

일반논문-10-15-5-01

## 주관적인 3차원 피로감 측정 방법에 대한 휴먼팩터 연구

이 형 철<sup>a)†</sup>

### Human Factor Research on the Measurement of Subjective Three Dimensional Fatigue

Hyung-Chul O. Li<sup>a)†</sup>

#### 요 약

현재까지 제안된 3차원 시각피로 측정 방법은 측정의 타당도가 결여되어 있고 시각피로의 복합적인 특성을 제대로 파악해 내지 못하는 단점이 있다. 본 연구의 목적은 3차원 시각피로의 구성요인을 분석하고 안정적으로 타당하게 주관적인 시각피로를 측정하는 방법을 제안하는 것이다. 연구결과는 다음과 같이 요약된다. 첫째, 시각피로가 네 개의 독립적인 하위요인(시각적 스트레스, 안구 통증, 신체 통증, 상 호흡 요인)으로 구성되어 있음을 규명하였고, 둘째, 네 개의 요인으로 구성되어 있는 3차원 시각피로를 측정할 수 있는 29개의 문항을 개발하였으며, 셋째, 시각피로에 영향을 미칠 것으로 기대되는 시청시간과 양안시차의 조차이 개발된 측정 방법을 이용하여 측정된 시각피로에 실제로 영향을 미침을 확인하였다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 제안하는 시각피로 측정 방법이 3차원 시각피로를 타당하게 측정함을 시사한다.

#### Abstract

The methods developed to measure visual fatigue so far are quite few and lack of validity, and more importantly, they do not figure out the complex properties of the visual fatigue. The purpose of the research was to analyze the factors comprising the visual fatigue and to develop the method to measure it validly. The results are summarized as follows. First, we found that the 3D visual fatigue was comprised of four independent factors (visual stress, eye pain, body pain and image blurring factors). Second, we developed 29 items that measure four factors of 3D visual fatigue. Finally, the watching duration and binocular disparities affected the visual fatigue as had been expected. These results imply that the developed method does measure the three dimensional fatigue validly.

Key Words : 3D visual fatigue, measurement, four factors, factor analysis, validity

## 1. 서 론

디스플레이와 영상 제작기술의 발달로 3차원 디스플레이가 상용화되기 시작하였으며 사용자들은 어렵지 않게 입체 영상에 접할 수 있게 되었다. 하지만 사용자들이 사용하기에 안전하고 편안한 디스플레이와 영상으로 발전하기 위해서는 해결되어야 할 문제들이 있다. 3차원 영상물을 시청

a) 광운대학교 산업심리학과

Department of Industrial Psychology, Kwangwoon University

† 교신저자 : 이형철(hyung@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업[ 2009-F-208-01, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 SoC 개발]과 일부 2009년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

· 접수일(2009년12월21일), 수정일(1차:2010년8월6일, 2차:9월16일), 게재확정일(2010년9월16일)

하는 시청자들이 가장 빈번하게 제기하는 불편은 안구통증 및 어지러움 등과 같은 시각적 피로감이다. 3차원 디스플레이에서의 시각피로의 문제를 해결하려면 먼저 시각피로가 구체적으로 개념적인 수준에서 정의되고 동시에 정량적으로 측정되어야 한다. 3차원 자극이 유발하는 피로를 측정하는 방법이 부분적으로 소개가 되었지만 시각피로가 구체적으로 명확히 정의되지 않았고 측정방법이 단순하며 또한 양적으로도 매우 미흡한 실정이다<sup>1)</sup>.

시각피로의 측정은 매우 중요하다. 시각피로의 원인이 무엇인지 규명하는 연구에서 연구자들은 다른 변인들의 값들은 동등하게 유지한 상태에서 시각피로를 유발할 것으로 기대되는 변인(예를 들어, 양안시차의 양)을 조작하고 시각피로를 측정한다. 만약, 조작한 변인이 시각피로의 원인이라면 시각피로 측정치는 변인의 조작에 따라 달라질 것이다. 이와 같은 전형적인 시각피로 연구에서 시각피로의 측정이 매우 중요하다는 것을 인식할 필요가 있는데, 왜냐하면 시각피로를 적절히 측정하지 못하고서는 피험자들이 시각피로를 얼마나 경험하는지 결코 알 수 없으며 동시에 시각피로에 영향을 미치는 변인이 무엇인지 규명할 수 없기 때문이다. 따라서, 시각피로를 정량적으로 측정하는 방법이 필요하다.

영상이 유발하는 피로감의 측정과 가장 관련이 깊은 분야는 화질평가이다. 대부분의 화질평가 방법이 주로 이차원 디스플레이에 제시되는 영상의 화질을 평가하기에 적합하도록 개발되었는데, 원 영상(original image)에 비하여 압축된 영상이나 수신된 영상의 질(quality)을 평가하는 것을 목적으로 하고 있다. 예를 들어, PSNR(peak signal-to-noise ratio)방법은 영상의 가능한 최대 픽셀 값에 대한 평균적인 픽셀별 원영상과 변환된 영상의 차이에 대한 비율로써 사용자의 주관적인 평가가 필요하지 않은 객관적인 화질평가 방법이다<sup>1)</sup>. 객관적인 화질평가 방법 이외에 주관적인 화질평가 방법도 존재한다. ITU-T에서 권고한 방법에 따르면, 구체적인 방법은 세부적으로 차이가 있을 수 있지만, 기본적으로 영상 시퀀스(video sequence)가 제시되고 각 영상에 대한 전문가 집단의 평가 값을 평균하는 음질평가에서의 “평균 평가 값”(MOS: mean opinion score) 계

산 방법과 유사하다<sup>2)</sup>. 각 방법마다 차이는 있지만, 공통점은 원 영상에 비해서 변환된 영상의 질이 얼마나 좋은지 판단하는 방법이며, 특히 주관적 평가의 경우 기본적으로 원 영상과 변환영상의 변별가능성을 측정한다.

