

# 청각자극을 이용한 무안경방식 3D 영상의 휴먼팩터 평가

문성철\*, 조성진\*, 박민철<sup>o</sup>

## Evaluation of Human Factors on Autostereoscopic 3D Viewing by Using Auditory Stimuli

Sungchul Mun\*, Sungjin Cho\*, Min-Chul Park<sup>o</sup>

### 요약

본 연구는 다차원 영상 시각피로를 정량적으로 평가하기 위해 선택적 주의이론에 근거한 청각자극 실험패러다임을 이용하여 시청 전후의 태스크 퍼포먼스 변화를 비교 평가하고자 하였다. 21명의 대학생들이 약 80분의 모바일 3D 콘텐츠 시청 전후에 청각자극을 이용한 선택적 주의 태스크를 각각 수행하였다. 실험참가자들의 주관피로평가 결과를 본페로니의 알파 수정을 적용한 윌콕슨 부호 순위 검정으로 분석하고 피로군과 비피로군으로 분류하여 태스크 퍼포먼스를 비교 평가하였다. 비피로군의 경우 시청 전후 태스크 퍼포먼스 인덱스에서 유의미한 차이가 나타나지 않았으나, 피로군의 경우 모바일 3D 콘텐츠 시청 후에 타겟에 대한 반응 시간이 유의하게 증가하고 반응 정확도가 유의하게 감소하였다. 작업기억 태스크 정확도의 경우는 두 그룹 다 유의미한 차이를 보이지 않았다.

**Key Words** : Autostereoscopic 3D, Mobile 3D viewing, Selective attention, 3D visual fatigue

### ABSTRACT

This study investigated changes in behavioral performance before and after watching a multi-view 3D content by using auditory stimuli based on the selective attention theory in order to quantitatively evaluate 3D visual fatigue. Twenty-one undergraduates were asked to report on their current visual and physical condition both in the pre- and post-experiment. A selective attention task was conducted before and after mobile 3D viewing to compare the changes in performance. After performing a Wilcoxon's matched-pairs signed-ranks test on the subjective ratings of 3D visual fatigue, participants were categorized into two groups, unfatigued and fatigued group with a definite criterion. For the unfatigued group, no significant fatigue effects were found in behavioral response times and accuracies to specific auditory targets. In sharply contrast to the unfatigued group, the fatigued group showed significantly delayed response times and less response accuracies. However, no significant changes in accuracies for a working memory task were observed in both groups.

### I. 서론

3D 영상분야는 케플러, 찰스 휘트스톤, 벨라 울레즈 등의 학문적 기여를 거쳐, 1953년 일본의 다카야나

\* 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013-067321).

• First Author : 한국과학기술연구원 과학기술연합대학원대학교 HCI 및 로봇응용공학과, scmun@kist.re.kr

◦ Corresponding Author : 한국과학기술연구원 국가기반기술연구본부 센서시스템연구센터, minchul@kist.re.kr, 정희원

\* 고려대학교 전기전자전파 공학과, mcdiobio@korea.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2013-07-001, 접수일자 : 2013년 7월 31일, 최종논문접수일자 : 2013년 11월 6일

기가 “3D 영화의 일반 원리”를 텔레비전학회 월보에 발표한 이후 차세대 영상기술로서 많은 발전을 이루어 왔다. 최근에는 무안경 방식인 다차원 영상기술의 진보와 무안경 방식이 제공하는 사용자 편의감 등으로 인해 모바일 3D 디스플레이 시장이 형성되고 있다. 시간과 장소에 구애받지 않고 높은 실재감과 몰입감을 유발하는 다차원 입체 영상의 콘텐츠를 즐길 수 있다는 장점이 해당 분야의 산업을 견인하고 있다. 시장 조사기관인 존 페티 리서치는 향후 3년간 스마트폰 기종의 80% 이상이 3D 스크린 및 3D 카메라 기능을 포함하여 출시하게 될 것이라 발표하는 등 3차원 입체 효과기능이 차세대 스마트폰의 필수 기능으로 자리매김해 나갈 것이라고 예측하고 있다<sup>11</sup>. 이처럼 모바일 다차원 영상에 대한 니즈가 증가함에 따라 모바일 디스플레이 시청과 관련된 휴먼팩터 이슈도 관심을 받고 있다. 다차원 영상 기술은 주로 패럴랙스 배리어 방식이나 렌티큘러 방식을 사용하는데 시청 위치에서 수평방향으로 일정 범위를 벗어나게 되면 입체 영상이 적절히 분리되지 않아 크로스톡이 발생할 수 있다. 크로스톡 이외에도 좌안용 영상이 우안에 우안용 영상이 좌안에 입사하여 물체의 깊이감이 반대로 보이는 역입체시(Pseudo-stereoscopy) 현상과 모바일 디스플레이의 낮은 휘도, 좁은 화각이 시각피로나 영상떨림을 유발할 수 있다<sup>12,31</sup>. 이러한 다차원 영상기술의 한계점을 개선하기 위해 기술적으로 초다시점 방식(Super-multiview)이 고안되었으며 다시점 방식에 헤드 트래킹 기술을 접목하여 사용자의 적절한 시청위치에 따라 크로스톡을 측정하여 최적 시청영역을 제시해 주는 등의 개선방법도 제안되고 있다. 그러나, 시차가 다른 여러 영상을 시각계에 입사시키는 방식이기 때문에 시차 영상수가 많아져 관찰 시점이 증가할수록 영상의 해상도가 떨어지고 부적절한 크로스톡이 유발될 가능성이 크다. 이는 패닉의 융합영역 안에서 발생하는 망막성 융합이외의 과도한 폭주성 융합을 빈번히 유발할 수 있는데 이러한 현상이 일정시간 지속될 경우 시각피로와 인지피로를 유발할 수 있다.

