Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 32, No. 2 pp.207-215, April 2013 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2013.32.2.207

Evaluation of Human Factors for the Next-Generation Displays: A Review of Subjective and Objective Measurement Methods

Sungchul Mun[1,2], Min-Chul Park[1,2]

[1]Department of Human Computer Interaction and Robotics, University of Science and Technology, Seoul, 136-791
[2]Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 136-791

ABSTRACT

Objective: This study aimed to investigate important human factors that should be considered when developing ultra-high definition TVs by reviewing measurement methods and main characteristics of ultra-high definition displays. **Background:** Although much attention has been paid to high-definition displays, there have been few studies for systematically evaluating human factors. **Method:** In order to determine human factors to be considered in developing human-friendly displays, we reviewed subjective and objective measurement methods to figure out the current limitations and establish a guideline for developing human-centered ultra-high definition TVs. In doing so, pros and cons of both subjective and objective measurement methods for assessing humans factors were discussed and specific aspects of ultra-high definition displays were also investigated in the literature. **Results:** Hazardous effects such as visually-induced motion sickness, visual fatigue, and mental fatigue in the brain caused by undesirable TV viewing are induced by not only temporal decay of visual function but also cognitive load in processing sophisticated external information. There has been a growing evidence that individual differences in visual and cognitive ability to process external information can make contrary responses after exposing to the same viewing situation. A wide vision, ultra-high definition TVs provide, can has positive and negative influences on viewers depending on their individual characteristics. **Conclusion:** Integrated measurement methods capable of considering individual differences in human visual system are required to clearly determine potential effects of super-high vision displays with a wide view on humans. All of brainwaves, autonomic responses, eye functions, and psychological responses should be simultaneously examined and correlated. **Application:** The results obtained in this review are expected to be a guideline for determining optimized viewing factors of ultra-high definition displays and accelerating successful penetration of the next-generation displays into our daily life.

Keywords: Ultra high definition, Human factors, Visual fatigue, Cognitive load, Presence

1. Introduction

현재까지의 TV 방송 기술은 흑백방송에서 시작해 컬러방송으로 진화하여 현재는 고화질 HD(High Definition) TV가 널리 보급되어 있다. TV 방송 기술의 진화로 Full HD 3DTV의 보급이 이루어졌으며 개인미디어 기기들에 대한 수요가 증가하고 있다. 최근에는 모바일 3DTV에 대한 보급

Corresponding Author: Min-Chul Park. Korea Institute of Science and Technology, Hwarangno 14-gil 5, Seongbuk-gu, Seoul 136-791.
Mobile: +82-10-7127-5667, E-mail: minchul@kist.re.kr
Copyright@2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.
ⓒThis is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. http://www.esk.or.kr

이 이루어지고 있으며, 이에 따라 영상데이터의 저장/전송 기술 및 영상 콘텐츠에 대한 증가된 수요가 디스플레이 기술을 지속적으로 견인하고 있다(Park et al., 2010). 디스플레이 관련 기술이 급속도로 발전함에 따라 고화질 영상디스플레이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Ahn, 2008; Kim, 2011; Lee and Choi, 2006; Nakasu, 2012; Nishida et al., 2011; Park et al., 2010; Sugawara et al., 2007). 고화질 평판 디스플레이(FPD, Flat Panel Display) 기술과 영상데이터에 대한 디지털 신호저장/전송 기술의 발전에 힘입어 HDTV는 국제 표준포맷으로 자리매김하고 있다(Sugawara et al., 2007). 현재 TV 디스플레이 시장에서는 기존의 HDTV를 넘어 차세대 HDTV 규격으로 일컬어지는 초고화질(UHD, Ultra High Definition) TV가 각광받고 있다. UHDTV는 기존의 HDTV보다 4배 이상 선명한 화질과 22.2 채널의 멀티서라운드 효과로 인간의 시청각 매커니즘에 자연스럽게 부합하는 자극을 제공함으로써 정보처리에 대한 심리적, 생리적 효과를 긍정적으로 촉진한다. 이로 인해 UHDTV는 기존의 디스플레이 보다 높은 임장감과 실재감 등을 제공한다(Sugawara et al., 2007). UHDTV는 기존 HDTV의 적정 시청거리에서의 화각인 30°보다 넓은 화각(100°)에도 화소 간 격차를 시청자가 느낄 수 없어 눈동자의 반응에 대한 시청 방해효과를 최소화 할 수 있다. 이는 기존 TV 시청에서의 몰입 정도와 확연한 차이를 만들어 낼 수 있다(Ahn, 2008). 이러한 장점을 지닌 초고해상도 UHDTV의 몰입도를 극대화하기 위한 휴먼팩터 연구가 현재 일부 분야에서 제한적으로 이루어지고 있다.

NHK는 1995년 이래로 UHDTV를 상용화하기 위해 슈퍼하이비전(SHV, Super Hi-Vision) 관련 연구프로젝트를 통하여 고화질 디스플레이를 구현하기 위한 하드웨어 개발을 추진해왔다. 이 외에도 보다 임장감 있고 현실감 있는 UHDTV의 구현과 최적 시청환경을 시청자에게 제공하기 위하여 인간의 시청각에 UHDTV가 미치는 영향에 대한 휴먼팩터 연구를 진행해왔다(Nakasu, 2012; Nishida et al., 2011; Sugawara et al., 2007). 차세대 디스플레이의 도입은 일부 디스플레이 산업에 국한되는 것이 아니라 그에 제반이 되는 방송통신기술 및 관련 서비스 확대로 이어진다. 최근의 휴먼팩터 연구 경향에 비춰볼 때 이 같은 새로운 UHDTV 관련 서비스의 상용화에 앞서 차세대 디스플레이의 파급 효과를 극대화하기 위한 최적 시청환경에 대한 휴먼팩터 연구가 필수적으로 요구된다. UHDTV에 대한 기존의 연구들의 경우, 제한적으로 인간의 시각계 특성을 반영한 주관적 평가방법에 지나치게 의존하고 있다는 한계를 지니고 있다. 주관적 휴먼팩터 평가방법은 사람의 기억에 주로 의존하기 때문에 시간해상도가 낮고, 평가자 본인이 자신의 상태를 정확하게 보고하지 못 할 경우 신뢰성 있는 데이터를 얻기 힘들다는 단점을 지니고 있다. 또한, HDTV나 3DTV의 시각피로 문제나 몰입감에 대한 많은 과학적 연구들이 존재하나 차세대 디스플레이의 휴먼팩터 평가를 위한 관점을 제시하고 있는 연구가 부족한 실정이다. 인간의 시각계에 자연스러운 영상을 제공하는 최소 4K 이상의 차세대 UHDTV가 인간에게 어떠한 긍, 부정적 영향을 미치는지에 대한 주관적, 객관적 휴먼팩터 연구를 위해서는 우선적으로 기존의 평가방법들에 대한 고찰이 필요하다. 따라서, 본고에서는 기존의 주관적, 객관적 휴먼팩터 평가 기술동향의 고찰을 통해 차세대 디스플레이인 UHDTV에서 고려되어야 할 휴먼팩터 요인에 대해 논의하고자 한다.