디스플레이에 제시되는 영상의 화질이 시청자가 경험하는 피로 및 불편감에 영향을 미칠 가능성이 높지만, 화질과 시청자가 경험하는 피로나 불편감은 여전히 독립적으로 측정되어야 한다. 객관적으로 화질을 측정하던 또는 주관적으로 화질을 측정하던 화질측정이 제시되는 영상자체의 질을 측정하는데 초점이 맞춰져 있다면 시각피로의 측정은 시청자에게 나타나는 피로나 불편감을 측정하는데 초점이 맞춰져 있다. 화질은 시청자의 개입 없이 측정하는 것이 가능하지만 영상이 시청자에게 유발하는 피로나 불편감은 시청자의 개입 없이 측정하는 것이 불가능하다. 화질측정이 영상이나 디스플레이 자체의 자극 특성을 측정하는 것이라면, 피로나 불편감의 측정은 자극특성이 시청자의 3차원 시스템 내에서 유발하는 문제를 측정한다. 인간은 3차원 공간에서 적절히 생존하기 위하여 주변의 3차원 정보를 처리하기 위한 3차원 정보처리 시스템을 진화시켜왔다. 이와 같은 진화 때문에 자연의 3차원 자극을 처리하는 데에 아무런 문제가 없다. 하지만 인공의 3차원 자극을 처리하는 데에 문제가 있는데(문제의 가능한 원인에 대해서는 [3]을 참조하기 바람), 이와 같은 문제 때문에 시청자는 피로나 불편감 같은 문제를 경험하게 된다. 자극과 인간의 3차원 정보처리 시스템과의 불합치성과 관계없이 화질 측정이 가능한 반면에 피로나 불편감의 측정은 3차원 자극과 시청자의 3차원 정보처리 시스템의 불합치성으로 인해 촉발된 시청자의 문제를 측정한다.

3차원 화질평가에서 중요한 항목 중 하나는 좌영상과 우영상이 서로 상대 쪽 영상에 겹쳐 나타나는 크로스토크(cross talk) 현상인데, 이 크로스토크는 시청자의 개입 없이 광도계(photometer)를 이용하여 측정하는 것이 가능하다. 한 디스플레이의 크로스토크가 얼마인지를 측정하더라도 이 디스플레이가 시청자에게 유발하는 피로나 불편감은 별도로 측정되어야 파악이 가능하다. 하나의 디스플레이가 유발하는 크로스토크를 측정할 수 있는 방법이 있고 또한

1) 지금까지 알려진 시각피로 측정 방법은 II장, “기존의 3차원 시각피로 연구에서의 시각피로 측정 방법”에서 소개한다.

시청자가 경험하는 피로를 측정할 수 있는 방법이 있으면 크로스토크를 매개변수로 하는 피로함수를 계산하는 것이 가능해 진다. 피로 유발 파라미터를 매개변수로 하는 피로 함수를 규명하게 되면 현재 추진되고 있는 시청 안전가이드라인에 각 피로 유발 파라미터의 권고 값을 구체적으로 규정하는 것이 가능해 진다.

3차원 디스플레이와 영상이 시청자에게 유발하는 시각피로와 같은 문제를 측정하는 것은 3차원 디스플레이와 영상물 제작에 매우 중요한 정보를 제공한다. 디스플레이에 제시되는 영상물의 화질을 개선하기 위해 3차원 디스플레이에 제시되는 영상의 화질 평가도 중요한 문제이긴 하지만, 시청자의 안전을 보장하고 불편감을 유발하지 않는 디스플레이와 영상을 만들기 위해 3차원 자극이 시청자에게 유발하는 시각피로를 정량적으로 측정하는 것도 매우 중요하다.

본 연구의 목적은 3차원 시각피로를 개념적인 수준에서 구체적이고 명확하게 정의하고 동시에 시각피로를 양적으로 측정할 수 있는 방법을 제안하는 것이다. 기존에 3차원 시각피로를 측정하는 방법이 제시된 것이 있기는 하지만 나름대로의 문제를 안고 있다. 본 연구에서 제안하는 3차원 시각피로 측정 방법은 기존에 제안된 방식과 달리 시각피로를 측정하는 초기 문항을 연구자 개인의 주관적 판단에 의지하지 않고 세 가지 방식에 기초하여 객관성이 확보되도록 구성하였으며 동시에 시각피로가 단일 요인이 아닌 독립적인 다수의 요인으로 구성된 복합개념임을 밝히고 각각의 독립적인 시각피로 요인을 측정하는 것이 가능하도록 하였다. 본 논문은 첫째, 기존에 제안된 시각피로 측정 방법과 이들의 문제점을 요약하고 둘째, 본 연구에서 제안하는 3차원 시각피로 측정방법이 어떤 과정을 거쳐 개발되었는지를 소개하고 끝으로 연구 결과와 함께, 제안하는 측정방법으로 3차원 시각피로를 측정한 결과를 소개한다.