3D 시각피로는 시기능의 수렴-조절 불일치 (Convergence-accommodation conflict)로 인해 유발된다는 것이 널리 알려져 있다. 시기능의 폭주(수렴)와 조절기능은 서로 독립적이 아닌 상호 보완적으로 발생하며, 조절의 반응량과 조절 속도 변화는 좌우 영상의 간격인 화면시차와 양안시차에 비례하여 커진다<sup>14</sup>. 즉, 입체 영상을 응시할 때 융합성 폭주반응이 유발되고 이로 인해 폭주성 조절이 일어나게 된다. 이러

한 조절-수렴의 상대적 특성이 퍼시벌의 쾌적 영역 (Percival's zone of comfort)안에서 일어날 경우 시각 피로는 유발되지 않는다고 알려져 있다<sup>21</sup>. 모바일 3D 영상 디스플레이는 시청거리가 짧고 화각이 좁아 시청자는 양안 시차의 빠른 시간적/공간적 변화에 대해 다른 디스플레이 보다 더 민감한 영향을 받는다. 이러한 특성과 3D 융합력의 개인차가 무안경방식의 좌우 영상의 불완전한 분리로 인한 크로스톡을 주관적으로 더 심하게 경험하게 할 수 있다. 또한 모바일 디스플레이는 정적인 시청환경이외의 동적인 시청환경에서도 사용될 수 있기 때문에 사용자가 적정 시청영역 (Sweet zone)을 더 빈번하게 벗어날 수 있어 심한 왜곡감을 경험할 수 있는 가능성도 높다<sup>51</sup>. 따라서, 기존의 스테레오스코픽 3D에 비해 시각피로가 빈번하고 심각하게 발생될 위험성이 존재하기 때문에 모바일 다차원 영상 디스플레이에 대한 휴먼팩터 연구가 필요하다.

지난 10년간 3차원 영상과 관련된 인체안전성을 확보하기 위한 휴먼팩터 연구가 활발히 이루어져 왔다<sup>12,6-221</sup>. Lambooij 등(2009, 2011, 2012, 2013)은 스테레오스코픽 디스플레이가 유발하는 안정피로 (Asthenopia)를 시각적 불편감과 시각피로로 세분하여 정의하고 인간의 시각계 융합영역(Panum's fusional area)이 개인마다 상이하기 때문에 개인간 3D 민감성의 차이가 존재한다는 것을 생리심리학적 문헌 고찰과 정량적 실험을 통해 규명하였다<sup>6,7</sup>. 또한, 개인 3D 민감성을 2D와 3D 텍스트에 대한 리딩 퍼포먼스를 통해 평가하여 개인 민감성을 예측할 수 있는 가능성을 제시하였다<sup>81</sup>. 최근 그들의 연구에서는, 콘텐츠 특성이 시각적 불편감에 미치는 영향이 조사되었으며, 그 결과 3D 콘텐츠의 비디오 특성(Video characteristics)인 화면시차 변화속도, 교차/비교차 시차의 프레임간 급변화, 자막에 의한 입체감 왜곡 등이 시각적 불편감을 유발한다는 것이 규명되었다<sup>91</sup>. Li 등(2008)은 3D가 유발하는 시각피로를 자발뇌파 (Background EEG)의 베타파가 증가하고 사건관련전위(ERP, Event-related Potential)의 P700성분의 잠복기가 딜레이 된다는 점을 발견하여 3D 시각피로가 뇌의 인지적 처리과정에 영향을 미칠 수 있음을 시사하였다<sup>101</sup>. Mun 등(2012, 2013)도 스테레오스코픽 3D가 유발하는 시각피로가 단순한 눈 기능의 저하가 아닌 인지피로와 연관된다는 것을 시유발지속전위 (SSVEP, Steady-state Visually Evoked Potential)와 사건관련전위의 특성변화와 3D 개인민감성의 차이를 복합적으로 평가해 규명하였다<sup>111</sup>. 그들의 연구에 따

