

초다시점 디스플레이 기반 시각 피로 측정 및 경감 기술

김영민, 홍성희, 강훈중
전자부품연구원

요약

본고에서는 초다시점 디스플레이 기반 시각 피로에 대한 연구 동향 및 초다시점 디스플레이 의 최근 기술에 대해 기술한다. 초다시점 디스플레이는 1990년대 후반 일본에서 처음 제안한 이후 일본 및 한국에서 활발한 연구가 진행 중이다. 초다시점 디스플레이는 관찰자의 동공에 두 시점 이상의 영상을 제공하는 방식으로 기존의 다시점 디스플레이에 비해 보다 자연스러운 영상을 관찰자에게 제공하고자 하는 방식이다. 따라서 시점 영상 사이의 간격이 넓은 다시점 디스플레이와는 달리 시각 피로를 경감시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 이에, 최근 초다시점 디스플레이 기반 시각 피로에 대한 임상적 실험을 통해 이에 대한 실험적 근거를 살펴보고 연구 동향을 알아본다.

I. 서론

인체가 외부로부터 받아들이는 상당부분의 정보는 시각 정보에 기인하며, 이에 소비자로서 보다 실감나고 차별화된 사용자 경험을 얻을 수 있는 디스플레이에 대한 관심이 촉발되는 것은 어쩌면 당연한 일이다. 2000년대 이후 유/무선 인터넷과 정보통신 기기의 발달, 정보 처리 속도의 가속화로 인해 개개인이 사용할 수 있는 정보의 양이나 콘텐츠의 품질은 날이 갈수록 발전해가고 있으며, 이는 개인이 가지고 있는 정보를 실감나게 표현하고 싶은 욕구와 맞물려서 새로운 형태의 디스플레이를 구현할 수 있는 밑바탕이 되고 있다. 디스플레이 업계에서도 과열 경쟁 중인 활로를 찾기 위해 3차원 디스플레이, UHTV 등 차세대 디스플레이의 주도권을 잡고자 노력을 기울이고 있지만, 아직 그 기술의 발전 정도가 현재의 2차원 평판 디스플레이 기술을 대체하기에는 개선점이 많이 요구되기 때문에 완전히 산업화되기까지는 많은 과제가 남아있다.

그럼에도 불구하고 3차원 디스플레이 기술이 꾸준히 많은 관심을 받고 있는 이유는 기존의 평판 디스플레이를 뛰어넘을 선

도 기술을 개발하는 것이 어려운 상태에서 디스플레이 업계를 구해낼 새로운 돌파구가 될 수 있을 것이라는 기대감 때문이다. 그러나 현재 안경식 3차원 디스플레이는 이미 상용화되어 수익 구조가 이루어지고 있다. 영화 역사상 가장 큰 흥행을 일으켰던 3차원 영화 ‘아바타(AVATAR)’는 사람들로 하여금 처음에는 무엇에 쓰는지도 모르는 편광 안경도 이제는 착용감을 따지며 자연스럽게 쓰고 감상할 수 있는 계기가 되었고, 현재 제작되고 있거나 상영 중인 대부분의 할리우드 영화가 3D로 제작되는 사실은 이를 반증한다.

3차원 디스플레이의 발전 흐름으로 볼 때 안경식 3차원 디스플레이의 다음 단계인 무안경식 3차원 디스플레이 중 최근 초다시점 디스플레이가 관심을 받고 있다. 초다시점 디스플레이 방식은 기존의 다시점 디스플레이 방식에 비해 보다 자연스러운 영상을 관찰자에게 제공하여 시각 피로를 경감시킬 수 있다고 알려져 왔으며, 이를 뒷받침하는 임상적 연구 결과 및 실험 결과가 발표되고 있다. 본고에서는 초다시점 디스플레이의 원리 및 최근 제안한 방식에 대해서 살펴보고, 이와 관련한 시각 피로에 대한 연구 결과 및 연구 동향을 소개한다.



그림 1. 생리적인 깊이 단서
(1: 원근법, 2: 결 구배, 3: 중첩, 4: 음영, 보티첼리의 그림 중)

II. 다시점 및 초다시점 디스플레이의 기본 원리

1. 깊이 인지 요소

현재 상용화된 3차원 디스플레이 기술은 대부분 양안식 3차원 디스플레이 방식(stereoscopy, 안경식)에서 기인한 것으로 이는 종국적으로는 눈의 피로를 유발할 수 있는 여지가 있어 완벽한 3차원 영상을 표시한다고 보기는 어렵다. 그 이유는 완벽한 3차원 영상을 재현하는데 필요한 필수적인 깊이 단서(depth cue)가 적절하게 섞여있지 않기 때문이다. 현실에서 사물의 형태나 공간상의 깊이를 인지하는 깊이 단서는 크게 심리적인 단서(physiological cue)와 생리적인 단서(physiological cue)로 나눌 수 있다[1]. 심리적인 단서는 실제로 깊이 단서를 제공하는 것이 아니라 주로 영상 처리를 통해 깊이 단서를 인식하게 하는 방법으로 인간의 경험적 학습 능력에 의해서 습득이 된 경우이며, 원근법(linear perspective), 음영(shade and shadows), 중첩(overlapping), 결 구배(texture gradient) 등이 있다. 반면 생리적인 단서는 안구의 움직임이나 안구 근육의 활동을 통해서 깊이를 인식하는 실질적인 단서이며, 크게 초점 조절(accommodation), 수렴(convergence), 양안 시차(binocular parallax), 운동 시차(movement parallax) 등이 있다. 실제로 인간은 이러한 모든 깊이 단서를 지각하여 종합적으로 깊이를 판단하게 되며 그림 2와 같이 서로 다른 깊이를 인지할 때마다 각기 서로 다른 기능이 유기적으로 조절되어 깊이를 판단하게 된다. 이 중에서 단안(monocular eye)으로 판단할 수 있는 깊이 단서는 심리적인 단서들, 초점 조절, 운동 시차이고, 양안(binocular eyes)으로 판단할 수 있는 깊이 단서는 수렴과 양안 시차 정보이다.

