*Journal of the Ergonomics Society of Korea*
Vol. 30, No. 1 pp.195-202, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.195

# 시각자극에 의한 피로도의 객관적 측정을 위한 연구 조사

김영주[1] · 이의철[1] · 황민철[2] · 박강령[3]

[1]국가수리과학연구소 융복합수리과학연구부 / [2]상명대학교 디지털미디어학부 /
동국대학교 전자전기공학부

# A Survey of Objective Measurement of Fatigue Caused by Visual Stimuli

Young-Joo Kim[1], Eui Chul Lee[1], Min Cheol Whang[2], Kang Ryoung Park[3]

[1]Division of Fusion and Convergence of Mathematical Sciences,
National Institute for Mathematical Sciences, Daejeon, 305-811
[2]Division of Digital Media Technology, Sangmyung University, Seoul, 110-743
[3]Division of Electronics and Electrical Engineering, Dongguk University, Seoul, 100-715

## ABSTRACT

**Objective:** The aim of this study is to investigate and review the previous researches about objective measuring fatigue caused by visual stimuli. Also, we analyze possibility of alternative visual fatigue measurement methods using facial expression recognition and gesture recognition. **Background:** In most previous researches, visual fatigue is commonly measured by survey or interview based subjective method. However, the subjective evaluation methods can be affected by individual feeling's variation or other kinds of stimuli. To solve these problems, signal and image processing based visual fatigue measurement methods have been widely researched. **Method:** To analyze the signal and image processing based methods, we categorized previous works into three groups such as bio-signal, brainwave, and eye image based methods. Also, the possibility of adopting facial expression or gesture recognition to measure visual fatigue is analyzed. **Results:** Bio-signal and brainwave based methods have problems because they can be degraded by not only visual stimuli but also the other kinds of external stimuli caused by other sense organs. In eye image based methods, using only single feature such as blink frequency or pupil size also has problem because the single feature can be easily degraded by other kinds of emotions. **Conclusion:** Multi-modal measurement method is required by fusing several features which are extracted from the bio-signal and image. Also, alternative method using facial expression or gesture recognition can be considered. **Application:** The objective visual fatigue measurement method can be applied into the fields of quantitative and comparative measurement of visual fatigue of next generation display devices in terms of human factor.

Keywords: Objective Evaluation, Visual Fatigue, Bio-signal, Brainwave, Eye image, Facial Expression, Gesture Recognition

Corresponding Author: Eui Chul Lee. Division of Fusion and Convergence of Mathematical Sciences, National Institute for Mathematical Sciences, Daejeon, 305-811.
Mobile: 042-717-5756, E-mail: eclee@nims.re.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

## 1. Introduction

전통적인 감성공학 분야에서는 인간의 감정을 정량적으로 측정하기 위해 질의응답, 인터뷰 등의 주관적 설문 방법이 활용되었다. 이와 같은 주관적 방법들은 피실험자의 의도와 응답 순간의 감정 상태의 기복에 따라 결과가 실제와는 다르게 나타날 수 있다는 문제가 있다(Lee, 2011).

최근 다양한 형태의 차세대 디스플레이들이 등장하면서 디스플레이를 시청할 때 발생하는 시각적인 피로도를 휴먼팩터 관점에서 객관적으로 측정하기 위한 다양한 연구들이 시도되고 있다(Lee, 2011). 하지만 이러한 객관적 측정 방법들이 연구되기 전에는 위에서 언급했던 주관적 설문 기반 방법들을 통해 시각 피로도를 측정하였다. 예를 들면, Takahashi(2006)는 격자무늬에 대한 민감도와 시각적 피로도를 주관적 설문을 통해 측정하여 LCD와 PDP를 비교하였다. Chen과 Lin(2004), Hakkinen 등(2002), Iwakiri 등(2004), Katsuyuki 등(1996), Nilsen 등(1997) 그리고 Shieh(2000) 또한 주관적 설문 방법을 이용하여 피로도를 측정하고자 하였다.

인간은 다양한 종류의 감성을 가지고 있는데, "불쾌"에 해당하는 피로도가 아닌 다른 "불쾌" 감성을 피로도로 오인하여 피로도 수치가 증폭되어 답변되는 경우와 피로도의 고저와는 다른 디스플레이 콘텐츠에 의한 "쾌" 부류의 타 감성이 피로도의 감성을 상쇄하는 경우에는 측정된 피로도 수치를 신뢰할 수 없다는 치명적인 단점을 가지고 있다. 이는 피로도와 같은 특정 감성을 측정하기에 설문 기반의 주관적 측정 방법이 치명적인 문제를 가지고 있음을 의미한다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해, 생체 신호 또는 영상을 분석하여 척도가 될 수 있는 정보를 추출하고, 이를 통해 객관적으로 시각 피로도를 측정할 수 있는 연구들이 진행되고 있다. 본 논문에서는 시각 피로도를 측정하기 위해 진행되었거나 시도되고 있는 방법들을 생체 신호 기반, 뇌파 분석 기반, 눈 영상 분석 기반으로 분류하여 살펴보고, 얼굴 표정 인식이나 실루엣 검출 기반 동작 분석 방법을 통해 시도가 가능한 새로운 객관적 시각 피로도 측정 방법의 가능성을 모색해 본다.