르면, 3D 시청 후에 외부 자극에 대한 고차원적 인지 기능을 반영하는 사전유발전위의 후기성분(LPP, Late Positive Potential)의 잠복기가 증가하고 진폭이 유의하게 감소하였으며, 공간적 주의 집중력을 나타내는 시유발지속전위의 특정 비율이 감소하였다. 이러한 결과를 2D를 시청한 대조군과 비교 평가하고 주관적 피로감(안구통증, 이중상 경험, 초점조절 어려움 등)에서도 일관된 결과를 도출함으로써 3D 시각피로가 인지적 피로라는 점을 강조하였다. 그들은 3D가 유발하는 입체 피로를 간접적으로 평가하는 주관적, 객관적 평가 방법에 대한 비교를 통해 시각피로 및 인지피로를 효과적으로 평가할 수 있는 프로토콜을 제안하기도 하였다<sup>121</sup>. Lee 등(2011)은 3D 시각피로에 대한 주관적 평가 조사를 대규모로 진행해 294명 중 36%가 3D 시청 후 피로감을 호소하였고 7%는 심각한 정도의 시각피로를 느끼는 것을 보고하였다<sup>131</sup>. 수렴-조절 불일치 이론과 시기능의 주요특성에 대한 문헌 고찰을 통해 3D 시각피로를 정성적으로 분석하여 시청자 친화적 3D 디스플레이를 디자인하기 위한 가이드라인을 제시한 연구도 존재한다<sup>171</sup>.

이러한 기존 연구들은 대부분이 스테레오스코픽 3D 방식을 사용하는 대형 디스플레이에 주로 초점을 맞추어 왔기 때문에 시차가 다른 영상을 배리어나 반원통형의 렌즈들을 통해 좌우 영상을 분할하는 다안식 디스플레이 방식인 소형 모바일 3D 기기 및 디스플레이의 휴먼팩터 평가 연구는 모바일 3D 디스플레이 사용자가 급증하고 있음에도 불구하고 미비한 실정이다. 전술한 바와 같이, 모바일 3D 디스플레이는 사용시점과 장소에 따라 부적절한 시청환경에 노출될 가능성이 크기 때문에 모바일 3D 기기 사용자에게 저피로 고실감 콘텐츠를 제공하기 위해서는 정량적인 방법에 의한 휴먼팩터 평가 연구가 선행되어야 한다. 선행 연구들은 주로 시각자극을 이용해 3D 피로를 평가해 왔기 때문에 3D 영상 콘텐츠 자체가 유발하는 피로에, 그 피로를 평가하기 위해 제시되는 시각자극들이 부가적인 피로를 유발했을 가능성을 배제하기 힘들다. 이는 인지적 능력을 평가하기 위해 제시되는 일정속도 이상의 빠른 자극들이나 3D oddball paradigm 등의 시각자극들이 개인의 생리심리학적 특성과 시간에 따라 상이한 누적피로를 유발할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서, 본 연구는 청각자극을 이용하여 모바일 3D 콘텐츠 시청 전후의 청각자극에 반응하는 태스크 퍼포먼스 변화를 비교 평가하여 부가적인 시각적 로드를 배제하고자 한다. 청각자극을 이용해 3D 피로를 평가하기 위한 본 연구의 가설은 선

택적 주의 이론에 근거를 두고 있다.

선택적 주의(Selective attention)란 뇌의 주의 집중 기능을 담당하는 탑-다운 매커니즘(Top-down mechanism)에 의해 주의가 공간상의 다른 방향으로 분리될 수 있는 것을 의미하며 특정 태스크 수행과 무관한 정보에 할당되는 주의 리소스를 줄이는 동시에 반응적 행동과 직접적으로 관련된 정보를 효율적으로 처리하기 위해 주의 리소스를 특정 영역에 더 많이 할당하는 것을 의미한다. 특정 태스크를 반복하거나 부적절한 영상에 지속적으로 노출될 경우 인지 피로(Mental fatigue)가 유발될 수 있는데 인지피로가 유발되면 인간의 주의 매커니즘에 영향을 미치게 되어 주의를 특정한 곳에 두기 힘들어 지고 주의가 쉽게 산만해진다<sup>231</sup>. 즉, 지시에 따라야 하는 방향과 무시해야 하는 방향에 자극이 동시에 제시될 경우 무시해야 하는 방향의 자극에 대한 반응을 억제하는데 더 많은 주의 리소스(Attention resource)가 필요하게 된다<sup>241</sup>. 따라서, 피로하지 않은 상태에서 반응/억제 태스크(Go/Nogo task)를 시행할 경우 집중을 양방향에 적절히 나눌 수 있는 선택적 주의 매커니즘이 형성되지만, 인지적으로 피로한 경우에는 무시해야 하는 방향에 제시되는 억제(Nogo) 자극에 할당되어야 하는 주의 리소스가 인지피로에 의해 줄어들어 반응/억제 태스크 수행 시 오류를 범할 가능성이 높아지게 된다. 또한, 억제자극 정보를 적절히 처리하지 못함으로써 발생하는 비효율적 주의 리소스 조절(Attention resource control)이 태스크 관련 자극의 정보를 처리하는 매커니즘에도 영향을 미치게 되어 반응시간이 느려지게 된다<sup>251</sup>. 따라서, 본 연구의 목적은 개인의 3D 민감성에 크게 영향을 받는 모바일 3D 시각피로를 정량적으로 평가하기 위해 3D 피로군에서 나타나는 주의 매커니즘의 변화를 청각자극에 대한 행동적 반응을 통해 평가하고자 하는 것이다.