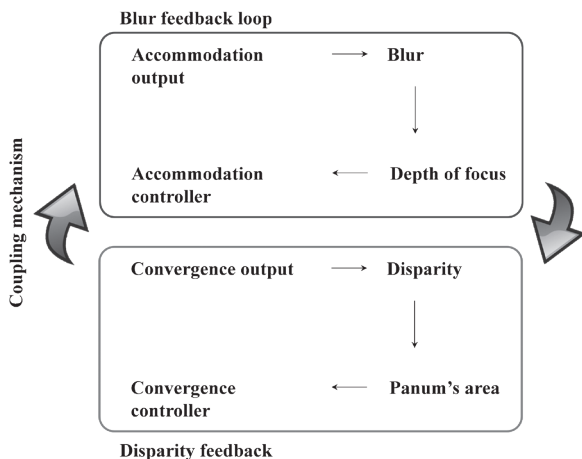


그림 2 초점 조절과 수렴의 유기적 조절 기능

2. 다시점 디스플레이의 원리

현재 기술적인 성숙도가 상당히 필요로 되지만 이러한 깊이 단서를 모두 제공하는 궁극의 3차원 디스플레이 방식이라고 불리는 홀로그래피 방식을 제외하고는 상용화되거나 연구 중인 3차원 디스플레이 방식은 이러한 모든 깊이 단서를 제공하는 것은 아니다. 바로 이 점이 현실 세계와 3차원 디스플레이 상에서의 영상이 다른 점이며, 이 때문에 일상 생활과는 달리 3차원 디스플레이를 감상할 때 가장 많은 피로감을 느낄 수 있는 여지가 있다고 알려져 있다. 현재 상용화되어 있는 양안식 3차원 디스플레이 방식은 주로 양안 시차에 기반한 방식으로, 위에서 언급된 심리적인 단서와 양안 시차 단서, 즉 양 눈에 서로 다른 시차(parallax)의 영상을 투사하고 깊이 단서를 임의로 조절하여 3차원 영상을 제공하는 방식이다. 따라서 자연히 실제 생활에

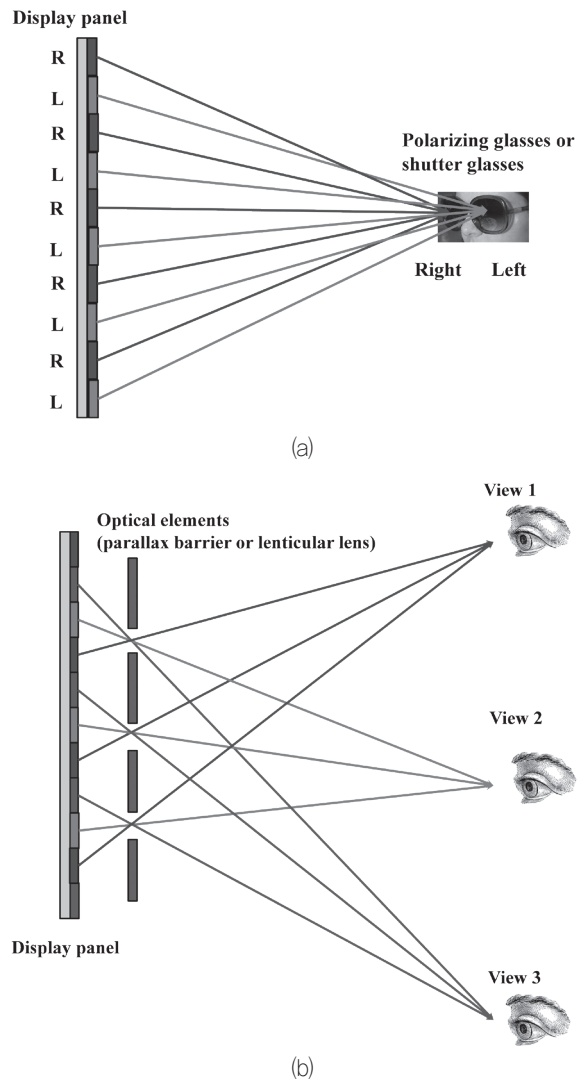


그림 3. (a) 안경식 디스플레이의 기본 원리(편광 안경/셔터 안경), (b) 다시점 디스플레이(무안경식)의 기본 원리(3시점)

서 보는 것과는 달리 시각 피로가 발생할 수 있는 여지가 생긴다. 이보다 더 진보된 기술이라고 알려진 무안경식 3차원 디스플레이 방식(autostereoscopy)은 그 종류가 매우 다양하다. 안경식 디스플레이가 양안에 서로 다른 시차의 영상을 안경을 통해 분리하여 투사하는 반면, 무안경식 디스플레이는 그림 3과 같이 안경의 역할을 하는 광학 소자를 디스플레이 앞쪽에 배치하여 시차가 다른 방향별 영상을 제공하는 방식이다. 시점 영상을 다수 제공하는 방식이기 때문에 이를 다시점 디스플레이(multi-view display) 방식이라고 부르며, 시차 격벽(parallax barrier), 렌티큘러 렌즈 방식(lenticular lens display), 집적 영상(integral imaging) 등 구현하는 방식에 따라 여러 디스플레이 방식이 존재한다[2]. 그러나 다시점 디스플레이는 시점 간의 간격이 조밀하지 못하기 때문에 특정 위치에서만 시점 영상을 관찰할 수 있어, 특정 분야나 응용에서 상용화될 수 있는 여지가 있다. 이를 보완하기 위하여 다시점 영상의 각 시점 영상을 동공 추적 상황에 따라 동적으로 반영하여 관찰자의 위치에 따라서 다른 영상을 보여주는 방법도 고안되었으나, 이 방법은 기본적으로 1인 디스플레이에 최적화되어 있어 활용도에 다소 제약이 있는 상황이다[3]. 그러나 모바일 단말이나 모니터, 노트북과 같은 1인 사용이 가능한 기기에서는 충분히 적용될 수 있어 대중적 상용화의 가능성도 열려 있다.