## II. 기존의 3차원 시각피로 연구에서의 시각피로 측정 방법

3차원 시각피로 연구에서 연구자들이 사용한 시각피로 측정방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 한 가지는 주관적인 피

로를 측정하였고 다른 한 가지는 주관적인 피로에 대응하는 생체신호를 측정하였다. 주관적인 측정 방법은 피험자들이 3차원 영상물을 시청할 때에 경험하는 주관적인 느낌의 피로도를 측정하는데, 일반적으로 설문 문항을 이용한다. 몇몇 연구자들은 2차원 시각디스플레이 단말기(VDT, visuDT dispTa깍(VerminDT)를 이용해 작업하는 노동자들의 주관적인 피로를 생체신호와 함께 측정하였는데<sup>[4][5]</sup> 이때 3차원 시각피로에 영향을 미치는 변인도 함께 검증되었다. 이들 연구에서 3차원 시각피로는 단 하나의 문항으로 측정되었다(예를 들어, “시각피로를 얼마나 많이 경험하고 있습니까?”)<sup>[6][7][8]</sup>. 예외적으로 Emoto, Nojiri와

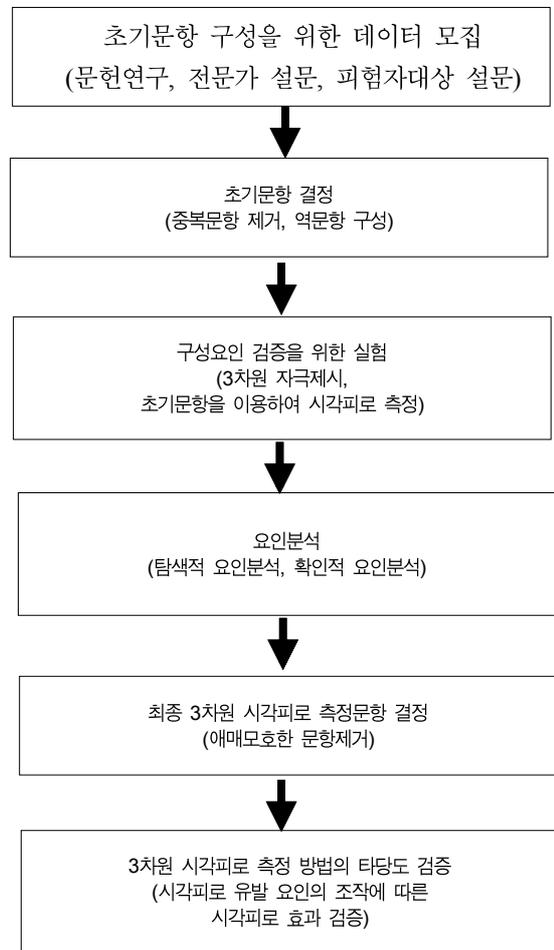


그림 1. 3차원 시각 피로감 측정 방법의 개발 절차  
Fig. 1. Developmental procedure of measuring 3D visual fatigue

Okano (2004)<sup>[9]</sup>, 그리고 Yano, Emoto와 Mitsuhashi (2004)<sup>[6]</sup>가 다수의 문항을 이용하여 3차원 시각피로를 측정하였다. 하나의 문항으로 시각피로를 측정하였던, 다수의 문항으로 측정하였던 기존의 주관적 시각 피로 측정방법이 갖는 공통된 문제점은 시각피로 측정 문항이 연구자에 의해 임의로 구성되었다는 점이다. 시각피로를 측정하는 문항의 구성에 있어서 연구자는 자신의 직관에 의존하였을 뿐 왜 특정 문항이 선정되었는지에 대한 논리적 근거를 제시하지 않으며 따라서 연구자들이 임의로 선정한 문항이 실제로 3차원 시각 피로를 측정하는지에 대한 타당도 검증이 이루어지지 않았다.

생체신호 기반 3차원 피로 측정 방법은 전형적으로 3차원 시각피로에 대응하는 생체신호를 측정하였는데, 몇몇 연구자는 안구 렌즈의 조절(accommodation)과 두 눈의 수렴(vergence) 특성을 측정하였다<sup>[6][7][9]</sup>. 이와 같은 생체신호는 3차원 영상물을 시청하는 관찰자가 경험하는 시각피로를 반영할 것으로 가정되었다. 하지만 조절 및 수렴과 같은 생체신호가 시각피로와 밀접한 상관이 있다는 경험적 증거는 매우 부족한 실정이다.

시각피로를 측정하는 대부분의 연구에서 3차원 시각피로는 문항의 수와 관계없이 단일 측정치로 표시되었다. 이와 같은 연구들은 암암리에 시각피로가 하나의 요인(factor)으로 구성되어 있음을 가정하는 것이다. 하지만, 시각피로가 단일 요인으로 구성되어 있다는 가정은 옳지 않을 수 있는데, 3차원 시각피로가 하나가 아닌 다수의 독립적인 하위 요인으로 구성되어 있을 가능성이 있기 때문이다. 3차원 시각피로는 인간의 3차원 시각 시스템이 시각정보를 처리하는 과정에서 나타나는 부정적인 부산물이다. 관찰자가 디스플레이를 볼 때 시각정보는 인간의 정보처리 메카니즘의 여러 단계에서 처리되는 것으로 알려져 있다(예를 들어, 망막 수준, 중추 시각 정보 처리 수준, 고차원적인 인지 수준 등)<sup>[10][11]</sup>. 3차원 정보가 여러 단계의 정보처리 수준에서 처리되는 것과 마찬가지로 시각적 피로가 각 각의 정보처리 단계에서 나타날 가능성이 있으며 또한 각 단계에서 나타나는 피로의 특성은 서로 다를 수 있다. 본 연구의 목적은 과연 3차원 시각피로가 단일 요인으로 구성되어 있는지 아니면 다수의 독립적인 하위요인으로 구성되어 있는지를 규

명하고 시각피로의 전체특성을 측정할 수 있는 방법을 제안하는 것이다. 측정 방법 제안과 함께, 과연 제안하는 측정 방법이 시각피로를 제대로 측정하는지에 대한 타당도 검사도 함께 수행하였다.