## 2. Previous Researches

### 2.1 Bio-signal based methods

객관적 시각 피로도 측정 방법의 첫 번째 분류로 생체 신호 분석 기반 방법이다. 뇌파 또한 생체 신호의 하나로 분류될 수 있지만, 뇌파를 이용한 시각 피로도 측정 방법들은 최근 활발히 연구가 진행되고 있으므로, 하나의 독립된 분류로 다음 절에서 소개하고자 한다.

생체 신호란 특정 센서를 인체 표면에 부착하여 얻을 수 있는 생물학적 현상에 대한 연속적인 신호 또는 이산적인 수열로 정의할 수 있다. 본 논문에서 살펴본 기존 연구들에서는 GSR(Galvanic Skin Response), PPG(Photo-PlethysmoGram), SKT(SKin Temperature), EOG(ElectroOculoGram), ECG(Electro-CardioGram), EMG(ElectroMyogram)을 통해 시각적 자극에 의한 피로도를 측정하였다. Naschitz 등의 연구에서는 ECG 분석을 통해 측정된 심박수의 변화를 분석하여 시각 자극에 의한 피로도를 정량적으로 측정하고자 하였다. Heo 등(2010)의 연구에서는 그림 1과 같이 GSR, PPG, SKT를 통해 게임 사용자의 피로도를 정량적으로 측정하여, 시각 피로도를 유발할 수 있는 게임 내 과녁의 움직임 속도를 적응적으로 조절하는 방법을 제안하였다. Kaneko와 Sakamoto(2001)의 연구에서는 EOG와 EMG 신호 분석을 통해 안구의 움직임 및 근전도를 분석하여 VDT(Visual Display Terminal) 시청 시 유발되는 시각 피로도를 객관적으로 측정하였다.

위와 같은 생체 신호 분석 기반의 시각 피로도 측정 방법은 인체에서 측정되는 수치 해석을 통해 객관적으로 측정이 가능하다는 장점이 있지만, 다른 부위의 자극에 의해 그 신호가 훼손될 수 있다는 있으므로 정확한 시각 피로도의 측정을 보장할 수 없다. 실제로 생체 신호를 측정할 때에는 불필요한 신체 동작에 의해 데이터가 훼손될 수 있기 때문에 이를 제약하는 경우가 많으며 이런 경우 또 다른 종류의 피로도 또는 불편함에 해당하는 감성을 유발할 수 있다는 문제점이 있다.

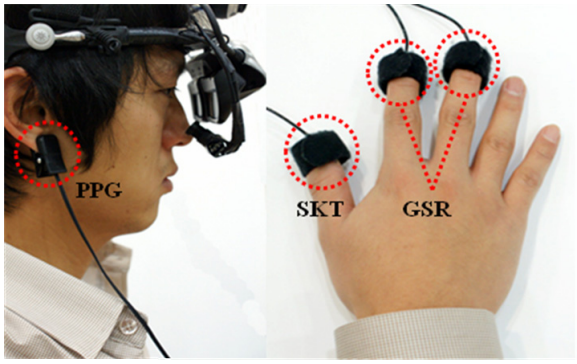


**Figure 1.** Immersive game interface including bio-signal measuring sensors(Heo et al., 2010)

### 2.2 Brainwave based methods

생체 신호 중의 하나인 뇌파는 졸음이나 긴장 등의 심리적인 상태 및 눈이나 손, 발의 움직임 등 물리적인 신체 반응에 대한 정보를 내포하고 있으므로, 사람이 느끼는 피로감을 정량적으로 분석하는 방법으로 사용될 수 있다(Cavallaro et al., 2010). 따라서 피로감을 느낄 수 있는 다양한 환경에서의 뇌파 분석을 통해 상황에 따른 피로감을 측정하는 연구가 진행되어왔다. 예를 들면, 자동차를 운전시의 운전자가 겪게 되는 피로감을 측정하는 연구(Kar et al., 2010; Gupta et al., 2010; Lal and Craig, 2002)나 간단한 계산 수식을 통한 정신적 활동(mental task)이 사람에게 미치는 피로감의 변화를 살펴보기도 하였다(Trejo et al., 2007). 최근에는 3D 디스플레이 등의 다양한 디바이스의 등장으로 시청자의 시각적 피로도가 발생하였을 때의 뇌파 분석 연구도 진행되고 있다(Lambooji and Ijsselsteijn, 2009; Li, 2008).

뇌파 분석 방법으로는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 뇌파와 피로도의 상관관계를 규명하기 위해, 의미 있는 주파수 대역을 나누어 특정 대역의 파워 스펙트럼을 분석하는 방법이다. Trejo(2006)의 연구에서는 시간에 따른 인지적 피로감이 증가될수록 특정 뇌의 부위에서의 theta (6~7Hz)와 alpha(8~11Hz) 대역의 파워가 증가됨을 확인하였다. Li(2008)의 연구에서는 디스플레이 시청시의 시청자의 뇌파를 측정함으로써, 뇌파의 주파수 변화 분석을 통해 시각적 피로도를 측정하여 상대적으로 그림 2와 같이 고주파 대역(12Hz 이상)의 파워 증가를 확인하였다.

또 다른 방법으로는 ERP(Event Related Potential)를 분석하는 방법이다. Li의 연구에서는 특정 작업 후의 발생되는 P700(자극 후 700ms 후에 peak를 관찰)을 확인하였으며, 작업 시간이 증가될수록 peak의 latency가 증가됨을 확인하였다(Li, 2008). 또한, 시각을 이용한 감지 작업 후의 P100에서의 진폭 값의 증가를 확인할 수 있다고 보고하였다(Tatsuhiro et al., 2003).