3. 초다시점 디스플레이의 원리

1990년대 후반 일본의 우정성의 TAO 프로젝트에 의해 다시점 디스플레이의 한계를 넘어서는 초다시점 디스플레이(super multi-view display)가 제안되었다[4]. 초다시점 디스플레이의 기본 원리는 다시점 디스플레이의 개념을 확장하여 보다 많고 조밀한 시차 영상을 제공하되, 하나의 동공 안에 2개 이상의 시차 영상을 제공함으로써 생리적 깊이 단서인 연속적 운동 시차를 추가로 제공하여 눈의 피로 현상을 어느 정도 완화시킬 수 있다는 이론이다(그림 4). 이 방식은 3차원 물체의 파면을 그대로 재현하는 홀로그래피 방식에 비해 정보 처리량이 다소 적어, 완벽한 3차원 영상을 구현하는 홀로그래피 전 단계의 가장 현실적인 대안이라고 볼 수 있다. 기존의 다시점 디스플레이에서는 초점 자극은 디스플레이 평면에, 수렴 자극은 디스플레이 평면이 아닌 3차원 영상이 형성되는 평면인 디스플레이 앞쪽이나 뒤쪽에 형성되어 서로의 자극이 형성되는 위치가 달라 눈의 피로도가 생길 수 있다고 알려져 있다[5]. 그렇지만 초다시점 디스플레이에서는 하나의 동공 안에 시차를 다수 제공함에 따라 초점 자극과 수렴 자극을 모두 3차원 영상이 형성되는 평면에 제공함으로써, 비록 완벽한 3차원 영상의 재현은 아니지

만 자연스러운 운동 시차와 함께 눈의 피로도를 경감시킬 수 있다는 이론이다. 초다시점 디스플레이는 다시점 디스플레이에 비해 시각 피로를 경감시키고 보다 자연스러운 3차원 영상을 제공한다는 장점을 가지고 있지만, 다수의 시점 영상을 위한 디스플레이 패널의 해상도가 매우 높아야 하며 이를 위한 광학 소자의 배열이 매우 복잡하거나 어렵다는 단점을 가지고 있다[6][7][8].

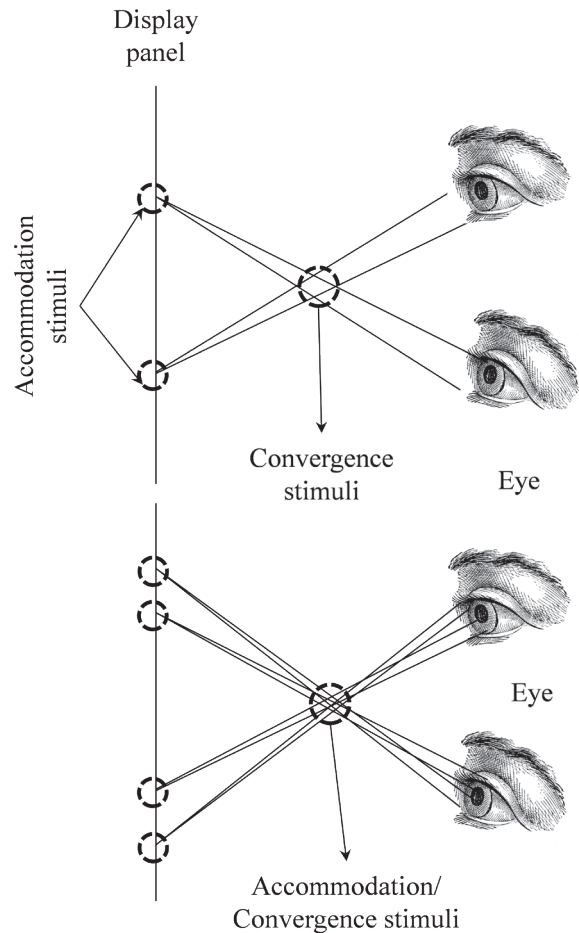


그림 4. 초다시점 디스플레이의 기본 원리
(위: 다시점 디스플레이에서 초점 자극과 수렴 자극, 아래: 초다시점 디스플레이에서의 초점 자극과 수렴 자극)

초다시점 디스플레이에서 수렴 자극과 초점 자극이 동일한 위치에 생성된다는 사실은 이론적으로는 잘 알려진 사실이지만, 실제로 관찰자가 수렴 자극과 초점 자극이 동일 위치에서 받아들이는지에 대한 여부는 정확히 조사된 바는 없다. 또한 이와 시각 피로간의 상관관계도 아직까지는 명확히 제시된 바는 없어, 이에 대한 연구가 필요한 상황이다.