### III. 주관적인 3차원 시각피로 측정의 휴먼팩터 연구 방법

주관적인 3차원 피로감 측정 방법의 연구 절차를 그림 1에 요약하여 정리하였다. 첫째, 세 가지 방식으로 초기문항 구성에 이용될 3차원 피로감과 관련한 현상들을 수집하였고 둘째, 이 중에서 중복된 현상들을 제거하고 초기 시각피로 측정 문항을 구성하였다. 셋째, 시각피로가 하나의 단순한 개념이 아닌 복합적인 개념일 가능성을 검증하기 위하여 시각피로의 구성요인을 검증하기 위한 실험을 하였는데, 피험자로 하여금 3차원 영상을 시청하게 한 후에, 초기 문항을 이용하여 피험자들이 경험한 시각피로를 측정하였다. 넷째, 여기에서 획득한 자료를 이용하여 통계기법 중 하나인 요인 분석을 실시하여 시각피로가 하나의 단순 개념이 아닌 복합적인 독립적인 요인으로 구성되었음을 확인하였다. 다섯째, 요인분석에서 복수의 요인과 상관을 갖는 애매모호한 문항을 제거하여 최종문항을 결정하고 마지막으로 이렇게 개발된 3차원 피로감 측정 방법이 실제로 3차원 피로감을 측정하는지 규명하기 위한 타당도 검증을 하였다. 각 단계에서 구체적으로 수행한 일을 아래에 구체적으로 기술하였다.

#### 1. 초기 문항 구성을 위한 데이터 모집

시각피로를 측정하는 방법의 연구에서 제일 먼저 해야 할 작업은 시각피로를 측정할 문항을 구성하는 것인데, 시각피로를 측정하는 문항의 구성은 시각피로의 개념적인 정의와 직접적인 관계가 있다. 기존에는 시각피로를 측정하는 문항이 연구자의 주관적인 판단에 기초하여 구성되었다. 본 연구에서는 시각피로가 3차원 영상물을 시청하는 시청자가 경험하는 현상이므로 3차원 영상물을 시청한 사용자의 경험을 토대로 시각피로를 측정하는 문항을 구성하기로

하였다<sup>2)</sup>. 본 연구는 세 가지 방법에 근거하여 3차원 시각피로를 측정하는 초기 문항을 구성하였다. 첫째, 3차원 시각피로를 연구한 문헌을 조사하여 그 연구에서 사용되었던 시각피로 측정문항을 수집하였다<sup>[6][7][8][9][12]</sup>. 둘째, 3차원 실감협회 회원 중 107명에게 3차원 시각피로 경험을 가능한 자세하게 기술해 달라고 이메일을 이용하여 요청하였으며 이중 27명으로부터 응답을 받았다. 셋째, 일반피험자 10명을 대상으로 3차원 영상을 50분간 시청하도록 하고 시각피로 경험을 조사하였다. 영상은 100인치 실버스크린에 편광필터를 착용한 빔 프로젝터 2대를 이용하여 제시하였고 피험자들은 편광안경을 착용하고 자극을 관찰하였다.

## 2. 시각피로 측정 초기 문항 결정

세 가지 방법으로 모집한 데이터에 근거하여 초기문항에 필요한 진술문을 구성하였다. 서로 중복되거나 비슷한 진술문은 삭제하고 초기 문항 33개를 결정하였다. 33개 문항외에 4개의 문항을 추가하였는데, 이 4문항은 33개 문항 중 4개의 문항과 정반대 의미가 되도록 문장을 재작성하여 역문항을 구성하였다. 이렇게 역문항을 포함시킨 이유는 설문조사과정에서의 성실하지 못한 응답자를 추려내기 위해서였다.

## 3. 3차원 시각피로의 개념적 정의 및 구성요인 검증을 위한 실험

본 연구의 목적 중 하나는 3차원 시각피로를 가능한 한 개념적인 수준에게 구체적으로 정의하는 것이었다. 시각피로가 더 이상의 독립적인 하위요인으로 구분되지 않는 단일한 일반적인 개념인지 아니면 구체적이고 독립적인 개념들의 종합으로 구성된 복합적인 개념인지를 규명하기 위하여 초기문항을 이용해서 시각피로가 몇 개의 요인으로 구성되어 있는지를 검증하였다. 실험에서는 2대의 빔 프로젝터를 이용하여 100인치 실버스크린에 영상을 제시하고 피험자로 하여금 이를 50분간 관찰하게 하였다. 실험에 참여한 피험자는 총 208명이었으며, 50분 분량의 3차원 콘텐츠를 시청한 후

에 피험자들은 자신들이 경험한 시각피로를 37개의 초기문항으로 구성된 설문지를 이용하여 5점 척도로 보고하였다.

## 4. 요인분석

탐색적으로 요인을 규명하기 위하여 208명의 데이터를 반분하여 첫 104명의 데이터는 탐색적 요인분석에 이용하였고, 탐색적 요인분석의 결과가 반복되는지 확인하기 위하여 나머지 104명의 데이터를 이용하여 확인적 요인분석을 실시하였다. 탐색적 요인분석에 사용한 기준을 확인적 요인분석에서도 그대로 적용하여 탐색적 요인분석에서 발견된 요인들이 다른 피험자의 데이터를 이용한 요인분석에서도 그대로 발견되는지를 확인하였다.

## 5. 측정 방법의 타당도 검증

시각피로를 측정하는 초기문항을 구성할 때에 앞서 기술한 세 가지 방법에 기반하여 문항을 구성하였기에 본 연구에서 개발한 문항은 3D 시각피로를 적절하게 측정한다고 추정되며 측정 방법의 타당도가 있다고 판단할 수 있다. 이와 독립적으로 본 연구에서는 제안한 3차원 시각피로 측정 방법의 타당도를 검증하였다. 만약 본 연구에서 제안한 방법이 3차원 시각피로를 측정한다면, 3차원 시각피로에 영향을 미치는 것으로 추정되는 변인의 조작에 의해 본 연구에서 제안한 측정 방법으로 측정된 측정치들이 영향을 받아야 한다. 일반적으로 3차원 자극을 시청하는 시청시간이 증가할수록 더 많은 시각피로를 경험하는 것으로 알려져 있다<sup>[13]</sup>. 따라서 피험자가 3차원 자극을 더 오래 관찰할수록 본 연구에서 제안한 측정 방법을 이용하여 시각피로를 측정할 경우에 측정치 값이 증가할 것으로 기대된다. 또한 3차원 자극이 관찰자에게 유발하는 조절 (accommodation) 과 수렴 (vergence)의 불일치가 3차원 시각피로를 유발하는 것으로 알려져 있다<sup>[14][15]</sup>. 양안시차의 양이 증가할수록 조절과 수렴의 불일치 정도가 증가할 것으로 기대되기 때문에 피험자들은 양안시차가 큰 자극을 관찰할수록 더 많은

2) 초기문항 선정 절차 후의 요인분석에서 결정된 4개의 요인이 시각피로에 대한 개념적 정의를 구성한다.