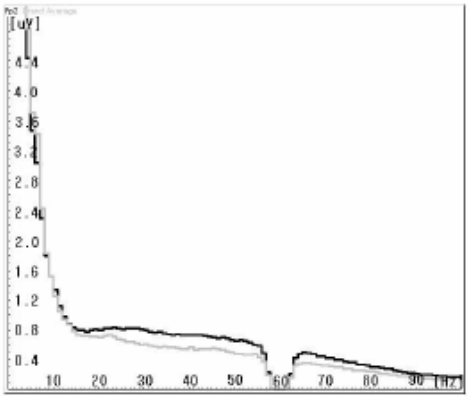


**Figure 2.** Comparing power spectrum according to different frequency(Li, 2008)(Black line: watching 3D, Gray line: watching 2D)

위와 같은 뇌파 분석 기반의 시각적 피로도 분석에 관한 연구들은 인간이 느끼는 피로도를 뇌파의 변화 분석을 통해 정량화하여 객관적 측정할 수 있음을 보여준다. 하지만, 뇌파 또한 생체 신호의 하나로써, 다양한 감성 상태에 의한 뇌파의 변화가 시각 자극에 의한 피로도를 측정하는데 있어 노이즈 요소로 작용할 수 있다. 또한, 다른 생체 신호 측정 방법에 비해 정해진 규약에 근거하여(Sharbrough and Chatrian, 1991) 다수의 센서를 두피에 부착해야 하기 때문에 피실험자의 불편함 또는 촉각 자극에 의한 피로도를 유발할 수 있다는 문제점 또한 존재한다.

### 2.3 Eye image based methods

위에서 소개한 다양한 생체 신호 또는 뇌파 분석 기반의 방법은 다른 신체 부위의 자극에 의해 신호가 훼손될 수 있으므로 정확한 시각 피로도 측정을 보장할 수 없다는 단점을 가지고 있음을 언급하였다. 또한 직관적으로 시각 자극에 의한 피로도는 이를 인지하는 눈의 반응을 분석하여 가장 정확하게 측정할 수 있다는 관점에서, EOG를 제외한 생체 신호들은 적절하지 않은 것으로 간주될 수 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 카메라 비젼 기반 눈 영상 분석을 통해 시각 자극에 의한 피로도를 측정하려는 연구들이 진행되어 왔다. 관련 연구 초기에는 일반적으로 알려진 시각 피로도가 증가하는 경우 눈 깜박임 빈도가 증가한다는 사실에 근거하여, 시각 피로도를 측정하는 연구들이 대부분이었다(Miyao et al., 1989; Nakaishi and Yamada, 1999; Kaneko and Sakamoto, 2001). 예를 들어, Miyao 등(1989)의 연구에서는 화면 해상도에 따른 시각 피로도를 눈 깜박임 빈도를 분석하여 측정하였으며, Kaneko와 Sakamoto(2001)의 연구에서는 VDT를 통한 작업 시간에 따른 시각 피로도를 눈 깜박임 빈도 분석을 통해 객관적으로 측정하였다. 하지만 위의 방법들은 카메라를 고정된 위치에 설치하고 얼굴 영상을 취득함으로 실험 시 디스플레이 장치 시청 중에 얼굴 움직임의 제약이 있다는 문제점을 가지고 있다. 위에서도 언급했듯이 이러한 신체 동작에 대한 제약은 다른 종류의 피로도 또는 불쾌감을 유발할 수 있다. 또한 원거리에서 촬영된 얼굴 영상으로부터 눈 영역을 검출하여 자동화된 처리를 수행하기에는 영상의 해상도가 부족하다는 단점이 있다. 자동화된 깜박임 검출 시스템이 구축되기 이전까지는 녹화된 피실험자의 영상으로부터 눈 깜박임을 수동으로 검출하는 방법을 사용하였다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 기존 연구에서는 다양한 형태의 카메라 비젼 기반 눈 영상 취득 장치 및 자동화된 검출 시스템을 개발하고, 이를 통해 다양한 디스플레이 시각 자극에 의한 피로도 측정을 수행한 바 있다. 이 시스템들에서는 취득된 눈 영상을 실시간으로 처리하여 눈 깜박임은 물론 동공의 크기를 시간 축에서 분석하여 동공 조절 속도를 계산함으로써 이를 시각 피로도 분석에 함께 사용하였다(Lee and Lee et al., 2009; Lee and Park et al., 2009; Lee and Park, 2009; Lee et al., 2010).

눈 영상 취득 장치는 얼굴의 움직임에 영향을 받지 않고 안정적인 영상을 촬영하기 위해서 헬멧, 안경, 고글과 같이 얼굴에 착용이 가능한 장치에 카메라를 부착하고, 카메라가 한 쪽 눈을 영상으로 취득 가능하도록 하는 것을 기본 아이디어로 한다(Lee, 2011). 그림 3은 3차원 입체 영상 시청이 가능한 안경 형태의 시각 피로도 측정 장치이다.