Ⅲ. 시각 피로에 대한 연구

1. 시각 피로 연구의 어려움

시각 피로 연구에 있어 가장 어려운 점은 눈의 피로를 객관적으로 측정할 수 있는 방법과 계량할 수 있는 수단이 없다는 점이다. 의학/생리학 분야에서도 피로는 객관적으로 계량이 불가능한 척도이며 단지 그 정도는 피험자의 경험이나 주관적인 응답으로만 가능이 가능하거나 피로로 인한 신체 기능 이상이 객관적으로 관찰이 가능할 때에만 그 정도를 관찰할 수 있을 정도이다. 특히 3차원 영상을 주시할 때 눈의 피로를 측정하는 방법은 정량화되어 있지 않아서 간접적으로 피로도도에 대한 연구가 진행되기 때문에 그 정확도가 상대적으로 높지 않다는 점이 3차원 디스플레이에서 시각 피로를 측정하는데 가장 어려운 점이다. 또한 현재까지는 주로 3차원 디스플레이 중 안경식 3차원 디스플레이를 시청 시에 시각 피로에 대한 연구가 이루어져 왔는데, 그 이유는 3차원 디스플레이의 발전 흐름에서 찾을 수 있다. 휘트스톤 경에 의해 1838년 처음으로 안경식 3차원 디스플레이 방식이 제안되고, 1950년대에 미국에서 안경식 3차원 디스플레이 붐이 일어났지만(golden era), 양질의 콘텐츠를 공급하는데 실패하여 다수의 시청자가 두통을 호소하였다. 이후 2000년대에 와서야 영화 ‘아바타’의 성공으로 안경식 3차원 디스플레이가 상업적으로 큰 성공을 거두었는데, 처음으로 3차원 디스플레이 방식을 제안한 이래 거의 약 170여 년이 지난 후에 비로소 성공적인 상업화가 되었다는 점을 감안해보면 시각 피로에 대한 대부분의 연구 결과는 주로 안경식 3차원 디스플레이에 초점이 맞추어진 것은 당연한 결과다.

2. 설문 조사를 통한 시각 피로의 규명

장치적인 관점에서 그 동안 안경식 3차원 디스플레이 방식에서 시각 피로에 대한 연구가 진행되었다면, 방법론적인 관점에서는 주로 설문조사를 통한 경험론적인 연구가 주를 이루었다. 이는 시뮬레이터를 사용하게 됨으로써 인체에 나타날 수 있는 부작용을 측정하는 수단으로 1993년 Kennedy에 의해 그 방법이 개발된 이래로 많은 변형을 통해 시각 피로를 측정하는 수단으로 활용되었다[9]. 즉, 시각 피로는 한 가지 변인에 의해서만 촉발되는 것이 아니고 다중상적인 변인을 가지고 있기 때문에, 이를 측정할 수 있는 설문 수단이나 증상 목록을 작성하고, 이를 정량화하는 방법으로 simulator sickness questionnaire(SSQ)를 개량한 방법을 많이 사용하는 것이다. 이는 본래 의공학이나 사회과학, 심리학 분야에서 많이 사용되어 오다가 최근에는 3차원 영상을 관찰할 때에 시각 피로에 대

한 중요성이 대두되자 이를 공학 분야에서도 활용하는 추세이지만 객관적인 측정 자료를 배제한 채, 피험자의 주관적인 응답에 의존한 것이라는 단점도 지니고 있다. 그러나 일정 모집단 이상을 만족하는 조사에서는 아직까지도 신뢰도가 높은 방법으로 알려져 있다.

표 1. 설문 조사를 통한 시각 피로 측정 방법들[14~18]

실험 조건	방법	피험자 수
HMD/TV	28 문항 20분동안 게임 전/후	30
HMD	23문항	16
LCD/DLP projectors	색에 의한 피로 규명 15분 동안 영화 전/후	5
HDTV	5단계의 문항들 Test 타겟을 본 전/후	6
Mobile 게임	40분동안 게임 전/후	150

설문 조사를 통한 시각 피로의 규명 방법에 대한 연구 결과는 마찬가지로 다수의 연구가 안경식 3차원 디스플레이에 초점이 맞추어져 있다. 그 이유는 완성도가 높은 무안경식 3차원 디스플레이가 개발되기 이전에 안경식 3차원 디스플레이에서의 시각 피로에 대한 연구를 시도하려는 사례가 다수였기 때문이다. 방법의 일례로, 안경을 쓰고 일정 시간 동안 3차원 영상을 관찰할 뒤에 앞서 언급된 SSQ를 개선한 다양한 방법의 modified SSQ를 사용하여 피로도를 간접 측정하여 3차원 영상과 2차원 영상 관측 시의 간접적 피로도도의 차이를 분석한 사례들이 있었다. 이 때, 안경식 3차원 디스플레이 장치를 다양하게 사용하거나, SSQ에 해당하는 설문 문항을 좀 더 다양하게 작성하거나 혹은 단순화시키거나, 실험 방법의 변화를 통해 다양한 측면에서의 설문 조사를 통한 시각 피로의 측정 사례 결과들이 보고되었다(표1). 이와 같은 방법들은 최근 발표된 3차원 영상 관찰 시의 피로 측정에 대한 다수의 연구 논문에서 주관적 피로 측정 방법으로 언급되고 있으며, 주로 설문 조사 방법론적인 입장에서 방법의 다양성을 추구하는 방식으로 연구가 진행되어 왔고, 실험에 참여하는 피험자 수가 비교적 다수라는 장점을 가지고 있다. 그러나 앞서 언급된 바와 같이 피험자들의 주관적인 성향이나 영상 장치에 대한 연구를 배제한 채 실험을 진행한 연구 사례가 대다수이기 때문에 객관적인 피로도를 측정하는 방법이라고 보기는 어렵다[10~18].

3. 의학 장비를 이용한 시각 피로의 규명

앞서 언급된 주관적인 피로 측정 방법과는 달리 객관적인 피로 측정이라 명명되는 시각 피로에 대한 연구 결과는 주로 의

학 장비 혹은 생리적인 실험을 토대로 측정된 피로도 혹은 피로도에 준하는 정도를 측정하는 방법이다(표2). 그러나 앞서 언급된 바와 같이 피로도를 다증상적인 변인을 가지고 있기 때문에 정량적으로 측정하는 것이 어렵고, 의학 장비 또는 생리적인 실험을 통한다 할지라도 피로도를 직접적으로 측정하는 것이 아니기 때문에 정확한 의미에서는 객관적인 피로 측정이라고 부를 수는 없다. 하지만 설문 조사로 행해지는 주관적인 피로 측정 방법에 비해 생리/의학적 실험을 통해 얻어진 데이터를 통계학적인 방법으로 분석하여 피로도를 측정하는 방법이기 때문에 다수의 논문에서는 이를 객관적인 시각 피로 측정 방법이라 부르고 있다[19~33].