3차원 시각피로를 경험할 것으로 기대된다<sup>17)</sup>.

실험에서 3차원 자극이 제시되는 자극제시 시간이 조작되었고 (3분, 20분) 또한 양안시차의 양이 조작되었다 (0°, 1.0°, 3.0°). 각 실험조건에서 각 각 16명의 피험자가 측정받았다. 실험에 참여한 총 피험자의 수는 96명이었으며 96명 모두 정상적인 입체 시력을 지니고 있었다. 실험자극은 9.4°X9.4°X9.4° 크기를 갖는 정육면체를 무선점을 이용하여 구성하였으며 이 정육면체는 28.1°X28.1°X28.1° 크기로 모사된 무선점 공간에 제시되도록 하였다. 실험에 사용된 정육면체는 7°초의 속도로 시선방향으로 움직이도록 조작하였다. 실험자극은 17인치 LG Flatron LCD 모니터에 애너글리프 형식으로 제시되었고 피험자는 적정 안경을 착용하고 60cm 관찰거리에서 자극을 관찰하였다<sup>3)</sup>. 실험자극을 관찰한 후 피험자는 본 연구에서 제안한 시각피로 측정 방법을 이용하여 3차원 시각피로를 측정 받았는데, 피험자들은 자신의 시각피로 경험을 5점 척도로 보고하였다.

#### IV. 요인분석 결과

요인의 수를 4또는 5로 결정하고 요인분석을 실시하였는데, 요인의 수를 5로 하였을 때에 비해서 요인의 수를 4로 하였을 때 두 개 이상의 요인과 상관을 갖는 문항수가 적었다. 따라서 본 연구에서는 요인의 수를 4로 최종 결정하였다. 요인의 수를 4로 고정하고 요인분석을 실시한 후, 두 개 이상의 요인과 동시에 높은 상관을 갖거나 상관계수의 우열을 가리기 힘든 문항의 경우에 어느 한 요인으로 구분되기 힘든 애매한 문항이라고 간주하여 최종적으로 시각피로 측정 문항에서 제외하였다.

탐색적 요인분석에서 나타난 요인과 동일한 요인으로 문항들이 묶이는지 검증하기 위하여 확인적 요인분석을 실시하였다. 이 때 요인의 수는 4로 고정하였다. 탐색적 요인분

석의 결과와 확인적 요인분석의 결과는 매우 유사하였다. 확인적 요인분석에서 여러 요인과 묶이는 애매모호한 문항

표 1. 208명의 데이터를 이용하여 요인의 수를 4로 결정하고 실시한 요인분석의 결과<sup>4)</sup>

Table 1. Results of factor analysis when the number of factor was fixated as 4 using all the 208 subjects data

문항	요인			
	1	2	3	4
28. 피로웠다.(힘들었다.)	.768			
12. 시침을 그만하고 싶은 욕구가 있었다	.749			
4. 스트레스를 받았다	.678			
10. 신경이 날카로워지는 느낌이었다	.665			
14. 피곤하였다	.616	.374		
13. 혼란스러웠다	.615			
11. 멍해지는 느낌이었다	.586			
20. 머리가 아팠다	.573			
9. 눈을 감고 싶은 욕구가 있었다	.568			
19. 졸렸다	.568			
5. 속이 울렁거렸다	.566			
2. 어지러웠다	.515	.323		
15. 눈이 빠근하였다		.747		
26. 눈이 뻑뻑한 느낌이었다		.729		
7. 눈이 충혈 된 느낌이었다		.717		
6. 눈이 아팠다	.348	.698		
21. 눈이 건조해 지는 것 같았다		.688		
16. 눈 주변(언저리)에 통증을 느꼈다		.645		
29. 눈 안쪽에 통증이 느껴졌다	.338	.600		
17. 눈물이 고이는 것 같았다		.577		
23. 시력이 저하되는 듯한 느낌이었다		.536		.316
1. 눈 깜빡거림이 후반부로 갈수록 증가하였다		.523		
31. 어깨가 빠근했다			.822	
32. 목이 빠근했다			.815	
33. 등이 아팠다			.755	
34. 팔과 손가락이 아팠다			.525	
37. 상이 이종으로 보였다				.821
3. 상이 뚜렷하게 보이지 않았다(흐리게 보였다)				.810
25. 원하는 곳에 초점을 맞추기 힘들었다	.321			.654

3) 본 연구의 주요 목적은 3차원 시각피로를 측정하는 도구를 개발하는 것이며, 본 연구에서 개발된 시각피로 측정도구는 다양한 형태의 3차원 디스플레이의 평가에 이용이 가능하다. 디스플레이 양식에 따른 시각피로의 차이는 독립적인 연구주제가 되며, 여기에 소개된 실험은 개발된 측정도구가 과연 시각피로를 측정하는지 규명하기 위하여 설계된 것이다.