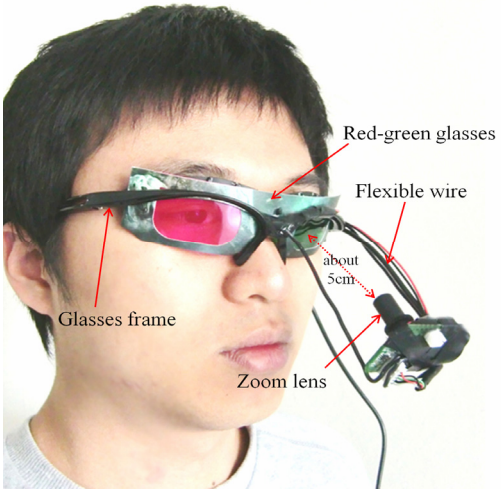


**Figure 3.** Eye image capturing device including 3D watching red-green glasses(Lee et al., 2010)

촬영된 눈 영상은 동공이 둥글다는 특성에 기반한 원형 검출 알고리즘을 통해 대략적인 동공 중심 위치를 찾고, 해당 위치를 기준으로 지역적 이진화, 컴포넌트 라벨링, 모폴로지 연산을 통해 노이즈 요소가 제거된 최종 동공의 중심 및 크기를 추출한다(Lee, 2011). 위의 과정은 그림 4와 같은 절차로 진행된다.

동공의 크기는 흑화소 픽셀의 개수를 세어서 구할 수 있으며, 동공 조절 속도는 연속 영상에서 결정된 동공 크기의 미분 값을 통해 얻어질 수 있다(Lee, 2011). 눈 깜박임 빈도는 동공이 눈꺼풀에 가려져서 영상에서 정상적으로 추출되지 않은 경우 흑화소의 개수가 현저하게 감소되는 순간을 눈을 감은 시점으로 하여 다시 흑화소의 개수가 현저히 늘어

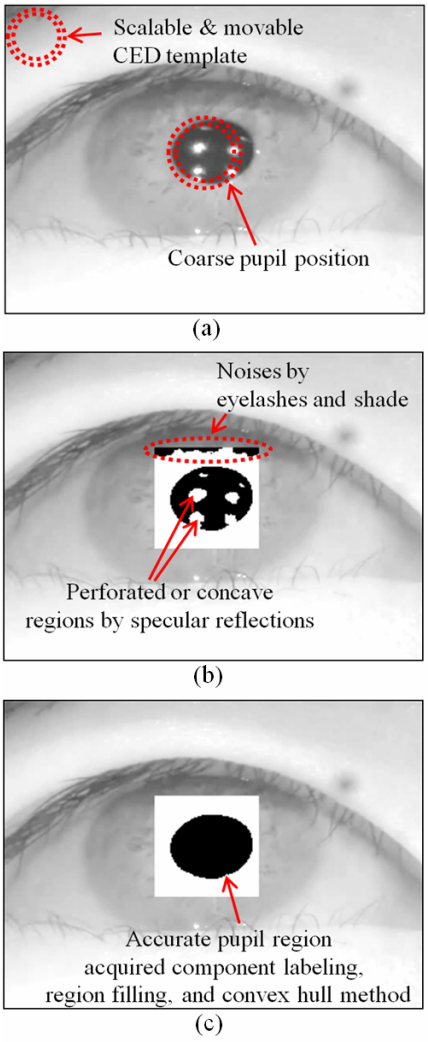


**Figure 4.** Pupil region segmentation(Lee et al., 2010). (a) Circular edge detection. (b) Local thresholding. (c) Some morphological operations after component labeling

나는 시점을 눈을 다시 뜬 순간으로 간주함으로써 한 번의 눈 깜박임이 발생한 것으로 결정한다(Lee, 2011). 이를 응용하면 눈 깜박임 빈도뿐만 아니라 눈을 감고 있는 시간까지 측정할 수 있으므로 졸음 감지 기능이 필요한 시스템에 적용이 가능하다(Lee, 2011). 시선 위치는 사용자 캘리브레이션 단계를 통해 동공의 중심 위치와 응시 영역간의 사상 함수를 구하여 추정할 수 있으며, 자세한 방법은 기존 연구를 참조할 수 있다(Cho et al., 2009).

동공의 크기는 사람의 호기심이나 집중의 정도를 판단하는 목적으로 심리학 분야에서 중요한 정보로 사용된다. 동공 조절 속도는 홍채 근육의 운동 속도를 나타내므로, 시각 피로도를 판단하는 목적으로 활용될 수 있다(Lee, 2011). 눈 깜박임 빈도는 전통적으로 시각 피로도를 판단하는 목적으

로 활용되며, 앞에서 언급한 것과 같이 졸음 방지의 목적으로도 활용될 수 있다(Lee, 2011). 시선 위치는 사용자 의도 및 집중도 호기심의 정도뿐만 아니라 전체 영역 중 어느 부분을 선호하는지를 판단할 수 있으므로, 제품의 사용성 평가 및 인간과 컴퓨터간의 인터페이스 방법으로 널리 활용되고 있다(Lee, 2011).

위와 같은 착용형 인터페이스는 아래와 같은 시각 자극에 의한 피로도 측정 연구에 활용된 바 있다.

첫 번째 연구에서는 LCD와 PDP 시청 시에 발생하는 시각 피로도를 눈 깜박임 빈도와 동공 조절 속도를 척도로 사용하여 비교하였다(Lee et al., 2009). 비교 결과 그림 5에서 보는 것과 같이 LCD 시청 시에 눈 깜박임 빈도가 높고 동공 조절 속도가 느려지는 것으로 보아 시각 피로도가 높게 발생하는 것으로 판단됐으며 PDP 시청 시의 결과와 통계적으로 매우 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다.