2. Definition of Human Factors

휴먼팩터의 정의는 광의의 관점에서, 본래 인간공학(Ergonomics)과 그 맥락을 같이 한다. 즉, 인간에게 최적화된 시스템이나 기기를 설계하기 위해 인간의 고유 특성(신체적, 인지적 특성)을 고려하여 시스템과의 상호작용 시 인간의 안전성, 효율성, 쾌적성 등을 확보하는 것이라 할 수 있다. 그러나, 최근 3D 디스플레이의 입체감 제시 방식과 인간이 현실세계의 이미지를 지각하고 인지하는 방식과의 차이로 인해 3D가 인체에 미치는 부정적 영향(광 과민성 발작, 영상멀미, 시각피로)에 대한 연구가 주를 이루고 있어 그 의미가 협의적으로 사용되고 있다. 다시 말해, 현재 3D 휴먼팩터의 의미는 그 개념이 3D의 긍정적 측면을 포함하지 않은 채 안전성에 국한되어 협의적으로 통용되고 있다. 많은 연구자들이 3D가 인간의 시 기능이나 시인지에 미치는 부정적 영향을 평가하여 최적 시청파라미터를 규명하기 위한 주관적, 객관적 연구들을 진행해왔다(Emoto et al., 2004; Hagura et al., 2006; Lambooij et al., 2009, 2012; Lee et al., 2009, 2010; Lee and Song, 2012; Li et al., 2008, 2010; Mun et al., 2012a, 2012b; Yang et al., 2012; Yano et al., 2002). 3D나 차세대 초고화질 디스플레이가 제공하는 입체감과 현실감을 극대화하기 위해서는 인간공학적 측면에서 포괄적인 접근이 필요하다. 즉, 사회적으로 현재의 부정적인 휴먼팩터 정의를 광의의 개념으로 확대시키기 위해서는 다양한 디스플레이 특성과 시청환경 등이 인체에 미치는 긍정적 연구가 필수적으로 요구된다. 이러한 긍정적 연구의 필요성에 대한 학술적 근거는 다음과 같다. 기존 연구에 의하면 입체 영상의 현실감이 유발하는 긍정적 몰입감과 시각피로 간의 부적 상관관계가 존재한다(Yang et al., 2012). 또한 칙센미하이의 몰입이론(Flow theory)에 따르면, 몰입이 지속될 때 특정 물리적 행동은 단순한 로드(Burden)가

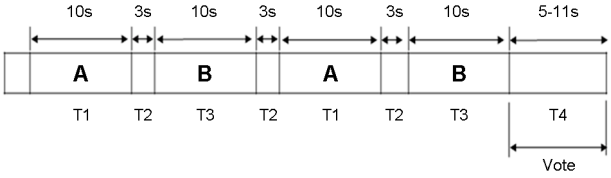
아닌 즐거움이 될 수 있으며 이로 인해 인간은 행복을 느끼게 된다(Csikszentmihalyi, 1975). 이는 디스플레이 시청 시 유발될 수 있는 시각피로를 스토리에 몰입하게 함으로써 감소시킬 수 있는 가능성이 존재함을 암시한다. 따라서, 기존의 2D 및 3D 휴먼팩터 연구는 주로 인체에 부정적 영향에 대한 것이 주를 이루었으나 차후 차세대 디스플레이인 UHDTV에 대한 휴먼팩터 연구를 진행함에 있어서는 UHDTV가 주는 긍, 부정적 영향 모두에 대해 포괄적으로 연구 범위를 확대하여야 한다.

3. Subjective Measurement Methods

주관적 휴먼팩터 평가방법은 개인의 인지적 판단에 근거하여 특정 자극이나 사실에 대해 평정하는 방식이 주를 이룬다. 비교적 복잡한 실험설계에도 특정 독립변인이 종속변인에 미치는 주효과와 상호작용 효과를 간단한 절차를 통해 검정할 수 있다는 면에서 각광받고 있다. 주관적 휴먼팩터 평가방법은 탐색적 연구와 자기보고 설문평가(개방형, 폐쇄형)로 크게 구분될 수 있다. 탐색적 연구는 기존에 알려진 변인 이외에 의미 있는 또 다른 변인이 있는지의 여부와 그 하위속성들과의 관계를 내적 타당도를 고려하여 규명하는 형태이며 주로 탐색적 요인분석과 확인적 요인분석을 이용한다. 관측변인과 잠재변인 간의 관계가 불확실 할 경우, 먼저 탐색적 요인분석을 실시하여 각 변수가 어떠한 요인에 어느 정도의 상관성으로 속하고 있는지를 나타내는 요인 부하량(Factor loading)과 고유치, 다중상관성을 고려하여 요인의 구조가 명확해 질 때까지 요인분석을 반복하여 잠재요인들의 하위구조를 규명한다. 이후 확인적 요인분석을 통하여 도출된 요인구조에 대한 내적 타당도를 검증한다. 예를 들면, 시각피로(Visual fatigue) 외의 신체적 불편감을 나타내는 또 다른 요인인 시각적 불편감(Visual discomfort)이라는 요인의 잠재구조와 속성을 탐색적 요인분석을 통해 도출하고 관측변인과 잠재변인과의 하위 속성들을 내적 타당도를 고려하여 다시 한번 검증하는 형태가 주를 이룬다.

자기보고 설문평가 방식은 크게 영상이 제공하는 화질을 평가하는 화질평가 분야와 영상콘텐츠나 디스플레이 특성으로 인해 유발되는 영상멀미, 시각피로 등을 평가하는 분야에서 주로 사용되고 있다. 광범위한 범위에서 화질평가 또한 휴먼팩터에 포함된다고 볼 수 있으며, 대부분의 주관 화질평가 방식은 ITU-R BT.500 문서에 그 근간을 두고 있다(ITU-R BT.500). 여러 평가 방식들 중에서 DSIS (Double-Stimulus Impairment Scale)와 DSCQS(Double-Stimulus Continuous Quality-Scale) 방식이 널리 사용되고 있다. DSIS 방식은 원 영상(A)에 비해 전송과정에서 일어나는 압축이나 수신 시 발생되는 손상에 의한 화질열화(B)를 평가하는 것을 그 목적으로 하고 있다(ITU-R BT.500; Park et al., 2010).