## II. 평가 방법

### 2.1. 실험참가자

입체시가 정상인 20대 대학재학생 21명(여 9, 남 12; 평균나이: 23.62±2.42)이 실험참가자로 본 실험에 참여하였다. 실험참가자들에게 실험전 12시간 동안 카페인 섭취 및 음주를 절제하고 금연을 당부하였으며 충분한 수면을 요청하였다. 모든 실험참가자들은 오른손잡이에 신경생리학적 병변이 없었다. 이들은 실험에 대한 대가로 교통비와 식대를 포함하여 현금 7만원을 지급받았다.

## 2.2. 실험 자극 및 절차

본 실험에 사용된 청각자극은 뉴로스캔 사운드 킨 버전스 노트의 네츄럴 사운드 풀(16-bit signed stereo)이었으며<sup>[26]</sup>, 소리자극을 양방향으로 따로 분리하여 제시하기 위해 XAudio2를 이용하였다. 선행연구에 따라 피로에 따른 행동적 반응 변화를 효과적으로 평가하기 위해 네츄럴 사운드를 선정하였다<sup>[27]</sup>. 100개의 네츄럴 사운드 풀에서 40개를 랜덤하게 추출하여 6초에서 20초 사이의 랜덤 간격으로 제시하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 각 사운드 자극은 새소리, 동물소리, 악기소리, 웃음소리 등의 네츄럴 사운드로 평균 335.8 ms의 길이와 60 데시벨의 크기를 가지고 있었으며 블리츠 스테레오 2채널 스피커를 통해 왼쪽과 오른쪽에 랜덤하게 다음과 같은 순서로 제시되었다. 실험참가자가 소리자극에 반응해야 하는 방향을 알려주기 위해 좌, 우의 지시방향에 30초에 한 번씩 실험참가자의 약 70 cm 앞에 있는 23인치 LCD 모니터를 통해 업데이트 되었다.

120초가 1 블록을 이루었으며 5 블록이 끝난 후에 100개의 사운드 풀에서 소리가 다시 랜덤하게 40개가 추출되어 위와 같은 조건으로 제시되었다. 총 10개의 블록동안 사운드 자극 80개가 제시되었으며 2 블록이 끝날 때마다 지시된 방향에 나온 사운드 자극의 개수를 기억해서 모니터 상에 보고하게 하였다. 실험참가자는 지시된 방향의 소리가 나올 때마다 최대한 빠르고 정확하게 스페이스 바를 눌러야 했으며 무시된 방향의 소리에는 반응하지 않도록 요청받았다. 청각자극에 대한 반응시간과 정확도를 측정하기 위해 Visual Studio 2008을 이용해 데이터 로그를 기록하였으며, 자극이 나온 시점으로부터 200 ms에서 1000 ms 사이에 스페이스가 눌린 반응들만을 Hit으로 처리하였다. 지시된 방향에 나온 청각자극들에 대한 반응 중 200 ms에서 1000 ms을 넘어간 반응들과 지시되지 않은 방향에 나온 자극에 반응한 경우 및 지시된 방향의 자극에 무반응한 경우는 모두 Incorrect로 처리하였다. 실험참가자는 전술한 청각 반응 테스트를 수행한 후 패럴랙스 방식인 4.3 인치(해상도 800x480) 모바일 디스플레이에서 재생되는 모바일 3D 콘텐츠(황야의 부름 3D, 2009)를 30 cm의 거리에서 84분 동안 시청하고 다시 청각 반응 테스트를 수행하였다.

장시간의 3D 콘텐츠 시청으로 인해 유발되는 시각 피로는 2D 영상시청으로 인한 시각피로에 비해 양안 뉴런이 존재하는 외측슬상핵의 대세포층과 선조(외) 피질들의 시각정보 처리 네트워크에 더 많은 과부하를 초래하고 이러한 과부하가 3D 인지피로를 유발할

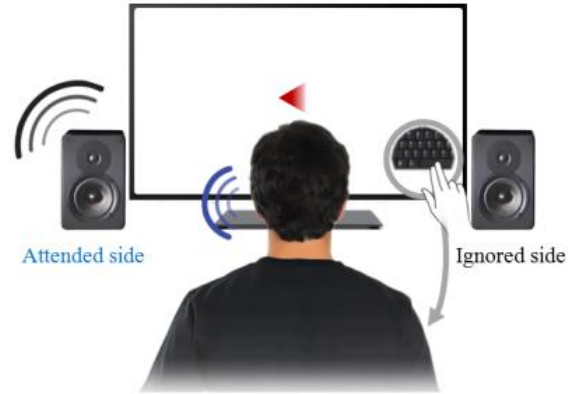


그림 1. 청각 자극을 이용한 선택적 주의 태스크  
Fig. 1. Selective attention task by using auditory stimuli used in the experiment