4) 표 1에서 요인과 문항의 교차점에 제시된 소수점 숫자들은 상관계수 r을 나타낸다. 이 표에서 상관계수는 요인과 각 문항의 상관정도가 얼마인지를 나타낸다. 상관계수의 범위는 -1 ~ 1이며, 0으로 가까이 갈수록 상관이 약하다는 것을, 그리고 1과 -1로 가까이 갈수록 상관의 강도가 강하다는 것을 의미한다.

을 추가로 제거하였다. 전체 피험자 208명의 데이터에 대해 요인의 수를 4로 결정하고 최종적인 요인분석을 실시하였다. 그 결과가 표 1에 제시되었다. 대체적으로 깨끗하게 문항들이 4개의 요인으로 묶였으며 6개 정도의 문항이 두 개 이상의 요인과 동시에 높은 상관( $r>.3$ )을 보였는데, 이 때 한 요인과의 상관이 다른 요인과의 상관보다 상대적으로 크기 때문에 애매한 문항이라고 보지 않고 그대로 사용하기로 결정하였다.

요인분석의 마지막 절차에서는 각 요인으로 묶인 문항의 내용들을 검토하여 각 요인의 이름을 결정하였다. 1요인은 전반적으로 3차원 자극을 시청할 때 시청자체에서 오는 스트레스와 연관된 증상들에 대한 문항들이다. 따라서 1요인

은 “시각적 스트레스”라고 명명하였다. 2요인을 구성하는 문항들은 전반적으로 안구에 나타나는 통증과 관련이 있는 문항들이므로 “안구통증”이라고 명명하였다. 3요인은 주로 신체적 증상과 관련이 있는 문항들이므로 “신체적 통증”이라고 명명하였다. 4요인은 상의 초점이나 이중상과 관련이 있는 문항들이므로 “상흐림”이라고 명명하였다.

### V. 타당도 검증 결과

그림 2는 양안시차의 양과 자극 제시 시간에 따른 네 가지 각 하위 요인의 시각피로 측정 결과를 나타낸다. 그림

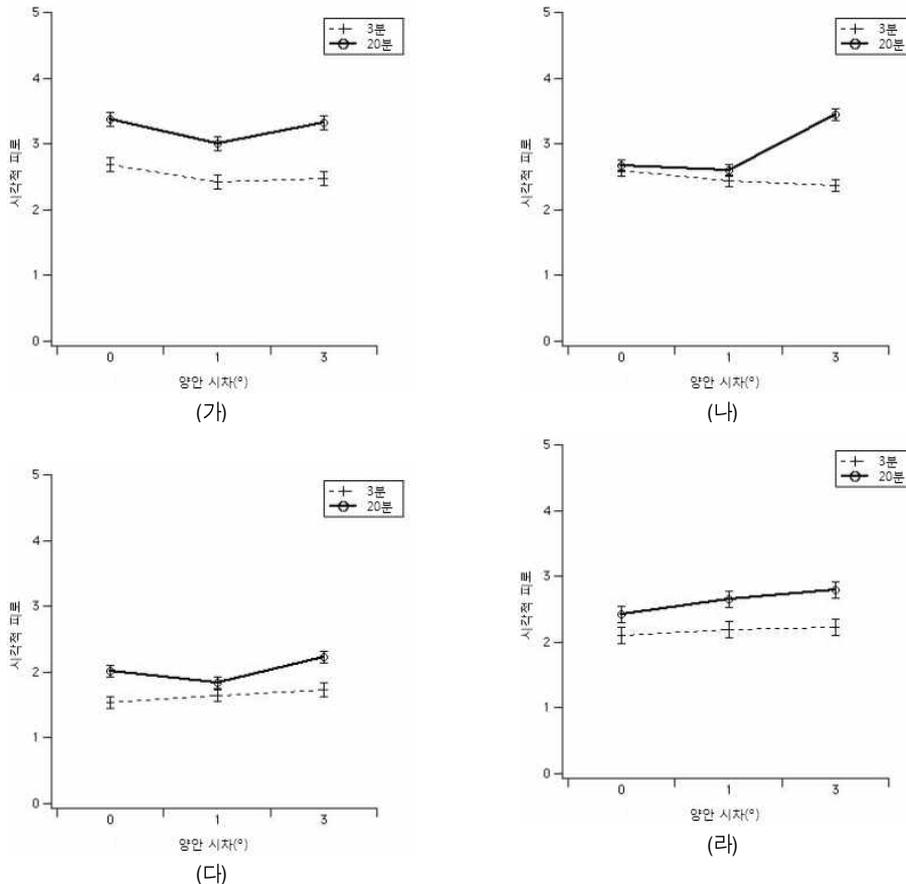


그림 2. 자극제시 시간과 요인에 따른 3차원 시각피로도 (가)시각적 스트레스 (나)안구통증 (다)신체통증 (라)상흐림  
 Fig. 2. Subjective 3D visual fatigue along with presentation duration for the factor of (가) visual stress (나) eye pain (다) body stiffness and (라) blurriness.