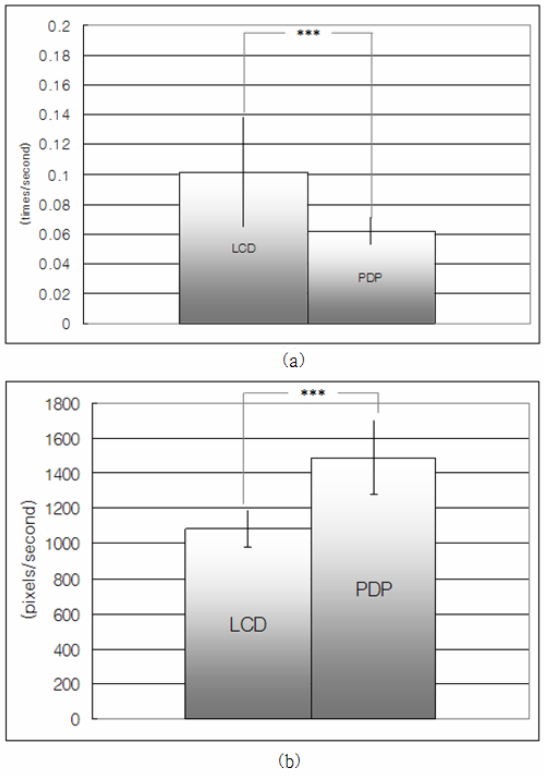


**Figure 5.** Comparative visual fatigue measurements of LCD and PDP(Lee and Park et al., 2009). (a) Blink frequency. (b) Pupil accommodation speed

두 번째 연구에서는 LCD 화면을 시청할 때 시각 자극 영상의 색상, 명도, 채도, 대비를 변화시키며 제시했을 때 시각 피로도의 변화를 측정하였다(Lee and Park, 2009). 역시 눈 깜박임 빈도와 동공 조절 속도를 척도로 사용하였으며, 분석 결과 그림 6에서 보는 것과 같이 색상 변화에 시각 피로도가 가장 민감하게 변화하는 것으로 나타났다.

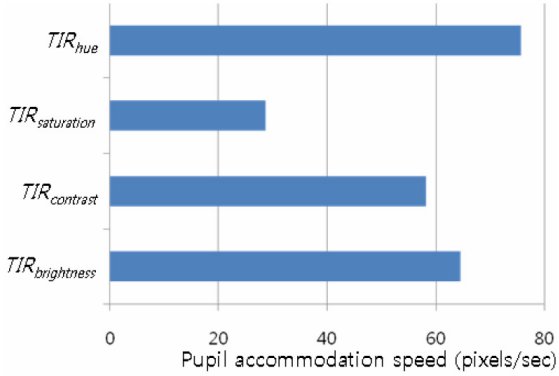


**Figure 6.** Comparing pupil accommodation speeds according to normalized hue, saturation, contrast, and brightness(Lee and Park, 2009)

세 번째 연구에서는 LCD 화면을 시청할 때 영상의 선명도와 화면 전환량에 따른 시각 피로도를 측정하였다(Lee and Lee et al., 2009). 측정 결과 화면 전환은 시각 피로도에 별 다른 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났지만, 선명도가 낮을수록 시각 피로도가 높게 나타나는 것으로 나타났다.

네 번째 연구에서는 일반 디스플레이와 3차원 디스플레이를 시청할 때 유발되는 시각 피로도를 눈 깜박임 빈도를 통해 측정하였다(Lee et al., 2010). 동공 조절 속도를 척도로 사용하지 않은 이유는 입체 디스플레이 시청 시 수정체의 두께 변화가 동공의 크기에 영향을 끼칠 수 있기 때문이다. 분석 결과, 그림 7과 같이 3차원 디스플레이 시청 시의 시각 피로도가 높게 나타났으며, 시청 거리가 가까워서 시청 화각이 커질수록 시각 피로도가 증가하는 것으로 나타났다.

## 3. Alternative Methods

### 3.1 Facial expression recognition

얼굴 표정 인식은 인간의 감성을 측정하기 위한 가장 직관적인 방법으로 각광을 받고 있다. 피로도 또한 감성의 종류이므로 이를 얼굴 표정 분석을 통해 측정하는 것이 가능할 것으로 여겨진다.

사람이 판단하기에 타인의 표정은 그 사람의 현재 기분 상태를 판단하기에 가장 쉽고 직관적인 방법일 수 있지만, 자동화된 시스템을 통해 인식하기는 것은 기존 방법들의 인식 정확도를 살펴보면 쉽지 않다는 것을 알 수 있다. 인식 정확도가 높다고 보고된 경우에도 기쁨, 놀람, 슬픔 등의 몇