Figure 1에서 보여지는 바와 같이, DSIS 방법은 원 영상을 항상 먼저 제시하고 손상을 입은 영상을 뒤에 제시하여 Table 1에 보여지는 점수체계에 의해 영상을 평가하게 한다.



Phases of presentation

T1 = Reference picture
T2 = Mid-grey produced by video level of around 200 mV
T3 = Test condition
T4 = Mid-grey

Figure 1. Test sequence of DSIS (Double-stimulus impairment scale) (ITU-R BT.500)

Table 1. Evaluation scale of DSIS(ITU-R BT.500)

	Grading scales	Presentation			
		1	2	3	4
5	Imperceptible				
4	Perceptible, but not annoying				
3	Slightly annoying				
2	Annoying				
1	Very annoying				

DSCQS(Double-Stimulus Continuous Quality-Scale) 방식은 신호 규격이나 영상을 구성하는 파라미터들을 달리한 자극(A)대 자극(B)가 Figure 2와 같은 순서로 제시되며, MOS(Mean Opinion Score) 값을 각 영상에 대해 Figure 3에 보여지는 100점 척도 상에 평정하는 방식을 따른다.

Park 등(2008)은 UHDTV의 화질을 평가하기 위해 위에 명시된 두 가지 주관적 화질평가 방법을 이용하여 RG1G2B 형식의 무압축 영상을 공간적 텍스처의 복잡도와 영상 내의 객체들의 움직임에 대한 시간 변화량에 따라 8개의 테스트 영상으로 분류하였다. 이들은 분류된 8개 영상들에 대한 공간해상도, 컬러포맷, 프레임률, 압축률, 시청거리 등의 파라미터 요인의 세부 수준을 달리하여 주관적 화질평가를 수행

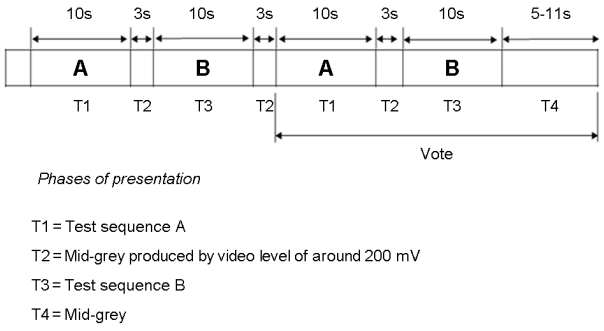


Figure 2. Test sequence of DSCQS (Double-Stimulus Continuous Quality-Scale) (ITU-R BT.500)



Figure 3. Evaluation scale of DSCQS(ITU-R BT.500)

하였다. 주관평가 결과, 컬러포맷이 YUV444인 4K-UHD 영상이 YUV422, YUV420인 영상에 비해 더 높은 화질평가 점수를 받았으며, 60fps 4K-UHD 영상이 30fps의 같은 화질의 영상보다 영상 내 객체들의 공간적 움직임이 많은 경우 더 고화질로 평가되었다. 또한 복x부호화된 4K-UHD 영상의 경우 영상의 최대 픽셀 값에 대한 평균적인 픽셀별 원 영상과의 변환된 영상의 차이에 대한 비율로 나타나는 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 값이 높아질수록 압축된 영상과 원 영상 간의 차이가 감소하여 높은 주관적 화질평가 점수를 받는 것으로 조사되었다. 또한 시청거리 1.5H에서 PSNR 값이 38dB 이상이 될 때와 3H 거리에서 PSNR 값이 34dB 이상이 될 때 높은 MOS 값이 나타나며 원 영상과의 차이가 미미한 것으로 보고되었다. UHDTV에 대한 주관적 화질평가 연구는 곧 도래할 4K-UHD 콘텐츠 시청 시 방송규격이나 최적 시청환경을 규명하는데 많은 도움이 될 것으로 기대되나 통계적 1종 오류와 2종 오류에 대한 데이터 검증이 향후 연구에 반영되어야 할 것으로 판단된다.

마지막으로, 가장 널리 이용되고 있는 디스플레이 관련 자기보고 평가방법은 특정 자극이 인간의 시지각 체계에 미치는 영향을 실험참가자에게 재인하게 한 후 육체피로(Physical fatigue), 시각피로(Visual fatigue), 인지피로(Mental fatigue) 등의 평가항목에 대하여 리커트척도(Likert scale)에 따라 평정하게 하는 방식이다. 이러한 평가 방식은 특정 자극에 노출되기 전후에 각각 실시되며 그 유의미한 차이를 평가하는 방식으로 통용되고 있다. 대표적인 시각피로 관련 설문지로는 3D 시각피로를 측정하기 위해 Li 등(2010)이 개발한 주관적 3D 시각피로 평가 설문지가 있다. 이 시각피로 설문지는 4개의 요인(시각적 스트레스, 안구통증, 신체적 통증, 상흐림)과 그 하위변인들로 구성되어 있으며, 208명(탐색적 요인분석과 확인적 요인분석에 절반씩 무선적으로 할당)의 주관 피로 설문데이터를 바탕으로 도출되었다(Li, 2010).

이외에도 ITU-R(International Telecommunication Union Radio Sector)에 표준화되어 있는 SSCQE(Single Stimulus Continuous Quality Evaluation Method) 방법도 주관적 휴먼팩터 평가방법으로 종종 이용되고 있다. SSCQE는 실시간으로 영상의 화질을 주관적으로 평가하는 방식으로 통용되고 있으나 3D 시각피로를 측정할 때 변형되어 사용되기도 한다(Yano et al., 2002).

전술한 주관적 평가방법들을 이용하여 특정 디스플레이의 화질평가와 피로도 측정을 비교적 간단한 절차를 통해 실시할 수 있다. 그러나 주관적 평가방법의 경우 실험참여자가 자신의 상태를 스스로 잘 파악하지 못하거나 그 당시의 기분이나 상태에 의존하여 주관적 판단을 내리는 경우에 한하여 test-retest 시에 간혹 낮은 신뢰도를 보인다. 또한 평가항목에 대해 연구자들 간의 이견이 존재하고, 개인의 기억에 크게 의존함으로 시간적 해상도(Temporal resolution)가 객관적 평가방법에 비해 상대적으로 떨어진다는 단점이 존재한다(Mun et al., 2012a).