2에서 확인할 수 있듯이, 실험에 사용된 두 독립변인(양안 시차의 양과 자극 제시 시간)의 효과는 측정된 시각피로의 요인에 따라서 달리 나타났다. 양안시차의 양은 “시각적 스트레스”요인에는 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않았다. 그러나 자극제시 시간은 “시각적 스트레스” 요인에 통계적으로 유의미한 영향을 미쳤다 ( $F(1,45)=16.92$ ,  $p=0.000$ , 그림 2의 가 참조)<sup>5)</sup>. 양안시차의 양은 자극 제시 시간이 20분인 조건에서는 “안구 통증” 요인에는 영향을 미쳤으나 ( $F(2,45)=6.645$ ,  $p=0.003$ , 그림 2의 나 참조) 자극 제시 시간이 3분인 조건에서는 “안구 통증” 요인에 영향을 미치지 않았다. 또한 자극 제시 시간이 20분인 조건에서 양안시차의 양이 0도 이거나 1도인 조건에 비해서 3도일 때 안구통증으로 인한 시각적 피로가 더 큰 것으로 나타났다 ( $F(1, 45)=13.272$ ,  $p=0.001$ ). “신체 통증” 요인은 양안 시차의 양에 의해서는 영향을 받지 않고 자극 제시 시간에 영향을 받는 것으로 나타났는데, 3분 제시 조건보다는 20분 제시 조건에서 “신체 통증”이 더 큰 것으로 나타났다 ( $F(1, 45)=5.288$ ,  $p=0.027$ , 그림 2의 다 참조). 전반적으로 양안 시차의 양과 자극 제시 시간이 증가함에 따라서 “상 흐림” 요인으로 인한 시각적 피로가 증가하는 경향을 보였다. 단, 상 흐림 요인에 대한 영향은 자극 제시 시간을 조작한 경우에만 통계적으로 유의미하였다 ( $F(1, 45)=4.285$ ,  $p=0.044$ , 그림 2의 라 참조).

## VI. 연구의 의미

본 연구에서 제안하는 측정 방법은 기존의 3차원 시각피로 측정 방법과 몇 가지 측면에서 차별성을 갖는다. 첫째, 3차원 자극이 유발하는 다양한 시각피로를 제대로 측정하기 위해 세 가지 각기 상이한 방법으로 초기 문항을 수집하였다. 먼저 기존의 3차원 시각피로 연구 문헌을 조사하여 그 곳에서 사용된 3차원 시각피로 측정 문항을 수집하였고, 이와 독립적으로 3차원 디스플레이 또는 콘텐츠 영역의 전

문가들을 대상으로 개방형 설문을 실시하여 이들이 경험한 시각피로 증상을 수집하였다. 마지막으로 실험의 목적을 알지 못하는 일반 피험자들을 대상으로 3차원 자극을 제시하고 이들이 경험한 시각피로 증상을 개방형 설문을 이용하여 수집하였다. 기존의 연구는 연구에서 사용된 3차원 시각피로 측정 문항들이 어떤 과정을 거쳐서 어떻게 수집되고 또는 선정되었는지에 대해 명확히 밝히고 있지 못하는데, 이러한 문항 수집 및 선정 과정상의 모호함은 문항의 타당도를 떨어뜨린다. 이와 달리 본 연구는 문항 수집 과정에서 기존 연구자들이 사용한 문항을 받아 들이고 그것에 추가해서 시각피로를 직접 경험한 3차원 분야 전문가들과 피험자의 경험을 고려하여 문항을 구성하였다. 이러한 이유 때문에 본 연구에서 개발한 측정도구는 3차원 시각피로를 타당하게 측정할 것으로 기대된다. 둘째, 문항을 수집하고 초기 33문항을 선정한 후에 최종 문항을 결정하기에 앞서 3차원 시각피로의 구성요인을 분석하였다. 또한 애매한 문항을 제거하기 위하여 본 연구는 208명의 피험자를 대상으로 3차원 시각피로를 유발한 후에 초기문항을 이용하여 시각피로를 측정하였고 여기에서 획득된 데이터를 이용하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석 결과, 3차원 시각피로가 4개의 독립적인 하위요인으로 구성되어 있음을 검증하였고, 이 과정에서 2개 이상의 요인과 높은 상관을 동시에 갖는 4개의 문항을 제거하였고 최종적으로 역문항을 포함하여 33개의 문항을 시각피로 측정 문항으로 결정하였다. 셋째, 본 연구에서 제안한 시각피로 측정 문항이 실제로 3차원 시각피로를 측정하는지를 직접적으로 검증하기 위하여 시각피로에 영향을 줄 것으로 기대되는 두 개의 변인(양안시차의 양과 자극 제시 시간)을 조작하면서 본 연구에서 제안한 시각피로 측정방법을 이용하여 피험자들이 경험한 3차원 시각피로를 측정하였다. 본 연구에서 제안한 방법으로 측정된 피험자들의 3차원 시각피로는 두 개의 독립변인(양안시차의 양과 자극 제시 시간)에 의해 통계적으로 유의미하게 영향을 받았다. 이와 같은 실험 결과는 본 연구에서 제안한 시각피로 측정방법이 실제로 시각피로를 적절하게

5) 실험조건간의 차이가 통계적으로 유의미한지 검증하기 위하여 변량분석(ANOVA)을 실시하였다. 변량분석을 실시한 경우에 일반적으로 F값과 p값을 함께 제시하는 것이 관례인데, F값은 측정오차에 비하여 실험조건간의 차이가 얼마나 큰지를 나타내는 효과크기의 개념이고, p값은 통계적 검증결과가 잘못 되었을 확률을 나타낸다. 관례적으로 p값이 0.05미만인 경우에 결과가 통계적으로 유의미한 것으로 해석한다.

측정함을 시사한다. 기존에 제안된 측정방법들 중에 이와 같은 타당도 검증을 거친 측정 방법이 매우 드물기 때문에 본 연구에서 제안한 측정방법의 타당도 검증은 매우 의미가 있다.

그림 2에서 확인할 수 있는 것처럼 시각피로에 미치는 양안시차의 양과 자극 제시 시간의 영향은 측정된 시각피로의 요인이 무엇인지에 따라 달리 나타났다. 아마도 다른 콘텐츠와 다른 독립변인이 실험에 이용되었다면 다른 결과가 나타났을 수도 있다. 이 실험의 목적은 어떤 독립변인이 3차원 시각피로의 어떤 요인에 영향을 미치는지 검증하는 것이 아니라 본 연구에서 제안한 측정방법이 실제로 3차원 시각피로를 측정하는지를 검증하는 것이었다. 본 연구에서 왜 그림 2와 같이 특정의 결과가 나타났는지는 일차적인 관심사가 아니다. 오히려 본 연구에서 제안한 측정방법이 시각피로를 구성하는 하위요인들을 적절하게 측정하며 또한 시각피로의 하위요인들에 영향을 미치는 변인들을 규명할 수 있다는 가능성을 주목하여야 한다. 서론에서 기술하였듯이 3차원 시각피로의 원인규명과 시각피로를 최소화하는 방안에 대한 연구는 시각피로를 정량적으로 측정하는 방법이 전제되어야 가능하다. 본 연구의 의미는 시각피로와 관련한 휴먼팩터 연구의 기반이 되는 3차원 시각피로를 측정하는 방법을 제공한다는 점에 있다.