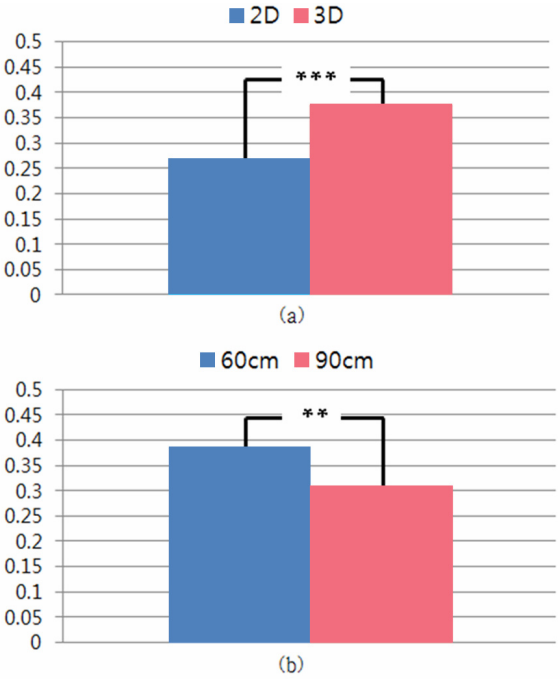


**Figure 7.** Comparative measurement of visual fatigue according to kinds of display and watching distances(Lee et al., 2010). (a) Watching 2D and 3D displays. (b) Watching at near(60cm) and far distances(90cm)

몇 표정을 분류하는 것에 그치고 있으며, 실험에 사용된 영상은 해당 표정을 과도하게 짓고 있는 경우가 대부분이어서 주장하는 인식 정확도를 신뢰하기 힘들다.

얼굴 표정 인식에서는 아래와 같은 사항들이 반영되어야 한다. 첫째로 취득된 영상에서 얼굴 영역을 검출하는 과정이 필요하며, 이를 위해 최근에는 Adaboost(Adaptive Boosting) 방법이 널리 활용되고 있다(Lienhart and Maydt, 2002). 이는 얼굴 모양을 간략하게 표현할 수 있는 다양한 약한 분류기(weak classifier)의 조합을 통해 얼굴 검출을 진행하므로, 얼굴 영역임에도 검출이 되지 않는 FRR(False Rejection Rate)는 낮지만, 얼굴 영역이 아님에도 불구하고 얼굴로 검출하는 FAR(False Acceptance Rate)가 많이 발생한다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서는 칼라 또는 기타 얼굴 영역의 특성 정보 분석을 이용한 후처리 방법이 요구된다. 두 번째로 불균일한 조명을 고려해야 한다. 그림 8의 AAM(Active Appearance Model)과 같은 얼굴의 특정 지점을 이용한 특징 기반 방법을 사용하는 경우에는 조명의 영향을 특징점 추출 단계에서만 고려하면 되지만, 얼굴 영역의 픽셀 정보를 전체적으로 활용하는 PCA(Principal Component Analysis) 또는 LDA(Linear Discriminant Analysis) 기반의 외형 기반 방법들의 경우에는 불균일한 조명은 인식에 치명적인 악영향을 끼칠 수 있다. 이러한 조명의 균일화 방법으로는 조명성분을 영상에서 극단적인 저주파 성분으로 모델링하여 추출하고 균일화를 수행하는 Retinex 방법 등이 고려될 수 있다(Wang et al., 2004). 세 번째로, 안경이나 모자 등 얼굴에 착용 가능한 것들이 고려되어야 한다. 이와 같은 장애물들은 조명 문제와 같이 특징 기반 방법에서는 특징점 추출을 방해하는 요소가 되며, 외형 기반 인식 방법에서는 픽셀 값 자체를 극단적으로 바꾸는 요소이므로 인식에 치명적인 악영향을 끼치는 것이 분명하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 얼굴 영상에서 안경 영역을 검출 및 제거하는 연구가 진행된 바 있다(Park et al., 2005).

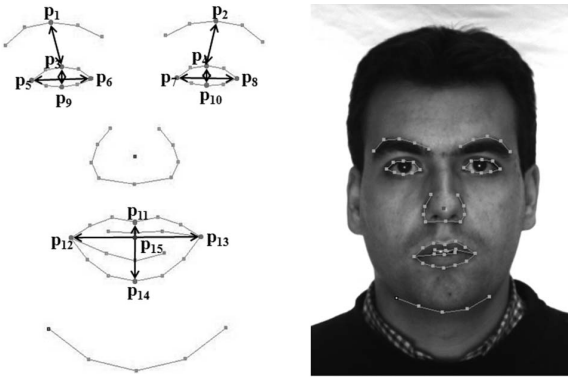


**Figure 8.** Example of active appearance model based facial feature extraction(Han et al., 2009)

마지막으로 얼굴 표정 인식이 시각적 자극에 의한 피로도 측정에 활용되기 위해서는 실제 시각 피로도를 신뢰성 있게 측정할 수 있는 기존의 방법을 활용한 ground-truth 데이터 취득 및 이에 상응하는 얼굴 표정의 정의가 확실하게 이루어져야 한다. 기존의 기쁨, 슬픔, 놀람 등의 몇몇 표정 분류 중 하나의 표정이 시각 피로도에 상응한다고 할 수 없기 때문이다. 얼굴 영상은 눈 영역을 포함하고 있으므로, 눈에서 추출 가능한 정보와 얼굴 표정 정보를 결합한 멀티모달 시각 피로도 측정 방법 또한 좋은 방향이 될 수 있을 것이다.

### 3.2 Gesture recognition

좁은 의미에서 제스쳐 인식이란 특정 몸동작을 통해 컴퓨터에게 입력을 부여하는 인간-컴퓨터 인터페이스의 방법이다. 하지만 이러한 명령의 목적이 아닌 감시 시스템이나 걸음걸이 인식 시스템에서는 실루엣 영역 추출에 기반한 특징들을 분석하여 범죄자의 의도를 판별하거나 개인을 인증한다.