4. Objective Measurement Methods

객관적 휴먼팩터 평가방법은 안전도(EOG, Electro-oculogram), 심전도(ECG, Electrocardiogram), 뇌파(EEG, Electroencephalogram), 근전도(EMG, Electromyogram), 자율신경계 반응(GSR, Galvanic Skin Response; SKT, Skin Temperature; PPG, Photoplethysmogram) 등의 다

양한 인체의 생리적 변화가 특정 자극의 효과에 대해 유의미한 인과관계나 상관성이 있는지를 분석하는 평가하는 방법이다. 디스플레이 관련 객관적 휴먼팩터 평가방법은 생리적 매커니즘에 따라 크게 시각 기능, 인지 기능, 자율신경계 측정 등의 세 부분으로 분류될 수 있다(Mun et al., 2012b).

시 기능 측정은 주로 다양한 시각 자극에 대한 눈의 수렴과 조절 기능의 상대적, 절대적 변화를 측정하여, 양안 시 기제와의 연관성을 분석한다. 이러한 시 기능은 개인마다 그 능력이 다르게 보고되고 있으며, 이는 두 영상이 융합되어 단일상으로 지각될 수 있는 시각체계의 융합 범위를 의미하는 패넘의 융합역(Panum's fusional area)의 범위가 개인마다 상이하기 때문이다. 이러한 차이가 입체 영상을 시청할 때에 개인에 따라 상이한 반응(어떤 사람은 몰입감을 느끼고 다른 사람은 심한 피로감을 느끼는 경우)을 초래한다(Lambooij et al., 2009; Mun et al., 2012a). Yano 등(2002)은 3D HDTV 시청과 2D HDTV 시청에서 유발된 시각피로 정도를 시청 전후의 눈의 조절 기능의 변화(Change of accomodation response)를 측정하여 평가하였다. Emoto 등(2004)의 연구에서도 2D와 스테레오스코픽 3D 영상에 대한 시각피로 평가 시 융합력(Fusional amplitude)과 조절 대 폭주비(AC/A ratio)의 변화에 대한 측정이 유의미한 피로 측정 파라미터임이 보고되었다. 또한 조절 속도(Accommodation speed)와 평균 눈 깜박임 수(Average blinking rate)의 변화를 측정하는 방법도 시각피로를 측정하는데 사용되고 있다(Lee et al., 2009, 2010).

뇌파(EEG)는 Berger에 의해 처음 발견된 이후, 비침습적인 방법으로 대뇌의 기능적인 변화를 간접적으로 측정할 수 있다는 점에서 널리 이용되는 객관적 휴먼평가방법 중 하나로 널리 알려져 있다. 뇌파는 외부 자극에 대한 수많은 신경세포들의 작용에 의해 발생된 전기적 펄스가 축적되어 특정한 형태로 나타나는 것이며 뇌의 저차원 및 고차원적 인지적 활동을 반영하는 척도이다. 이러한 뇌파는 크게 일반적으로 발생하는 배경뇌파(Background EEG)와 특정 자극에 의해 발생되는 유발전위(Evoked potential)로 나눌 수 있다. 배경뇌파의 Beta파는 특정 자극에 대한 정신적 활동(Mental activity)의 증가를 나타내며 Low-Beta, Mid-Beta, High-Beta로 다시 분류된다. Low-Beta는 감각운동리듬(SMR, Sensorimotor Rhythm)이라 일컬어지며 비교적 안정된 상태의 정신적 집중을 나타내는 지표로 여겨진다. Mid-Beta는 주의력결핍 과잉행동장애(ADHD, Attention Deficit Hyperactivity Disorder)의 치료에도 주로 이용될 만큼 높은 집중력을 반영하는 지표로 널리 알려져 있다. 그러나 High-Beta는 특정행동에 대한 중독, 우울증, 불면증 및 정신적 스트레스를 반영한다. 따라서 과도한 3D 자극처럼 인간의 시각체계에 로드를 줄 수 있는 부자연스러운 자극에 의해 유발된 정신적 과부하(Mental load)를 측정할 때 활용될 수 있다(Li et al., 2008). 특정 자극에 반복적으로 노출시킴으로써 발생되는 유발전위는 크게 사건유발전위(ERP, Event-Related Potential)와 시유발지속전위(SSVEP, Steady-State Visually Evoked Potential)로 나눌 수 있다. 사건유발전위는 반복적으로 자극이 제시되어질 때 의도를 가지지 않고 응시한 자극(표준 자극)보다 의도를 가지고 응시한 자극(표적 자극)에 대한 평균 유발전위가 더 큰 특성을 가지는 전위이다. 사건유발전위는 뇌의 지각적, 인지적 기능을 간접적으로 반영하며 P100, N100, N400, P300a, P300b, P600, P700 등 다양한 정적, 부적 진폭을 가지는 요소들이 보고되고 있다. P100, N100, N400 등은 반복적인 자극에 대한 반사적인 지각을 반영하는 요소로 여겨지며, P300a는 특정 자극에 대한 집중을 나타내거나 새로운 자극에 대한 처리과정을 반영한다. P300b, P600, P700 등은 LPP(Late-Positive Potential)로 불려지며 외부 자극에 대한 정보처리 과정, 즉 인지적 처리과정을 반영한다고 알려져 있다. 태스크의 복잡도나 인지적 로드가 높을수록 정적 진폭이 뒤에서 나타나는 경향이 있다. P600, P700 등은 언어 처리과정에서 문장의 구조적 오류를 구분할 때나 감성 자극에 대한 반응과 관련하여 주로 보고되고 있다. 이러한 LPP 요소들은 부적절한 3D 자극에 지나치게 오래 노출되거나 가까운 시청거리에서 3D를 시청할 때 P600, P700 등의 진폭(Amplitude)이 감소하고 잠복기(Latency)가 길어진다는 점이 보고되고 있다(Li et al., 2008; Mun et al., 2012a). 잠복기의 증가는 부적절한 3D 시청이 표적 자극을 구분하는데 필요한 신경세포의 활동을 지연시켰음을 나타내며 진폭의 감소는 유발된 피로가 집중력의 저하를 초래하였음을 단적으로 반영한다(Mun et al., 2012a; Murata et al., 2005). 시유발지속전위는 6Hz 이상의 밝고 반복적으로 명멸되는 빛 자극에 의해 유발되는 뇌파로서 반복적인 명멸 자극에 간접적으로 집중하거나 그 자극을 직접적으로 볼 경우 자극에 해당하는 주파수와 같은 뇌파의 주파수가 동기화되는 현상이다. 이러한 시유발지속전위는 공간상의 선택적 주의력(Selective attention)을 측정할 때 주로 이용된다. 공간상의 중앙에 시선을 고정한 채 두 가지 다른 주파수로 반복되는 특정 자극에 집중력을 나눌 경우 무시한 쪽에 비해 집중을 더 많이 한 쪽에 시유발지속전위의 진폭 값이 높아진다. 이러한 특성을 이용하여 Mun 등(2012a)은 3D 시각피로에서 유발되는 인지적 로드를 사건관련전위와 시유발지속전위를 동시에 측정하여 3D 인지로드를 측정할 수 있는 평가방법을 제안하였다. Figure 4는 3D 시청이 유발할 수 있는 인지적 로드를 평가하는 시각 자극을 보여준다.