표 2. 의학 장비를 이용한 시각 피로 측정 방법들

측정 방법	사용되는 장비	피험자 수
Comprehensive biological signal analysis	EEG, MEG, EMG, ECG	3, 15, 52, 34
	PET, fMRI	N/A
	Clinical demonstration (Chromogranin A)	24
Direct indicator measurement	Refractometer	3, 9
	Eye tracker	10, 47

3.1 전기/자기 자극 측정 방법

의학 장비를 이용한 시각 피로는 피로도를 측정하는 장비나 방법에 따라 몇 가지로 나눌 수 있는데, 가장 보편적으로 이용되었던 방법은 전기 자극 장치를 이용하여 생체 신호를 분석하고, 이에 따라 피로도를 간접적으로 추정하여 피로도를 측정하는 방법이 있다. 대표적인 방법들로 Electroencephalography (EEG), Magneto-encephalography (MEG), Electromyography (EMG), Electrocardiography (ECG) 등이 있으며 실험 방법은 주로 전기 또는 자기 자극 장치를 피험자에게 부착한 상태에서 3차원 영상을 관측하기 전과 후의 신호를 분석하여 피로를 역추적하는 방법이 사용된다[19~22]. 그러나 생체 신호가 다증상적인 변인을 가지고 있어 복합적인 신호 형태로 표현이 되며, 이를 분리해내는 것도 상당한 노력이 필요하기 때문에 다수의 논문에서는 이를 분석한 방법론에 대해서도 발표된 바가 있다. 다수의 연구자들에 의해 피로할 때 발현되는 생체 신호를 검출하는 방법이 제안되어 정확히 추출해 내는 사례가 보고된 바 있지만, 아직까지도 그 신호가 매우 복잡한 형태를 가지고 있기 때문에 정밀한 분석은 어려운 단점을 가지고 있어 동일 자극에 대한 반응을 여러 번 측정한 뒤 평균치를 구하는 유발 기법이 유용하게 사용된다. 이 방법들은 다수의 안경식 3차원 디스플레이 방식에서 연구가 진행되었고, 최근 무안경식 3차원 디스플레이 방식에서도 연구가 진행된 바

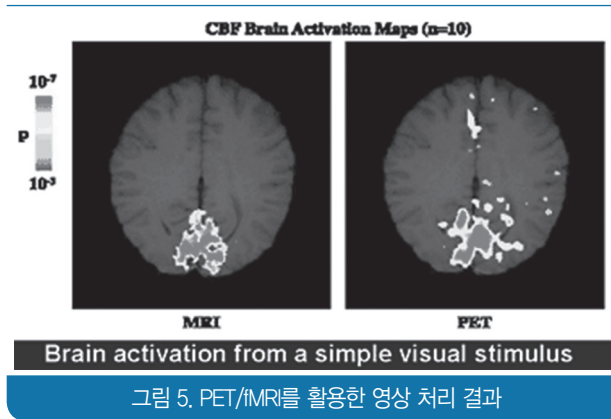


그림 5. PET/fMRI를 활용한 영상 처리 결과

있다[23][24].

3.2 생체 신호에 기반한 피로 측정 방법

유사한 방법으로 뇌의 특정 부위를 조망하여 혈류량을 알아 내거나 뇌 기능을 영상화하는 방법을 이용해 시각 피로를 규명해 낼 수도 있다. 이 방법은 뇌의 특정 부위가 그 사람의 행동 패턴이나 느끼는 감정에 연관성이 있다는 가정에서 출발한 방법으로, 양전자방출 단층촬영(PET, positron emission tomography), 기능적 자기공명영상(fMRI, functional magnetic resonance imaging) 등이 있다[25][26]. 이 방법들은 장비가 매우 고가이고, 여타 다른 전기 장비를 이용한 실험을 동시에 진행할 때에는 상당한 주의를 요한다는 단점을 가지고 있지만, 뇌의 혈류량을 측정하여 가장 원초적인 생체 신호를 분석할 수 있다는 측면에서 가장 객관적인 시각 피로 규명 방법이라고 볼 수 있다. 또한 인체에 무해하고, 영상의 해상도가 높으며 촬영에 걸리는 시간이 매우 짧다는 장점을 가지고 있어 최근 가장 활발히 연구되고 있는 분야다.

이외에 일본에서는 피로를 측정하는 다른 방법으로 입 안의 단백질 분비 상태를 검출하여 판별하는 방법을 사용하기도 했다. 신체 분비물 중에서 인체가 시각적으로 피로를 느꼈을 때 입 안에서 특정 단백질이 분비되는 것에 착안하여 3차원 영상을 관찰하기 전과 후의 입 안의 특정 단백질(Chromogranin A) 변화를 측정하여 시각 피로를 역추적하는 방법이 사용되었다[27]. 또한 피로가 누적되었을 때 눈의 움직임과 깜박임이 평소와는 다르기 때문에 이를 이용하여 눈의 피로를 측정하는 방법도 연구된 바 있다. 이 방법은 눈의 움직임을 정밀하게 측정하는 eye tracker 장비의 정확도가 연구의 중요한 요소이다[28][29]. 언급된 의학 장비를 이용한 시각 피로를 규명하는 방법은 고가의 장비를 사용하기 때문에 쉽사리 접근하기 힘들고, 피험자를 구하는 것도 어렵기 때문에 다수의 피험자를 대상으로 실험하기 어려운 단점을 가지고 있다.