수 있기 때문에 2D 영상의 시청피로와는 구별된다<sup>[11,20,28,29]</sup>. 또한 2D 콘텐츠를 시청할 때보다 3D 콘텐츠를 시청할 때에 유의미한 차이를 보이는 시각피로 정도가 많은 연구를 통해 일관되게 보고되고 있다<sup>[10,11,13,14]</sup>. 따라서 본 연구는 이러한 점을 고려하여 3D에 보다 종속적인 시각피로를 유발할 수 있는 시청 상황을 가정하기 위해 황야의 부름이라는 3D 콘텐츠를 모바일 디바이스가 제공하는 최대 교차시차로 제시하였다. 그림 2에서 보는바와 같이, 학습효과를 방지하기 위해 사전 트레이닝 세션을 본 실험 전에 다음과 같이 실시하였다. 사전 트레이닝 세션에서는 본 실험에 사용되지 않는 소리 자극들이 제시되었으며 실험참가자의 태스크 수행도(반응정확도와 작업 기억 태스크 정확도)가 80% 이상일 때 본 실험이 시작되었다. 또한 이월효과를 방지하기 위해 사전 트레이닝 세션과 시청 전 청각테스트 사이에 충분한 휴식 기간을 가지게 하였다.

## 2.3. 분석방법

정규성 검정을 위해 SPSS 17.0을 이용해 콜모고로프-스미르노프 테스트(Kolmogorov-Smirnov test)를 실시하여 정규성이 만족하는 경우 ( $p > 0.05$ )에는 대응표본 t-검정을 수행하였으며, 만족하지 않는 경우 ( $p < 0.05$ )에는 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon's matched-pairs signed-ranks test)을 실시하였다. 또한 다중 종속변수(반응시간, 반응 정확도, 작업기억 태스크 정확도)를 동시에 분석할 경우 유발될 수 있는 1종 오류의 증가를 방지하기 위해 본페로니 알파 교정을 적용하여 유의 수준 0.017(0.05/3)에서 검정을 실시하였다. 또한, 3D 피로군을 정량적으로 분류하기 위해 측정된 주관피로도의 경우는 해당 종속변수가 4개의

요인으로 동시에 측정된 결과이므로 유의수준 0.125(0.05/4)에서 통계적 검정이 실시되었다.

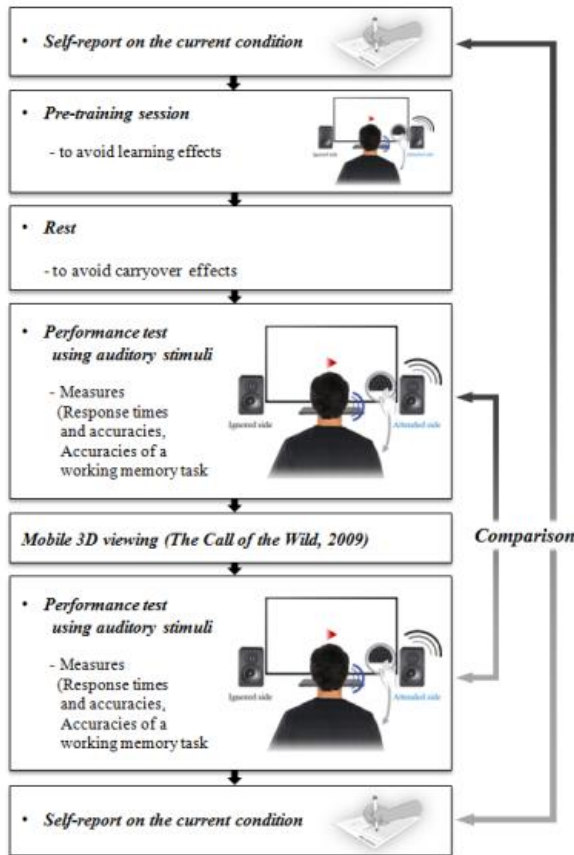


그림 2. 다차원 영상에 의해 유발되는 인지피로를 평가하기 위한 실험 절차  
 Fig. 2. Experimental procedure used to evaluate mental fatigue caused by exposing to multi-view 3D content

### III. 결 과

#### 3.1. 3D 피로군 분류

모바일 3D 콘텐츠에 피로를 느낀 사람(피로군)과 그렇지 않은 사람(비피로군)을 정량적으로 분류하기 위해 실험 시작 전과 후에 각각 Li (2010)가 개발한 3D 시각피로 평가지를 이용하여 자신의 상태에 대해 보고하게 하였다. 해당 3D 시각피로 평가지는 4개의 요인(시각적 스트레스, 안구통증, 신체적 통증, 상호림)으로 구성되어 있으며 각 항목은 내적 타당도를 평가하는 지표인 Cronbach's alpha가 0.7 이상인 하위 항목들과 신뢰성 있는 설문평가를 위한 역문항을 포함하고 있다<sup>[19]</sup>. 모바일 3D 콘텐츠 시청 전후에 해당 평가지를 이용하여 9점 리커트 척도로 자기보고를 각각 받았으며, 전통적으로 두 가지 다른 특성을 정량적