뇌파 이외에도 특정한 순간의 뇌의 기능적 변화를 측정할 수 있는 기능적 자기공명영상(fMRI, functional Magnetic

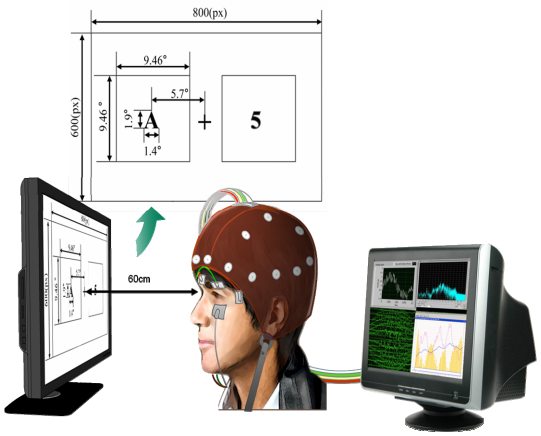


Figure 4. Visual stimuli for evaluating cognitive load caused by 3D viewing(Mun et al., 2012a)

Resonance Imaging)을 이용한 평가방법도 존재한다. fMRI는 뇌의 여러 부위의 혈액의 산소분포를 정확하게 투영함으로써 뇌의 어떤 부위가 활성화되고 있는지를 높은 공간해상도로 관찰할 수 있다. 또한, 뉴런이 활성화될 때 발생하는 자기장에 근거하여 뇌 활동을 측정하는 자기 뇌도 측정법(MEG, Magneto Encephalo Graphy)도 시각피로를 측정하는 평가방법으로 이용될 수 있다(Hagura et al., 2006). 그러나 이러한 방식들은 고가의 대규모 장비와 전문적 인력을 요구하고 EEG에 비해 공간적 해상도는 매우 높으나 시간적 해상도가 떨어진다는 단점이 존재한다.

자율신경계는 말초신경계의 대표적인 신경계로서 부교감신경계와 교감신경계로 이루어져 있으며, 외부 자극에 대한 인체의 변화를 감지하고 대응하기 위해 인체의 항상성(Homeostasis)을 유지하는 생체 매커니즘을 관장하고 있다. 또한, 부교감신경의 일종인 미주신경은 인체의 각 기관의 곳곳에 있는 혈관과 생체 매커니즘에 영향을 미쳐 외부변화에 대응하기 위한 신체기제를 관장한다. 우리 몸을 안정시키는 작용을 하는 미주신경이 과도하게 작용하게 되면 심장 등의 주요기관에 영향을 미쳐 심장박동을 줄이고 혈압을 떨어뜨려 혈액이 뇌에 잠시 동안 공급되지 않아 의식을 잃는 미주신경성 실신이 유발될 수도 있다. 이러한 미주신경은 호흡을 면밀히 분석함으로써 간접적으로 그 기능을 측정할 수 있다. 교감과 부교감신경계의 상호작용을 반영하는 심전도, 피부온도, 피부전기반응, 호흡, 광혈류량 등을 측정함으로써, 외부자극에 대한 체내의 항상성 매커니즘의 변화를 평가할 수 있다. 이러한 자율신경계 측정방법을 이용하여 디스플레이 시청 시 유발되는 시각피로, 영상멀미 등을 평가한 연구들이 다수 존재한다.

Sakamoto 등(2008)은 2D 영상에 대한 평균 눈 깜박임과 심박변이률(HRV, Heart Rate Variability)을 측정하여 시각피로와 몰입감을 시청거리별로 분석하여 교감신경계와 부교감신경계의 변화를 관찰하였다. Sugawara 등(2007)은 UHDTV 시청시야각에 따른 영상멀미 정도를 측정하기 위해 심박변이률을 부수적인 지표로 이용하였다. Park 등(2011)도 3D 시각피로가 교감 및 부교감 신경계와 심혈관계 반응에 미치는 영향을 분석하여, 교감신경을 반영하는 LF 성분과 호흡과 미주신경을 반영하는 HF 성분의 비율로 나타나는 LF/HF ratio와 Autonomic balance를 반영하는 Ln(LF), Ln(HF)의 유의미한 변화를 보고하였다. 이외에도 혈압과 혈류량의 최대 교차 상관계수를 이용하여 3D 영상멀미를 예측하는 평가방법도 이용되고 있다(Abe et al., 2008). 자율신경계 측정방법은 생체 매커니즘의 균형을 평가할 수 있다는 점에서 각광받고 있으나, 자극에 의해 유발된 자율신경계 반응과 정상적인 신진대사에 의해 발생하는 반응 간의 명확한 차이를 구분하기가 쉽지 않다는 단점이 있다. 또한 외부환경 변화에 아주 민감하고 개인 간의 생리적 차이가 크며, 비교적 극단적인 자극에 의해 측정되어야만 명확한 생리적 변화가 나타난다는 한계점이 존재한다.