3.3 검안기를 이용한 조절-수렴 불일치 측정 방법

3차원 디스플레이에서 시각 피로의 원인에 대해서는 정확한 원인과 증상에 대해서 많은 연구가 필요하지만, 그 중에서 가장 대표적으로 언급되고 피로의 원인으로 지목되는 것은 초점 조절과 수렴의 불일치(accommodation-convergence mismatch)이다. 2장에서 언급되었던 깊이 인지 요소 중 생리학적인 요소인 눈의 초점 조절과 수렴 조건이 3차원 영상을 관찰할 때와 실제 물체를 볼 때 상이하기 때문에 피로를 일으킬 수 있다는 주장으로 2000년대 초반부터 현재까지 일본 및 한국에서 많은 연구가 진행된 바 있다. 이를 측정하기 위한 방법으로 주로 의학/안광학에서 사용되는 검안기를 이용하여 초점 조절에 대한 연구가 소개되었다. 검안기는 본래 안과 및 안광학 분야에서 피험자 눈의 굴절률이나 각막 곡률, 동공의 크기 등을 측정하여 시력의 변화 또는 교정을 하기 위해서 사용되어 왔다. 일반적인 검안기는 피험자가 검안기에 연결된 가로막힌 공간 안의 준비된 컴퓨터로 조합된 영상을 보고 눈의 굴절률을 측정하는 것이 주 목적이었다. 그러나 최근 일본에서는 반투과 거울 구조를 이용하여 피험자가 준비된 컴퓨터 영상이 아닌 실제 물체를 볼 때 눈의 굴절률 및 동공의 움직임을 측정할 수 있는 방법을 제안하였다[30]. 이러한 검안기를 사용하여 실제 물체를 볼 때와 3차원 영상을 볼 때 눈의 굴절률 변화를 조사하여 그 차이에 따라 실제 눈이 어느 위치를 보고 있는지에 대한 연구를 통해 초점 조절과 수렴의 불일치에 대한 조사를 연구한 사례가 보고된 바 있다. 그러나 이 방법은 상기 피험자가 각기 다른 눈의 굴절률을 가지고 있기 때문에 실험에 유의해야 한다는 특징을 가지고 있다. 예를 들어 피험자 별로 눈의 굴절률은 달라, 실제 물체를 바라볼 때 같은 위치에 있는 물체라도 눈의 굴절률은 다르게 측정이 될 것이고 이는 3차원 물체를 볼 때에도 마찬가지로 적용된다. 따라서 이를 해결하기 위해 피험자 별로 눈의 굴절률 곡선을 먼저 얻어낸 후에(외삽법과 보간법 이용) 3차원 영상을 바라볼 때 굴절률을 측정하여 이를 바탕으로 추정할 실험값을 얻어내야 한다. 이 결과를 분석한다면 3차원 영상 관측 시에 피로도의 주요 요인 중에 하나로 일컬어지는 초점 조절과 수렴 불일치 여부를 확인할 수 있다.

검안기를 이용한 연구는 학교 및 여러 연구 기관에서 다양한 방법으로 수행되었다[31][32][33]. 서울대에서는 초다시점 방식과 유사한 방식인 집적 영상 방식에서 3차원 영상을 관찰할 때 실제 물체를 볼 때와 유사한 반응을 보이는 것을 분당 서울대 병원과 공동 연구 결과를 통해 밝혀냈으며(그림 6), 종합기술원과 공동으로 진행한 연구에서는 초다시점 디스플레이에서 눈의 피로가 느껴지지 않는 안정 구간을 조사하는 연구를 검안기를 이용하여 진행하였다(그림 7). 경희대, KIST 등에서는 집적

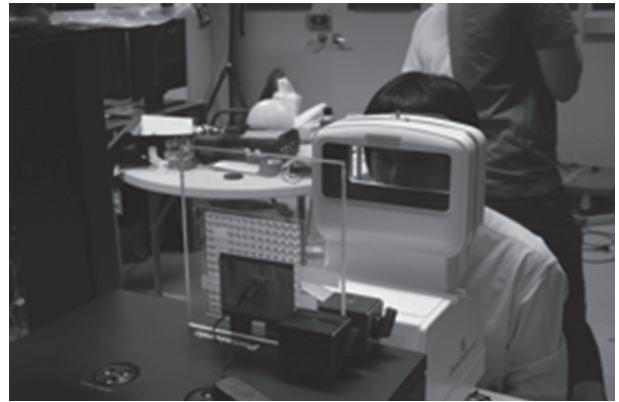


그림 6. 집적 영상 방식에서 초점 조절 측정

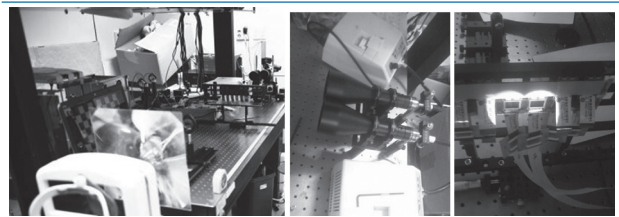


그림 7. 초다시점 디스플레이에서 초점 조절을 자연스럽게 유발하는 neutral disparity zone 제안 실험neutral disparity zone 제안 실험

부양 디스플레이(integral floating display) 방식과 초다시점 디스플레이에서 검안기를 이용한 초점 조절 연구를 진행하였으며, 일본 NICT와 NHK에서도 집적 영상 방식에서 검안기를 이용한 초점 조절 연구를 진행하였다[33]. 검안기를 이용하는 방식은 단안의 초점 조절을 측정하는 원리를 바탕으로 수행되기 때문에 양안 시차를 이용하는 방식보다는 단안으로도 3차원 영상의 깊이 단서를 제공한다고 알려진 방식인 초다시점 디스플레이 방식에서 적용하기 쉬운 장점을 가지고 있다. 반면, 단안으로 초점 조절할 수 있는 한계가 매우 근거리에서 이루어진다고 알려져 있기 때문에 검안기를 이용한 깊이 인식 실험은 제한된 범위 내에서 정확한 실험 조건에 맞게 진행되어야 한다.