으로 분류할 때 사용되는 실험참가자의 각 요인별 평균의 표준편차의 두 배(2SD)를 분류기준으로 적용하였다. 4개의 요인 중 세 개 이상이 해당 기준을 만족할 경우 피로군(FG, Fatigued Group)으로 그렇지 않을 경우 비피로군(UFG, Unfatigued Group)으로 분류하였다. 그 결과 피로군 9명(P1, P8, P9, P11, P12, P17, P18, P19, P21) 비피로군 12명(P2, P3, P4, P5, P6, P7, P10, P13, P14, P15, P16, P20)으로 분류되었으며, 그룹 별 3D 피로도는 그림 3에서 보는 바와 같다. 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon's matched-pairs signed-ranks test) 결과 비피로군에서는 4개의 시각피로 요인 모두에서 유의미한 차이가 발견되지 않았으나(시각적 스트레스( $Z=-0.357, p=0.386, r=-0.103$ ); 안구통증( $Z=-0.475, p=0.336, r=-0.137$ ); 신체적 통증( $Z=-0.984, p=0.196, r=-0.284$ ); 상호림( $Z=-1.122, p=0.144, r=-0.324$ )) 피로군에서는 3D 시각 피로도를 나타내는 모든 요인이 모바일 3D 콘텐츠 시청 후에 유의하게 증가하였다(시각적 스트레스( $Z=-2.666, p=0.002, r=-0.889$ ); 안구통증( $Z=-2.668, p=0.002, r=-0.889$ ); 신체적 통증( $Z=-2.675, p=0.002, r=-0.892$ ); 상호림( $Z=-2.677, p=0.002, r=-0.892$ )).

#### 3.2. 반응시간, 반응 정확도, 작업기억 태스크 정확도

대응 표본 t-검정 결과, 비피로그룹의 경우 모바일 3D 콘텐츠 시청 전과 비교할 때 시청 후에 태스크 퍼포먼스의 유의미한 변화가 없었으나(반응시간 ( $t(11)=1.695, p=0.118, \text{Cohen's } d=0.490$ ); 반응 정확도( $t(11)=0.268, p=0.794, \text{Cohen's } d=0.078$ ), 피로 그룹의 경우 태스크 퍼포먼스가 유의하게 변화하였다. 반응시간은 그림 4에서 보는 바와 같이 유의하게 증가하였으며 ( $t(8)=-4.059, p=0.002, \text{Cohen's } d=-1.424$ ) 반응 정확도는 그림 5에서 보는 바와 같이 유의하게 감소하였다 ( $t(8)=2.733, p=0.013, \text{Cohen's } d=2.110$ ).

그러나, 그림 6에서 보는바와 같이 작업기억 태스크 정확도(윌콕슨 부호 순위 검정)에서는 피로그룹과 비피로그룹 둘 다에서 유의한 변화가 나타나지 않았다(비피로그룹( $Z=-1.511, p=0.125, r=-0.436$ ); 피로그룹( $Z=-0.171, p=0.500, r=-0.057$ )).

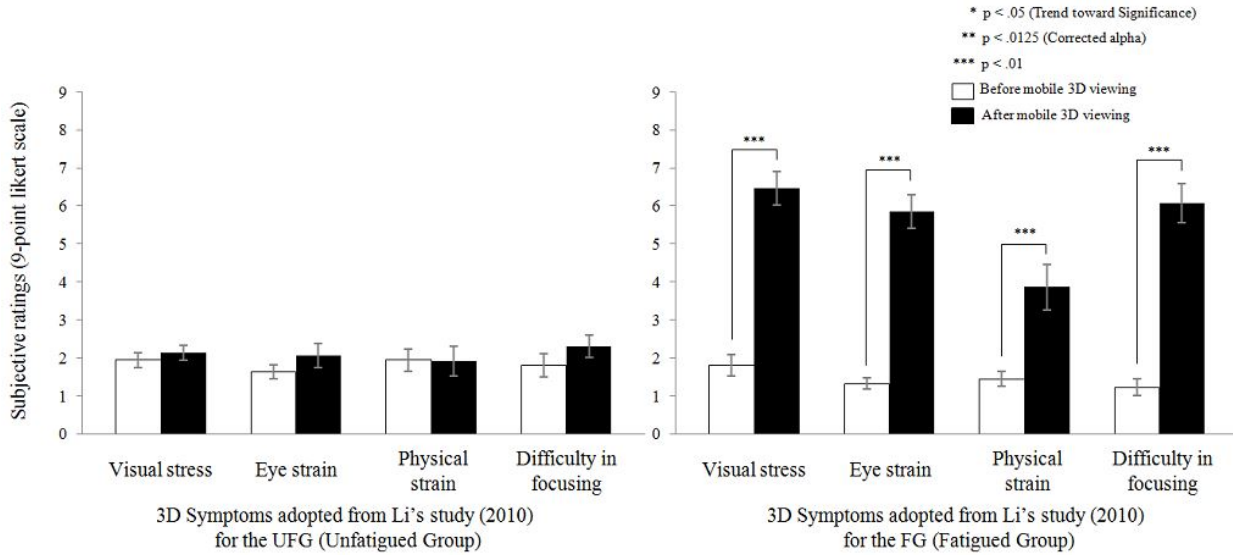


그림 3. 다차원 영상 시청 전후의 비피로군과 피로군의 주관적 시각피로도  
 Fig. 3. Subjective ratings before and after multi-view 3D watching for the unfatigued and fatigued group