생리신호 기반 휴먼팩터 평가방법이 객관적으로 특정 외부 자극에 의해 유발되는 생체변화를 정량화한다는 점에서는 신뢰성이 높으나 자극에 의해 유발되는 생체 매커니즘을 직접적으로 측정하는 것이 아니라는 점에 유의해야 한다. 휴먼팩터의 안전성 측면에서 예를 들면, 추상적 개념의 피로를 직접적으로 측정할 수 있는 지표는 존재하지 않으며, 피로 그 자체를 측정한다기 보다 특정 자극에 노출된 후의 생리반응을 측정하고 평가, 해석하여 자극에 노출되기 전과 비교하여 유의한 차이가 있으면 피로하다라고 판단하는 것이다. 따라서, 외부환경, 개인의 만성적 병변 여부, 생리신호들 간의 간섭(e.g., 뇌파 측정 시 눈과 근육의 움직임, 심박 등이 노이즈로 고려되어야 하는 현상) 등의 여러 가지 변인들을 세밀하게 고려하지 않을 시에, 피로를 간접적으로 나타내는 여러 생리적 반응들의 신뢰성이 떨어질 수 있다. 이는 측정된 생리반응에 대한 잘못된 평가와 해석으로 이어져 편향된 연구결과를 초래할 수 있다. 따라서, 진화에 의해 인간의 신체에 체화된 여러 가지 생리반응과 인지된 주관적 기억을 통합적으로 측정하고 각 요소들 간의 상관성을 분석하여 의미 있는 파라미터를 추출하여야 한다. 즉, 통합적인 휴먼팩터 평가 프로토콜과 개인 간 변이를 최소화할 수 있는 적응적 신호처리 알고리즘에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 또한, 생리반응을 측정하기 위해서 실험참가자에게 부착하는 여러 센서들과 피부와의 저항을 떨어뜨리기 위하여 주입하는 젤 등이 실험참가자에게 불쾌함을 초래하여 편향된 실험결과가 도출될 가능성도 배제할 수 없다. 최근 이러한 단점을 보완하기 위해 건식 센서들도 다수 개발되었으나 아

직은 신호의 공간해상도에 문제가 있어 데이터 신뢰성을 보장할 수 없다는 한계점이 존재한다. 최근의 휴먼팩터 연구 동향은 전술한 일부 문제점들을 해결하기 위해 주관적 평가 방법과 객관적 평가방법을 동시에 수행하여 측정된 데이터에 대한 신뢰성을 높이고 있다. 그러나 주관적, 객관적 휴먼팩터 평가방법의 일부만을 고려하여 실험실 환경 안에서 특정 자극에 대한 인간의 반응을 제한적으로 측정하고 있다는 점에서 여전히 그 한계점을 드러내고 있다. 다양한 시청환경과 콘텐츠 시청에 의해 유발되는 인체 안전성 문제와 몰입감에 대한 함수관계를 명확히 규명하기 위해서는 실험실 환경이 아닌 실제 거실환경에서 실시간으로 인간의 반응을 평가할 수 있는 실험 프로토콜이 설계되어야 한다. 또한, 다양한 주관적, 객관적 평가 프로토콜을 이용하여 인간의 반응을 측정할 시에 2D 및 3D 시청에 의해 유발되는 긍정적, 부정적 효과가 만성적인 것이 아닌 일정시간이 지나면 소멸되는 일시적인 것이라는 점에서 실시간으로 인간의 시각, 인지, 자율신경계 반응들의 상관성을 매핑하고 평가할 수 있는 객관적 프로토콜과 자극에 대한 기억의 간극을 최소화 할 수 있는 주관적 휴먼팩터 평가 프로토콜이 통합적으로 고려되어야 한다(Mun et al., 2010b).

5. Discussion and Conclusion

본고에서는 차세대 UHDTV의 휴먼팩터 평가를 위해 기존의 주관적, 객관적 휴먼팩터 평가방법에 대해 고찰하였다. 기존의 연구방법들은 주관적, 객관적 평가방법들을 동시에 고려하여 휴먼팩터 이슈를 평가하고 있으나 이는 제한적인 프로세스에 의해 이루어지고 있다. 기존 연구의 한계를 극복하고 차세대 디스플레이에 대한 적절한 휴먼팩터 평가를 위해서 고려해야 할 사항은 다음과 같다. 첫째, 시각피로 문제는 비단 한시적 눈의 기능 저하에서 비롯된 것이 아니라 뇌의 시각체계영역과 밀접한 관련이 있기 때문에 이 점을 평가방법에 고려해야 한다. 기존의 2D 및 3D가 유발하는 시각피로 문제는 주관적 평가와 시각 기능에 지나치게 편향되어 연구가 진행되어 왔다. 시각피로는 단순히 자극의 상을 처리하는 안구의 피로에만 국한되어 있는 것이 아니다. 자극을 처리하는 인간의 시각체계는 망막에 맺힌 자극이 양극세포를 지나면서 전기신호로 바뀌고 신경절 세포의 축색은 시신경 교차를 거쳐 정보를 시상의 외측슬상핵(LGN, Lateral Geniculate Nucleus)으로 보낸다. 대뇌피질 내의 시각 경로를 통해 일차시각피질(Primary visual cortex)과 2차 시각피질(Secondary visual cortex)을 거쳐 추가적으로 정보를 처리하여 이를 대뇌피질의 여러 경로로 보낸다. 시각 정보가 처리되는 흐름에 따라 무엇(What)경로로 알려진 복측 흐름(Ventral stream)과 어디(Where) 혹은 어떻게(How)경로로 알려진 배측 흐름(Dorsal stream)으로 분류된다. 시각경로는 망막의 신경절 세포에서부터 동일한 정보에 대해서도 세포에 따라 반응하는 방식이 상이하다. 대표적으로 대세포성 뉴런(Magnocelluar neurons)은 큰 세포체와 수용장을 가지고 있으며 망막 상에 균등하게 분포되어 있다. 이들 신경세포는 색에 민감하지 않고 세부적인 정보 보다는 동적인 자극이나 전반적인 형태를 파악하는데 보다 잘 반응한다. 이에 반해, 소세포성 뉴런(Parvocelluar neurons)은 작은 세포체와 수용장을 가지고 있고 중심와 부근에 분포하고 있기 때문에 외부 자극의 색과 세부 사항에 민감하게 반응한다. 이러한 신경세포들의 특수성은 대뇌피질내의 정보처리 경로에서도 지속적으로 반영된다. 이러한 시각체계의 특징들을 미루어 살펴볼 때 특정 자극에 대한 시각피로 평가 시 눈 기능의 일시적 저하로 나타나는 지표들에만 국한되어질 것이 아니라 뇌의 정보처리 과정을 반영할 수 있는 방법이 함께 고려되어야 한다. Mun 등(2012a)이 제안한 인지피로 평가방법(인지처리 과정을 반영하기 위해 주관평가, 태스크 반응시간, 사건관련전위, 시유발지속전위의 특성을 이용)은 시청 전후에 국한되어 3D 시각피로가 유발하는 인지적 로드를 정량적으로 평가했다는 점에서, 시청 중에 발생되는 실시간 피로평가에 대한 부분이 보완되어야 한다. 차세대 디스플레이의 부정적 휴먼팩터 평가 시에는 시청 전, 중, 후의 심리적, 생리적 변화를 주관적 반응, 시 기능 및 시인지 기능의 통합적 상관성에 의해 평가할 수 있는 평가 프로토콜이 개발되어야 한다.