## VII. 결 론

본 연구는 3차원 시각피로가 얼마나 많은 하위 요인으로 구성되어 있는지를 검증하였고 동시에 주관적 3차원 시각피로를 측정할 수 있는 방법을 제안하였으며 제안하는 방법의 타당도 검증을 하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같이 요약된다. 첫째, 3차원 시각피로가 네 개의 독립적인 요인으로 구성되어 있음을 검증하였다(시각적 스트레스, 안구 통증, 신체 통증, 상호림 요인). 둘째, 네 개의 요인으로 구성되어 있는 3차원 시각피로를 측정할 수 있는 29 문항을 개발하였다(표 1 참조). 셋째, 시각피로에 영향을 줄 것으로 기대되는 양안시차의 양과 자극제시 시간을 조작한 자극을 피험자에게 제시하고 본 연구에서 개발한 도구를 이용하여

피험자들이 경험한 3차원 시각피로를 측정하였는데 측정된 3차원 시각피로가 두 개의 독립변인에 의해 영향을 받음을 검증하였고 동시에 그 영향이 하위 요인에 따라서 달리 나타남을 확인함으로써 제안된 측정 방법의 타당성을 확인하였다.

시각피로의 문제를 극복하기 위해서는 먼저 정확하고 타당한 3차원 시각피로 측정방법을 확보하는 것이 매우 중요하다. 본 연구가 시각피로를 측정하는 방법을 개발하고 그 타당도를 검증하였지만 3차원 시각피로와 같은 주관적인 개념을 측정하는 방법에 대한 한 번의 연구로 완성되지는 않는다. 본 연구에서 제안한 측정 방법은 애매한 문항을 포함할 수 있으며 또한 3차원 시각피로가 본 연구에서 제안하는 요인과 다른 요인으로 구성되어 있을 가능성도 있다. 추가적인 문항개발 연구는 물론이고 본 연구에서 제안한 측정 방법을 지속적으로 이용함으로써 3차원 시각피로를 좀더 정확하게 그리고 안정적으로 측정하는 방법이 완성될 것이다. 또한, 측정 방법의 표준화와 전체 집단의 시각피로 특성을 검증하는 것이 추후에 계속해서 연구되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Huynh-Thu, Q. & Ghanbari, M., "Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment", *Electronics Letters*, 44, 13, pp 800 - 801, June, 2008.
- [2] ITU-R Recommendation BT.500-11, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures", 2002.
- [3] 이형철, "3D 휴먼팩터: 표준화와 안전시청의 구현", *방송공학회지*, 15 권 1호, pp 110-115, 2010년 3월.
- [4] Murata, A. & Uetake, A., Otsuka, M. & Takasawa, Y., "Proposal of an index to evaluate visual fatigue induced during visual display terminal tasks", *International Journal of Human-Computer interaction*, 13, 3, pp 305-321, September, 2001.
- [5] Uetake, A. & Murata, A., "Assessment of mental fatigue during VDT task using event-related potential (P300)", *Proceedings of the 2000 IEEE international workshop on Robot and Human interactive communication*, pp 235-240, September, 2000.
- [6] Yano, S., Emoto, M. & Mitsuhashi, T., "Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images," *Displays*, 25, 4, pp 141-150, November, 2004.
- [7] Kooi, F. L. & Toet, A., "Visual comfort of binocular and 3D displays," *Displays*, 25,2-3, pp 99-108, August, 2004.
- [8] Yano, S., Ide, S., Mitsuhashi, T. & Thwaites, H., "A study of visual

fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images,” Displays, 23, 4, pp 191-201, September, 2002.

[9] Emoto, M., Nojiri, Y. & Okano, F., “Changes in fusional vergence limit and its hysteresis after viewing stereoscopic TV,” Displays, 25, 2-3. pp 67-76, August, 2004.

[10] Marr, D., “Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information”, Freeman, SanFrancisco, 1982.

[11] Livingstone, M. S. & Hubel, D. H., “Segregation of form, color, movement, and depth : Anatomy, physiology, and perception”, Science, 240, 4853, pp 740-749, May, 1988.

[12] Suyama, H., Ishigure, I., Takada, H., Nakazawa, K., Hosohata, J., Takao, Y. & Fujikado, T., “Evaluation of visual fatigue in viewing a depth-fused 3-D display in comparison with a 2-D display,” NTT Technical review, 3, 12, pp 82-89, December, 2005.

[13] Boksem, M. A. S., Meijman, T. F. & Lorist, M. M., "Effects of mental fatigue on atEffecon: An ERP study", Cognitive Brain Research, 25, 1, pp 107-116, September, 2005.

[14] 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, pp 1-30, March, 2008.

[15] Lambooi, M. Ijsselsteijn, W. & Heynderickx, I., "Stereoscopic displays and visual comfort : a review", SPIE News room, 10.1117/2.1200703.0648, 2007.

---

저 자 소 개

---



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 ~ 현재 : TTA, 3DTV PG, 품질안전규격 WG 의장
- 2010년 ~ 현재 : 3D 시청 안전성 협의회 의장
- 주관심분야 : 3D 휴먼팩터, 시지각, Brain-Computer Interface