최근 들어 제스쳐 분석을 통한 인간 감성 측정 연구들이 진행되고 있지만(Gunes and Piccardi, 2007; Busso et al.,

2004), 제스쳐 하나만으로 감성을 판단하는 것은 무리가 있기 때문에 얼굴 표정이나 음성 등의 정보와 결합하여 인식 정확도를 높이기 위한 목적으로 활용되고 있는 경우가 대부분이다.

이러한 실루엣 추출 기반 제스쳐 분석 방법이 시각 피로도 측정을 위해 활용되기 위한 방안으로는 눈이 피로할 때 사람들이 일반적으로 취하는 몇몇 동작들에 대해 살펴볼 필요가 있다. 눈을 만지고 비빈다거나 고개를 앞뒤로 젖히고, 스트레칭을 수행하는 동작이 빈번하게 관찰되는 경우를 그 예로 들 수 있다. 물론 정확한 실루엣 추출 성능이 보장되어야만 활용이 가능하며, 실루엣 모양을 표현할 수 있는 descriptor의 정의 또한 필수적이다. 고해상도 카메라를 활용하는 경우 제스쳐, 얼굴 표정, 눈 영상 정보를 모두 추출하는 것이 가능하므로 이들 정보를 혼합한 멀티모달 방법은 매우 이상적인 시각 피로도 측정 방법이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 4. Conclusions

본 논문에서는 시각 자극에 의해 유발된 피로도를 생체 신호 및 영상 분석을 통해 객관적으로 측정하는 방법들에 대해 소개하였다. 기존의 관련 연구들을 생체 신호 분석 기반, 뇌파 분석 기반, 눈 영상 분석 기반의 방법들로 분류하여 살펴보았고, 감성의 객관적 측정을 위해 활용된 바 있는 얼굴 표정 인식과 제스쳐 인식 방법이 추후 시각 피로도의 객관적 측정을 위해 활용되려면 어떠한 사항들을 고려해야 하는지를 생각해 보았다.

인간의 다양한 감성을 객관적으로 측정하기 위해 생체 신호 및 영상 분석에 기반을 둔 방법들이 많이 적용되고 있으며, 그 정확도를 높이기 위해 다양한 정보의 결합이 시도되고 있으므로, 인간의 다양한 감성 중 하나인 시각 피로도 또한 이와 같은 흐름에 따라 연구 및 개발이 진행될 것으로 예상된다.

또한, 다른 신체 부위로부터 시각 피로도를 분석하기 보다는 EOG나 시선 위치를 추적하는 방법 및 눈 영상 분석을 통한 특징 추출 방법을 주로 활용할 경우 시각 피로도를 더욱 신뢰성 있게 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

## Acknowledgements

This work was supported by NAP of Korea Research Council of Fundamental Science & Technology.

## References

Busso, C., Deng, Z., Yildirim, S., Bulut, M., Lee, C. M., Kazemzadeh, A., Lee, S., Neumann, U. and Narayanan, S., "Analysis of emotion recognition using facial expressions, speech and multimodal information", *In Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*, (pp. 205-211), 2004.

Cavallaro, F. I., Cacace, I., Testa, M. D., Andre, P., Carli, G., Pascalis, V. D., Rocchi, R. and Santarcangelo, E. L., Hypnotizability-related EEG alpha and theta activities during visual and somesthetic imageries, *Neuroscience Letter*, 470, 13-18, 2010.

Chen, M. and Lin, C., Comparison of TFT-LCD and CRT on visual recognition and subjective preference, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(3), 167-174, 2004.

Cho, C. W., Lee, J. W., Lee E. C. and Park, K. R., A Robust Gaze Tracking Method by Using Frontal Viewing and Eye Tracking Cameras, *Optical Engineering*, 48(12), 2009.

Emoto, M., Niida, T. and Okano, F., Repeated Vergence Adaptation Causes the Decline of Visual Functions in Watching Stereoscopic Television, *Journal of Display Technology*, 1(2), 328-340, 2005.

Gunes, H. and Piccardi, M., Bi-modal emotion recognition from expressive face and body gestures, *Journal of Network and Computer Applications*, 30(4), 1334-1345, 2007.

Gupta, S., Kar, S., Gupta, S. and Routray, A., "Fatigue in Human Drivers: A Study Using Ocular, Psychometric, Physiological Signals", *Proceeding of the 2010 IEEE Students' Technology Symposium*, IIT Kharagpur. 2010.

Hakkinen, J., Vuori, T. and Paakka, M., "Postural stability and sickness symptoms after HMD use", *The Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1(pp. 147-152), 2002.

Han, E. J., Kang, B. J., Park, K. R., and S. Lee, "Support vector machine-based facial-expression recognition method combining shape and appearance", *Optical Engineering*, 49(11), 117202, 2010.

Heo, H., Lee, E. C., Woo, J. C., Kim, C. J., Park, K. R. and Whang, M. C., A Realistic game system using Multi-modal user interface, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 53(6), 1364-1372, 2010.

Iwakiri, K., Mori, I., Sotoyama, M., Horiguchi, K., Ochiai, T., Jonai, H. and Saito, S., Survey on visual and musculoskeletal symptoms in VDT workers. *Journal of Occupational Health*, 46(6), 201-212. 2004.