둘째, 인간의 외부 자극에 대한 정보처리 능력의 개인적 차이가 고려되어야 한다. 인간은 미세하게 대뇌피질의 전반적 구조에 대한 위치적 차이를 가지고 있고 시각체계에 각기 다른 정보처리 능력을 지니고 있다. 예를 들면, 인간이 특정 영상에 대해 실재감과 현장감을 극대화하기 위해서는, 사람의 눈이 하나의 대상을 다른 대상으로부터 얼마나 상세히 구별할 수 있는지 나타내는 척도인 각 분해능(Angular resolution)이 최소 40~50cpd 이상이어야 하며 시청시역이 80~100 arc-degree를 만족하는 8K(7,680×4,329 pixels)급 초고화질 영상이 요구된다(Park et al., 2010; Sugawara et al., 2007). 이러한 실재감을 확보하기 위한 UHDTV의 세부 스펙자체도 사람에 따라서 다를 수 있다는 점에 주목해야 한다. 사람에 따라 시신경에 있는 축색의 수, 외측슬상핵과 시각피질에 정보처리를 위해 필요한 세포의 수가 각기 다르기 때문이다. 어떤 사람들은 축색의 수가 두세배가 많거나 외부자극에 민감하게 반응하는 신경세포의 수가 다른 사람들보다 많다. 이러한 세포 수의 차이가 시각자극의 미세한 점을 감지할 수 있는 능력에서 큰 차이를 나

타나게 한다(Halpern et al., 1999). 이러한 개인차 요인은 3D에 대해 느끼는 피로 차이에서도 분명하게 나타나고 있다(Lambooiji et al., 2012; Lee and Song, 2012; Mun et al., 2012a). Lambooij 등(2012)은 3D 자극에 대해 느껴지는 시각적 불편감의 개인차를 인지하고 2D와 3D 자극에 대한 리딩 퍼포먼스 차이와 시각적 불편감과의 관계를 규명하여 3D 민감성을 사전에 평가할 수 있는 평가 프로토콜을 제안하였다. 차세대 디스플레이인 UHDTV는 기존의 HDTV보다 넓은 화각을 제공한다. 이는 임장감과 실재감을 극대화 시킬 수 있는 반면, 사람에 따라 영상멀미나 시각피로를 유발할 수 있는 가능성이 존재한다(Lee et al., 2010; Sugawara et al., 2007). 따라서, Lambooij 등(2012)이 제안한 기존의 3D 개인 민감성 평가 프로토콜을 보다 사용자 편의적인 관점에서 개선하고 검증할 필요가 있으며, 추후 연구를 통해 UHDTV의 넓은 화각에 따른 개인의 민감성을 미리 테스트 해 볼 수 있는 평가 가이드라인 개발이 이루어져야 한다.

마지막으로 UHDTV와 관련된 휴먼팩터 평가 문제는 부정적 측면 뿐만 아니라 긍정적 측면에서도 이루어져야 한다. 기존의 휴먼팩터 방법은 지나치게 부정적 측면에서 연구가 이루어져 왔다. 일부 연구의 경우 UHDTV의 실재감을 주관적 평가와 신체자세 동요 정도(Body sway)를 측정하여 평가하고 부정적 측면에 대해서도 SSQ(Stimulator Sickness Questionnaire) 방법과 심전도의 한 지표인 LHR(LF/HF Ratio)을 측정하여 UHDTV에서 고려해야 할 휴먼팩터 요인에 대해 조사하였다(Sugawara et al., 2007). 그러나 제한적인 자극, 시야각 및 짧은 시청시간에 따른 심리적, 생리적 변화를 측정했다는 점에서 실재감 측면에서는 일부 유의미한 차이가 발견되었으나 부정적 측면에서의 유의미한 피로 효과는 발견되지 않았다. 과거 3DTV의 경우 연구자체가 3DTV가 이미 나온 시점에서 본격화되었기 때문에 현재까지도 부적절한 시청이 인체에 미치는 영향에 대한 명확한 최적 시청파라미터 규명이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 인체 안전성이 확보되지 않은 상황에서의 3DTV의 보급은 잠재고객의 니즈를 충분히 만족시킬 수 없으며 부정적 효과를 상쇄할 긍정적 몰입감에 대한 연구결과도 턱없이 부족하기 때문에 3D 산업을 충분히 견인하지 못하고 있다. 일본 NHK는 1990년대부터 UHDTV에 대한 연구를 진행해 왔고 2000년대에 들어서는 UHDTV 관련 휴먼팩터 연구를 지속적으로 장려해왔다. 우리나라도 UHDTV에 대한 화질평가 연구를 꾸준히 수행해왔다. 그러나 지나치게 주관적 평가에 의존한 국소적인 화질평가만이 실시되어 왔기 때문에 다양한 자극과 장시간 시청 등의 여러 환경 요소를 고려한 UHDTV의 긍, 부정적인 휴먼팩터에 대한 광범위한 연구가 필요한 시점이다.

UHDTV는 이제 개발단계를 지나 시장에 발을 내딛는 단계에 이미 접어들어 있지만 UHDTV가 보급화 됨에 따라 부각될 것으로 예상되는 휴먼팩터 이슈에 대한 연구는 미비하다. 초고화질의 해상도와 22.2 채널의 멀티서라운드 효과가 주는 긍정적 시청 효과는 매우 클 것으로 예상된다. 그러나 넓은 시야각에 따른 자극의 지나친 현장감은 인체에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다. 몰입감에 대한 부분과 영상멀미, 피로 등에 대한 부정적 휴먼팩터 요인 간의 상관관계에 대한 명확한 규명과 최적 시청환경 파라미터를 규명하기 위한 심리적, 생리적, 사회적 연구가 뒤따라야만 UHDTV 산업의 지속적인 견인과 더불어 그에 관련된 방송 기술 산업 또한 활성화 될 수 있을 것으로 예상된다. 이에 더불어, 시청자 관점에서 자신의 상태 및 특정 영상에 대한 민감도 등을 간단하게 진단할 수 있는 어플리케이션의 개발도 UHDTV의 빠른 시장 잠식에 도움이 될 것으로 판단된다. 이러한 어플리케이션의 개발은 사람의 특정 자극에 대한 퍼포먼스와 시청 민감도 간의 지속적인 상관관계에 대한 연구조사가 이루어진 후에 진행되어야 한다. 본고에서 고찰한 기존의 휴먼팩터 평가방법들과 UHDTV의 특성을 적절히 반영하여 통합적인 휴먼팩터 평가체계를 확립한다면 시청자 친화적인 UHDTV의 도래가 더욱 앞당겨질 것으로 기대된다.