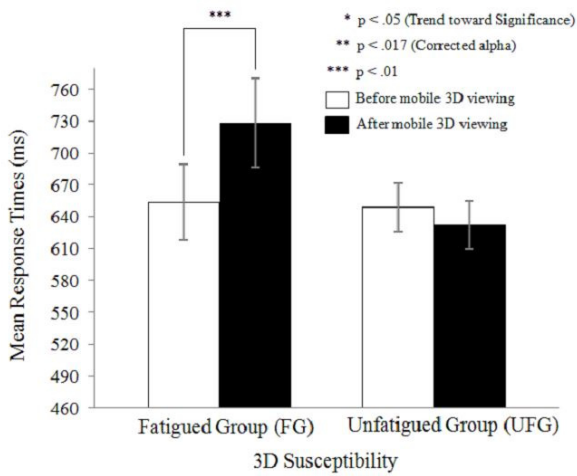


그림 4. 다차원 영상 시청 전후의 피로군과 비피로군의 평균 반응 시간 변화  
 Fig. 4. Mean response times before and after multi-view 3D watching for the fatigued and unfatigued group

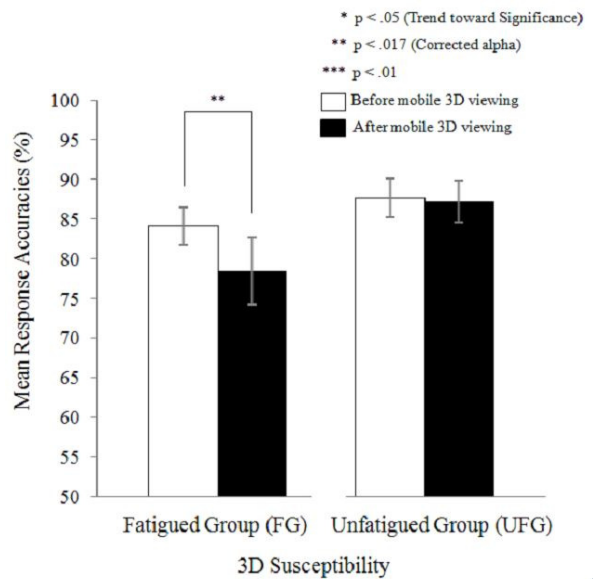


그림 5. 다차원 영상 시청 전후의 피로군과 비피로군의 평균 반응 정확도 변화  
 Fig. 5. Mean response accuracies before and after multi-view 3D watching for the fatigued and unfatigued group

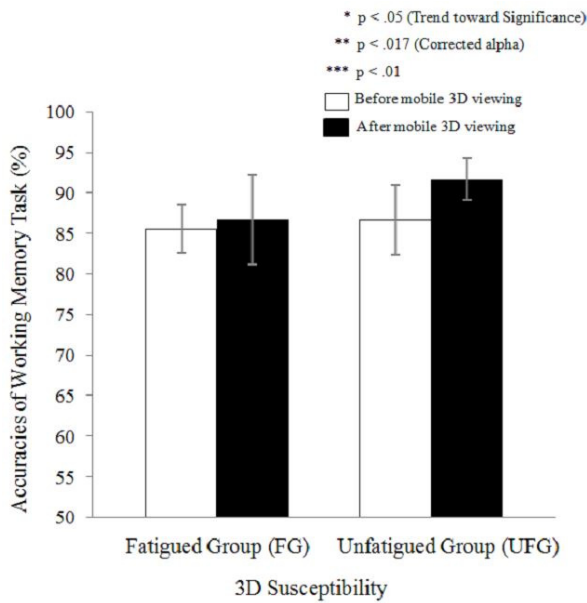


그림 6. 다차원 영상 시청 전후의 피로군과 비피로군의 평균 작업기억 태스크 수행 정확도 변화  
 Fig. 6. Mean accuracies of a working memory task before and after multi-view 3D watching for the fatigued and unfatigued group

#### IV. 토의 및 결론

본 연구는 모바일 3D 콘텐츠 시청 후에 유발될 수 있는 3D 시각피로를 개인차에 근거하여 평가하고, 그 시각피로를 평가하기 위해 주어지는 시각자극들이 추가적인 로드(Load)로 작용할 수 있다는 점을 배제하기 위해 청각자극에 대한 행동적 반응 변화를 모바일 3D 콘텐츠 시청 전후에 측정하였다. 이를 통해 다차원 3D 영상 시각피로를 정량적으로 평가하고자 하였다. 비피로군의 경우에는 모바일 3D 콘텐츠 시청 후에 반응시간과 정확도가 유의하게 변화하지 않았으나 피로군의 경우에는 반응시간이 유의하게 증가하고 반응 정확도도 유의하게 감소하였다. 그러나, 모바일 3D 피로가 작업기억에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