IV. 결론

본고에서는 초다시점 디스플레이의 원리와 시각 피로에 대한 연구 결과를 소개하였고, 국내외 기술 동향을 살펴보았다. 초다시점 디스플레이는 시점 간 간격이 매우 조밀한 디스플레이 방식이기 때문에 완벽한 구현을 위해서는 상당히 정밀한 광학 설계와 초고해상도의 디스플레이 패널 혹은 다수의 투사 광학계를 집적시켜서 제작해야 한다. 따라서 초다시점 디스플레이를 이용한 시각 피로의 연구 분야는 초다시점 디스플레이에 대

한 이해도가 높은 상태에서 시작하여야 하며, 세계적으로 이러한 연구를 진행할 수 있는 기관도 매우 드물다. 실제로 초다시점 디스플레이가 다시점 디스플레이에 비해 이론적으로는 시각 피로를 경감시킬 수 있다고 알려져 있지만, 실제 임상 실험이나 설문 조사의 방법을 통해 규명된 사실은 매우 드물기 때문에 집중적인 연구가 필요하다. 따라서 초다시점 디스플레이에서 성공적인 시각 피로에 대한 연구를 하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다. 먼저, SSQ와 같은 주관적인 피로 측정 방법을 통해 시각 피로도에 대한 조사를 다수의 피험자를 확보하여 진행해야 한다. 또한, 가장 쉽게 접근이 가능한 의학 장비를 이용한 방법으로는 eye tracker나 refractometer를 이용한 방법이 될 수 있다. 만약 PET나 fMRI, EEG, EMG, ECG, MEG 등을 이용한 방법을 사용한다면 생체 신호를 분석할 수 있는 환경을 확보한 상태에서 진행되어야 한다. 그러나 생체 신호를 파악하는 의학 장비의 경우 초다시점 디스플레이를 설계하여 이러한 장비 안에 집적시켜야 하기 때문에, 단순히 한 연구 집단의 역량으로 연구를 진행하기 보다는 디스플레이와 의과학 분야의 긴밀한 협력 하에 연구를 진행해야 할 것이다.

시각 피로를 측정하는 방법은 매우 다양하지만 역설적으로 어느 방법도 정확히 피로를 측정한다고 알려져 있지는 않은 만큼 집중적인 연구가 필요한 분야이다. 이러한 연구는 궁극적으로는 시각 피로가 최소화된 초다시점 디스플레이를 개발하는데 크게 이바지 할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 ‘범부처Giga KOREA 사업’의 일환으로 수행하였음. [GK13D0200, 실시간 인터랙션을 제공하는 초다시점 단말 기술 개발]

참고 문헌

- [1] M. Lambooi, W. IJsselsteijn, M. Fortuin and I. Heynderickx, “Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: A review,” *J. Imaging Sci. Technol.*, vol. 53, pp. 030201-1-030201-14, 2009.
- [2] B. Lee, J.-H. Park, and S.-W. Min, “Three-dimensional display and information processing based on integral imaging,” in *Digital Holography and Three-Dimensional Display*, T.-C. Poon, Ed. New York: Springer, ch. 12, 2006.
- [3] S. Reichelt, R. Haussler, G. Futterer and N. Leister, “Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays,” *Proc. SPIE* 7690, pp. 76900B, 2010.
- [4] Y. Kajiki, H. Yoshikawa and T. Honda, “Three-dimensional display with focused light array,” *Proc. SPIE* 2652, pp.2652-15, 1996.
- [5] D. M. Hoffman, A. R. Girshick, K. Akeley and M. S. Banks, “Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue,” *J. Vis.*, vol. 8, pp. 1-30, 2008.
- [6] Y. Takaki and N. Nago, “Multi-projection of lenticular displays to construct a 256-view super multi-view display,” *Opt. Express*, vol. 18, pp. 8824-8835, 2010.
- [7] Y. Takaki, Y. Urano, S. Kashiwada, H. Ando and K. Nakamura, “Super multi-view windshield display for long-distance image information presentation,” *Opt. Express*, vol. 19, pp. 704-716, 2011.
- [8] Y. Takaki, K. Tanaka and J. Nakamura, “Super multi-view display with a lower resolution flat-panel display,” *Opt. Express*, vol. 19, pp. 4129-4139, 2011.
- [9] R.S. Kennedy, N.E. Lane, K.S. Berbaum and M.G. Lilienthal, “Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness,” *Int. J. Aviat. Psychol.*, vol. 3, pp. 203-220, 1993.
- [10] T. Inoue and H. Ohzu, “Accommodation responses to stereoscopic three-dimensional display,” *Appl. Opt.*, vol. 36, pp. 4509-4515, 1997.
- [11] S. Yano, S. Ide, T. Mitsuhashi and H. Thwaites, “A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images,” *Displays*, vol. 23, pp. 191-201, 2002.
- [12] Y. Okada, K. Ukai, J. S. Wolffsohn, B. Gilbertin, A. Iijima and T. Bando, “Target spatial frequency determines the response to conflicting defocus and convergence-driven accommodative stimuli,” *Vision Res.*, vol 46, pp. 475-484, 2006.
- [13] S.-K. Kim, D.-W. Kim, Y. M. Kwon and J. Y. Son, “Evaluation of the monocular depth cue in 3D