Acknowledgements

This work was partly supported by the IT R&D program of MKE/KEIT [10038745, 3D Equipment/Device Centered "Human Factor" Research and Development for Securing Human Safety] and by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No. 2012-0009233).

References

Abe, M., Yoshizawa, M., Sugita, N., Tanaka, A., Chiba, S., Yambe, T. and Nitta, S., A Method for Evaluating Effects of Visually-Induced Motion Sickness Using ICA for Photoplethysmography, *Proceedings of the 30th International IEEE EMBS Conference*, (pp. 4591-4954), Vancouver, BC. 2008.

Ahn, C., Technology Development Trends of Ultra High Definition TV, *Korea Society Broadcast Engineers Magazine*, 13(1), 97-112, 2008.

Csikszentmihalyi, M., Play and Intrinsic Rewards, *Journal of Humanistic Psychology*, 15(3), 41-63, 1975.

Emoto, M., Nojiri, Y. and Okana, F., Changes in Fusional Vergence Limit and Its Hysteresis After Viewing Stereoscopic TV, *Displays*, 25(2-3),

67-76, 2004.

Hagura, H., Nakajima, M., Owaki, T. and Takeda, T., Study of Asthenopia Caused by the Viewing of Stereoscopic Images: Measurement by MEG and Other Devices, *Proceedings of SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging XI*, 6057 (pp. 192-202), San Jose, CA. 2006.

Halpern, S.D., Andrews, T.J. and Purves, D., Interindividual Variation in Human Visual Performance, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(5), 521-534, 1999.

ITU-R BT.500, Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of TV Pictures.

Kim, Y.K., The Effects of Color Temperature on Video in Broadcasting Lighting, *Journal of Broadcast Engineering*, 16(1), 73-84, 2011.

Lambooij, M., Ijsselsteijn, W.A., Fortuin, M.F. and Heynderickx, I., Visual Discomfort and Visual Fatigue of Steroscopic Displays: A Review, *Journal of Imaging Science and Technology*, 53(3), 030201: 1-14, 2009.

Lambooij, M., Fortuin, M.F., IJsselsteijn, W.A. and Heynderickx, I., Reading Performance as Screening Tool for Visual Complaints from Stereoscopic Content, *Displays,* 33(2), 84-90, 2012.

Lee, C. and Choi, J., Strategy for providing QoS in IPTV Network, *TTA Journal*, 107, 41-45, 2006.

Lee, E.C., Park, K.R., Whang, M. and Min, K., Measuring the Degree of Eyestrain Caused by Watching LCD and PDP Devices, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(5), 798-806, 2009.

Lee, E.C., Heo, H. and Park, K.R., The Comparative Measurements of Eyestrain Caused by 2D and 3D Displays, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1677-1683, 2010.

Lee, J.-H. and Song, J.-K., Individual Variation in 3D Visual Fatigue Caused by Stereoscopic Images, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(2), 500-504, 2012.

Li, H.-C.O., Seo, J., Kham, K. and Lee, S., Measurement of 3D Visual Fatigue Using Event-Related Potential (ERP): 3D Oddball Paradigm, *Proceedings of 3DTV Conference*, (pp. 213-216), Istanbul, 2008.

Li, H-C.O., Human Factor Research on the Measurement of Subjective Three Dimensional Fatigue, *Journal of Broadcast Engineering*, 15(5), 607-616, 2010.

Mun, S., Park, M.-C., Park, S. and Whang, M., SSVEP and ERP Measurement of Cognitive Fatigue Caused by Stereoscopic 3D, Neuroscience Letters, 525(2), 89-94, 2012a.

Mun, S., Park, M.-C. and Yano, S., Human Factors of Super Hi-vision TV, *Korea Society Broadcast Engineers Magazine*, 17(4), 92-101, 2012b.

Murata, A., Uetake, A. and Takasawa, Y., Evaluation of Mental Fatigue Using Feature Parameter Extracted From Event-related Potential, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(8), 761-770, 2005.

Nakasu, E., Super Hi-Vision on the Horizon: A Future TV System That Conveys an Enhanced Sense of Reality and Presence, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 1(2), 36-42, 2012.

Nishida, Y., Masaoka, K., Sugawara, M., Ohmura, K., Emoto, M. and Nakasu, E., Super Hi-vision System Offering Enhanced Sense of Presence and New Visual Experience, *IET Journals*, 3, 5-10, 2011.

Park, I., Ha, K., Kim, M., Cho, S. and Choi, J.S., Analysis on Subjective Image Quality Assessments for 4K-UHD Video Viewing Environments, *Journal of Broadcast Engineering*, 15(4), 563-581, 2010.

Park, S., Whang, M., Kim, J., Mun, S. and Ahn, S., Autonomic Nervous System Response Affected by 3D Visual Fatigue Evoked During Watching 3D TV, *Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility*, 14(4), 653-662, 2011.

Sugawara, M., Masaoka, K., Emoto, M., Matsuo, Y. and Nojiri, Y., Research on Human Factors in Ultra-high-definition Television to Determine Its Specifications, *SMPTE Motion Imaging Journal*, 117(3), 23-29, 2008.

Yang, S., Schlieski, T., Selmins, B., Cooper, S.C., Doherty, R.A., Corriveau, P.J. and Sheedy, J.E., Stereoscopic Viewing and Reported Perceived Immersion and Symptoms, *Optometry and Vision Science*, 89(7), 1068-1080, 2012.

Yano, S., Ide, S., Mitsuhashi, T. and Thwaites, H., A Study of Visual Fatigue and Visual Comfort for 3D HDTV/HDTV Images, *Displays*, 23(4), 191-201, 2002.

Author listings

Sungchul Mun: scmun@kist.re.kr

Highest degree: M.S., Department of Emotion Engineering, Sangmyung University

Position title: Ph.D. Candidate, Department of Human Computer Interaction and Robotics, University of Science and Technology, KIST

Areas of interest: 3D Human Factors, BCI, Neuroscience

Min-Chul Park: minchul@kist.re.kr

Highest degree: Ph.D., Information and Communication Engineering, Tokyo University

Position title: Principal Research Scientist, Sensor System Research Center and Adjunct Professor, Department of HCI and Robotics, UST, KIST

Areas of interest: 3D Human Factors, HCI, 3D Display and Image Processing, Computer Vision

Date Received : 2012-11-12

Date Revised : 2013-03-02

Date Accepted : 2013-03-06