Kaneko, K. and Sakamoto, K., Spontaneous blinks as a criterion of visual fatigue during prolonged work on visual display terminals, *Perceptual and Motor Skills*, 92(1), 234-250, 2001.

Kar, S., Bhagat, M.and Routray, A., EEG signal analysis for the assessment and quantification of driver's fatigue, *Transportation Research Part F*, 13, 297-306, 2010.

Katsuyuki, M., Shunichi, A., Kazuhito, Y., Kohei, Y., Toshihiro, O. and Shinichi, S., Accumulation of VDT work-related eyestrain assessed by visual evoked potential, near point distance and critical flicker fusion. *Industrial Health*, 34(2), 61-69, 1996.

Lal, S. K. L. and Craig, A., A critical review of the psychophysiology of

driver fatigue, *Biological Psychology*, 55, 173-194, 2001.

Lal, S. K. L. and Craig, A., Driver Fatigue: Psychological and Electro-encephalography Assessment, *Psychophysiology*, 39(3), 313-321, 2002.

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

Lee, E. C., "Camera Vision Based System for Quantitatively Measuring Emotional Responses Caused by Visual Stimuli", In Proceeding of *Korean Workshop on Image Processing and Image Understanding*, to be appeared, 2011.

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*, 53(6), 2010.

Lee, E. C., Lee, S., Won, C. S. and Park, K. R., Minimizing Eyestrain on LCD TV Based on Edge Difference and Scene Change, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55(4), 2009.

Lee, E. C., Park, K. R., Whang, M and Min, K. H., 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. and Park, K. R., "Measuring Eyestrain on LCD TV According to Adjustment Factors of Image", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55(3), 1447-1452, 2009.

Lienhart, R. and Maydt, J., "An extended set of haar-like features for rapid object detection", *Proceedings of international conference on image processing*, 1(pp. 900-903), 2002.

Li, H-C. O., Seo, J., Kham, K. and Lee, S., "Measurement of 3D Visual Fatigue using Event-Related Potential(ERP): 3D Oddball Paradigm", *3DTV CONFERENCE*, Istanbul, Turkey. 2008.

Miyao, M., Hacisalihzade, S. S. and Allen J. S., Effects of VDT resolution on eyestrain and readability: an eye movement approach, *Ergonomics*, 32(6), 603-614, 1989.

Nakaishi, H. and Yamada, Y., Abnormal tear dynamics and symptoms of eyestrain in operators of visual display terminals, *Occupational and Environmental Medicine*, 56, 6-9, 1999.

Nilsen, E., Salibello, C., Salvendy, G., Michael, J. S. and Richard, J. K., "Survey of U.S. optometrists regarding prevalence and treatment of visual stress symptoms", *The Proceedings of the Seventh International Conference on Human-Computer Interaction*, 1(pp. 663-666), 1997.

Park, J.-S., Oh, Y.-H., Ahn, S.-C. and Lee, S.-W., Glasses Removal from Facial Image Using Recursive Error Compensation, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27(5), 805-811, 2005.

Sharbrough, F. and Chatrian, G. E., American electroencephalographic society guidelines for standard electrode position nomenclature, *Journal of Clinical Neurophysiology*, 8, 200-202, 1991.

Shieh, K., Effects of reflection and polarity on LCD viewing distance, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25(3), 275-282, 2000.

Takahashi, M., "LCD vs PDP picture quality status and the task of FPD TVs", *Korean Display Conference COEX*, Seoul. South Korea. 2006.

Trejo, L. J., Knuth, K., Prado, R., Rosipal, R., Kubitz, K., Kochavi, R., Mattews, B. and Zhang, Y., EEG-Based Estimation of Mental Fatigue: Convergent Evidence for a Three-State Model, *Lecture Notes in Computer Science*, 201-211, 2007.

Trejo, L. J., Kochavi, R., Kubitz, K., Montgomery, L. D., Rosipal, R. and Mattews, B., "EEG-based Estimation of Cognitive Fatigue", *ic. Arc.nasa.gov*, 2006.

Wang, H., Li, S. Z. and Wang, Y., "Face Recognition under Varying Lighting Conditions Using Self Quotient Image", *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, (pp. 819-824), 2004.

## Author listings

**Young-Joo Kim:** yjkim@nims.re.kr
**Highest degree:** MA, Computer Science, Sangmyung University
**Position title:** Researcher, National institute for Mathematical Sciences
**Areas of interest:** Brain Computer Interaction, Emotion Estimation, Signal Processing

**Eui Chul Lee:** eclee@nims.re.kr
**Highest degree:** PhD, Computer Science, Sangmyung University
**Position title:** Researcher, National institute for Mathematical Sciences
**Areas of interest:** Digital Image Processing, Signal Processing, Computer Vision, Pattern Recognition, Human Computer Interaction, Ergonomics

**Min Cheol Whang:** whang@smu.ac.kr
**Highest degree:** PhD, Biomedical Engineering, Georgia Institute of Technology
**Position title:** Professor, Sangmyung University
**Areas of interest:** Human Computer Interaction, Human Factors, Bioengineering, Emotion Engineering

**Kang Ryoung Park:** parkgr@dongguk.edu
**Highest degree:** PhD, Electical / Computer Engineering, Yonsei University
**Position title:** Associate Professor, Dongguk University
**Areas of interest:** Digital Image Processing, Computer Vision, Biometrics, Computer Graphics

Date Received : 2011-02-01
Date Revised : 2011-02-08
Date Accepted : 2011-02-08