displays*, Vol. 23, pp.191-201, 2002.
- [4] Yano, S., Emoto, M., & Mitsuhashi, T. Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images, *Displays*, Vol. 25, pp.141 - 150, 2004.
- [5] Lambooi, M., IJsselstein, W., Fortuin, M., & Heynderickx, I. Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review, *J. Imaging Science Technology*, Vol. 53, 2007.
- [6] Ukai, K., Howarth, P. A., Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations, *Displays*, Vol. 29, Issue 2, pp.106 - 116, 2008.
- [7] Emoto, M., Niida, T., & Okano, F. Repeated vergence adaptation causes the decline of visual functions in watching stereoscopic television, *Journal of Display Technology*, Vol. 1, pp.328 - 340, 2005.
- [8] Wann, J. P., & Mon-Williams, M. Health issues with virtual reality displays: What we do know and what we don't, *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 31, 53 - 57, 1997.
- [9] Walsh, G., & Charman, W. N. Visual sensitivity to temporal change in focus and its relevance to the accommodation response, *Vision Research*, Vol. 28, pp.1207 - 1221, 1988.
- [10] Sheedy, J., & Bergstrom, N. Performance and comfort on near-eye computer displays, *Optometry and Vision Science*, Vol. 79, pp.306 - 312, 2002.
- [11] Torii, M., Okada, Y., Ukai, K., Wolffsohn, J. S., & Gilmartin, B. Dynamic measurement of accommodative responses while viewing stereoscopic images, *Journal of Modern Optics*, Vol. 55, pp.557-567, 2008.

[12] Okada, Y., Ukai, K., Wolffsohn, J. S., Gilmartin, B., Iijima, A., & Bando, T. Target spatial frequency determines the response to conflicting defocus- and convergence-driven accommodative stimuli, Vision

Research, Vol. 46, pp.475 - 484, 2005.
[13] Kooi, F. L., & Toet, A. Visual comfort of binocular and 3D displays, Displays, Vol. 25, pp.99 - 108, 2004

저 자 소 개



김 덕 중

- 2011년 : 광운대학교 산업심리학과 학사
- 현재: 광운대학교 산업심리학과 석사과정
- 주관심분야 : 시지각, 시각주의, 3D휴먼팩터



이 형 철

- 1987년 : 연세대학교 심리학과 학사
- 1989년 : 연세대학교 심리학과 석사
- 1996년: 미국 University of Wisconsin, Madison, 심리학과 박사
- 1999년 ~ 현재 : 광운대학교 산업심리학과 교수
- 2010년 ~ 2011 : TTA, 3DTV PG, 품질안전규격 WG 의장
- 2010년 ~ 2011 : 3D 시청 안전성 협의회 의장
- 주관심분야 : 3D 휴먼팩터, 시지각, Brain-Computer Interface



김 신 우

- 2003년 : 연세대학교 심리학과 학사
- 2007년 : New York University 심리학과 석사
- 2010년 : New York University 심리학과 박사
- 2010년 ~ 현재 : 광운대학교 산업심리학과 조교수
- 2010년 ~ 현재 : 감성과학회 편집위원
- 주관심분야 : 시선추적, 범주화, 인과관계, 개념학습, 추론, 사용성