- displays,” *Opt. Express*, vol. 16, pp. 21415–21422, 2008.
- [14] J. Kim, H. K. Yang, Y. Kim, B. Lee and J.-M. Hwang, “Distance stereotest using a 3D monitor for adult subjects,” *Am. J. Ophthalmol.*, vol. 151, pp. 1081–1086, 2011.
- [15] J. Kuze and K. Ukai, “Subjective evaluation of visual fatigue caused by motion images,” *Displays*, vol. 29, pp. 159–166, 2008.
- [16] M. Ogata, K. Ukai and T. Kawai, “Visual fatigue in congenital nystagmus caused by viewing images of color sequential projectors,” *J. Display Technol.*, vol. 1, pp. 314–320, 2005.
- [17] K. Murata, S. Araki, N. Kawakami, Y. Saito and E. Hino, “Central nervous system effects and visual fatigue in VDT workers,” *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, vol. 63, pp. 109–113, 1991.
- [18] J. Häkkinen, M. Pölönen, J. Takatalo and G. Nyman, “Simulator sickness in virtual display gaming: a comparison of stereoscopic and non-stereoscopic situations,” in *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*, (ACM, New York, NY), pp. 227–230, 2006.
- [19] A. Zhang, Z. Zhao and Y. Wang, “Estimating VDT visual fatigue based on the features of ECG waveform,” in *Proceedings of the 2009 International Workshop on Information Security and Application (IWISA 2009)*, F. Gao and X. Zhu, ed. (Academy Publisher, Oulu), pp. 446–449, 2009.
- [20] B. T. Jap, S. Lal, P. Fischer and E. Bekiaris, “Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue,” *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 2352–2359, 2009.
- [21] S. Yamamoto and S. Matsuoka, “Topographic EEG study of visual display terminal (VDT) performance with special reference to frontal midline theta waves,” *Brain Topography*, vol. 2, pp. 257–267, 1990.
- [22] K. Murata, S. Araki, K. Yokoyama, K. Yamashita, T. Okumatsu and S. Sakou, “Accumulation of VDT work-related visual fatigue assessed by visual evoked potential, near point distance and critical flicker fusion,” *Industrial Health*, vol. 34, pp. 61–69, 1996.
- [23] Y. Kim, J.-H. Jung, K. Hong, G. Park and B. Lee, “Accommodation response in viewing integral imaging,” *SID Int. symp. Digest Tech. Papers*, pp. 530–532, 2010.
- [24] Y. Kim, K. Hong, J. Kim, H. K. Yang, J.-M. Hwang and B. Lee, “Accommodation response measurement according to angular resolution density in three-dimensional display,” presented at the *Advances in Display Technologies*, SPIE Photonics West, CA, 2011.
- [25] Y. J. Jung, D. Kim, H. Sohn, S.-I. Lee, H.-W. Park and Y. M. Ro, “Subjective and objective measurements of visual fatigue induced by excessive disparities in stereoscopic images,” *Proc. SPIE 8648*, pp. 86480M, 2013.
- [26] D. Kim, Y. J. Jung, E. Kim, Y. M. Ro and H. W. Park, “Human brain response to visual fatigue caused by stereoscopic depth perception,” Published in *Digital Signal Processing*, 17th International Conference, pp. 1–5, 2011.
- [27] S. Fujimoto, M. Nomura, M. Niki, H. Motoba, K. Ieishi, T. Mori, H. Ikefuji and S. Ito, “Evaluation of stress reactions during upper gastrointestinal endoscopy in elderly patients: assessment of mental stress using chromogranin A,” *J. Med. Invest*, vol. 54, pp. 140–145, 2007.
- [28] M. Miyao, S. S. Hacisalihzade, J. S. Allen and L. W. Stark, “Effects of VDT resolution on visual fatigue and readability: an eye movement approach,” *Ergonomics*, vol. 32, pp. 603–614, 1989.
- [29] H. T. Nguyen, D. M. Isaacowitz and P. A. D. Rubin, “Age- and fatigue-related markers of human faces: an eye-tracking study,” *Ophthalmology*, vol. 116, pp. 355–360, 2009.
- [30] A. L. Sheppard and L. N. Davies, “Clinical evaluation of the Grand Seiko auto ref/keratometer WAM-5500,” *Ophthalmic Physiol. Opt.*, vol. 30, pp. 143–151, 2010.
- [31] Y. Kim, J. Kim, K. Hong, H. K. Yang, J.-H. Jung,

H. Choi, S.-W. Min, J.-M. Seo, J.-M. Hwang and B. Lee, "Accommodative response of integral imaging in near distance," *Journal of Display Technology*, vol. 8, pp. 70-78, 2012.

[32] J.-H. Jung, J. Kim, S.-g. Park, S. Y. Choi, D. Nam and B. Lee, "Accommodation response of super multi-view display using directional light in monocular condition," *Proceedings of The International Display Workshop*, vol. 19, pp. 631-634, 2012.

[33] H. Mizushina, J. Nakamura, Y. Takaki and H. Ando, "Vergence and accommodation responses to super multi-view display," *Proc. 3DSA2013*, p2-1, 2013.

약 력



김 영 민

2005년 서울대학교 공학사
 2011년 서울대학교 공학박사 (석박사통합)
 2011년~2011년 서울대학교 BK 박사 후 연구원
 2011년~현재 전자부품연구원 선임연구원
 관심분야: Interactive 3D display,
 Holographic display, visual fatigue
 associated with 3D displays



홍 성 희

1999년 성균관대학교 공학사
 2001년 성균관대학교 공학석사
 2007년 성균관대학교 공학박사 수료
 2000년~현재 KETI 실감정보플랫폼연구센터
 책임연구원
 관심분야: IPTV, 3D, Hologram



강 훈 종

1998년 광운대학교 공학사
 2001년 광운대학교 공학석사
 2008년 Nihon University 공학박사
 1999년~2002년 3D 코리아 연구원
 2002년~2006년 한국전자통신연구원 방송시스템
 연구부 연구원
 2008년~2010년 Bilkent University, Project
 researcher [The European FP7
 Real3D Project]
 2010년~현재 전자부품연구원 디지털 홀로그래피
 연구팀 책임연구원
 관심분야: 디지털 홀로그래피, 3D 디스플레이