이전 연구결과와 일치하게<sup>[7,8,11,13]</sup>, 본 연구에서도 3D 개인 민감성이 확실하게 나타났으며 피로군 중 일부는 시청을 중단하고 싶을 정도의 3D 시각피로를 호소하였다. 유발뇌파와 행동적 반응을 복합적으로 분석한 Mun 등(2012)의 연구는 Shutter glass 방식의 3D 콘텐츠를 1시간 동안 시청했을 때 실험참가자의 약 40%의 비율에서 유의미한 피로증상이 보였고 그 중 한 명(고위험군)에게서 극심한 3D 피로 증상이 나타

났음을 보고하였다. Lee 등(2011)의 연구에서도 3D 시각피로 관련 대규모 설문조사 참여자 294명 중 36%가 3D 시청 후 피로감을 호소하고 그 중 7%는 심각한 정도의 피로감을 호소한 것을 고려할 때, 본 연구에서 나타난 43%의 피로군 비율은 티비나 대형 디스플레이에 비해 화각이 상대적으로 작은 모바일 3D 시청에 의해 유발되는 시각피로가 더 많은 사람에게서 나타날 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 이는 부적절한 시청자세와 적절히 보정되지 않은 모바일 3D 콘텐츠를 무분별하게 컨버팅후 장시간 시청할 경우 시각피로, 영상떨미 등의 3D 증상이 나타날 수 가능성이 보다 크다는 것을 시사한다. 그러나, 본 연구는 대규모 실험참가자에 대한 연구가 아니고 교차시차가 큰 하나의 모바일 콘텐츠 시청에 국한하고 있으므로 모바일 3D 시청 피로에 대한 추후 연구가 개인 민감성 관점에서 필요하다.

모바일 3D 콘텐츠 시청 후에 피로군에서 반응시간이 유의하게 증가하고 반응 정확도가 유의하게 감소된 것은 반응시간과 반응 정확도가 각기 다른 주의 매커니즘과 연관되어 있음을 보고한 Faber 등(2012)의 연구와 대조적이다. Faber 등(2012)은 정신 피로(Mental fatigue)가 시각체계의 선택적 주의에 미치는 영향을 조사하기 위해 태스크 관련자극과 비관련자극들의 크기를 상대적으로 조절하여 선택적 주의와 정신 피로간의 연관성을 보고하였다. 이들 연구에 따르면, 피로가 심해질수록 비관련 자극을 처리하는데 필요한 시각계의 선택적 주의 매커니즘이 제대로 처리되지 않아 특정 반응에 대한 의사결정이 관련 자극보다 비관련 자극에 더 많은 영향을 받게 된다. 그 결과 반응 정확도만이 유의하게 감소하고 자극을 처리하는 반응시간은 변화가 없게 된다<sup>[24]</sup>. 그러나, 본 연구에서는 반응시간과 반응 정확도 둘 다 유의하게 변화하였다. 이는 이전 연구의 복잡한 시각자극에 대한 태스크 수행 시간이 증가할수록 축적된 피로와 자극의 추가적인 시각적 로드가 복합적으로 작용했을 것으로 판단되며, 본 연구에서 사용된 청각 자극을 처리하는데 필요한 선택적 주의 매커니즘과 시각정보에 의해 처리되는 주의 매커니즘이 피로에 의해 변화되는 것이 각기 다를 수 있음을 시사한다.

작업기억 태스크에 대한 정확도가 피로의 유무와 상관없이 유의미하게 변화되지 않은 것은 모바일 3D 콘텐츠에 의해 유발된 3D 피로가 작업기억을 처리하는데 필요한 인지적 리소스와 관련 신경생리 매커니즘에는 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 모바일 3D 콘텐츠 시청에 의해 유발된 피로가 현실과

다른 부자연스러운 감각 정보가 지속적으로 시각체에 입력되어 선조피질(1차 시각피질)과 선조외피질(2차 시각피질)에 많은 로드가 유발된다는 점에 근거하여 볼 때, 의미기억과 일화기억을 처리하는 측두엽의 해마, 시상과 시상하부, 간뇌 등의 복합적인 상호작용에 의한 고차원적 인지 기능의 근간이 되는 작업기억 용량(Working memory capacity)에 영향을 줄 정도는 아닌 것으로 보이며, 일시적 주의 매커니즘의 손상으로 인한 피로현상의 저하로 판단된다. 그러나, 3D 시각피로가 일시적 피로인지 또는 시각계 매커니즘에 만성적 영향을 줄 가능성이 있는지는 명확히 규명되어 있지 않다. 현재 장기적 관점에서 3D 시각피로에 노출된 사람에 대한 연구는 존재 하지 않기 때문에 3D 피로 자체가 시각계의 형성, 발달 및 처리 매커니즘에 만성적으로 부정적 영향을 미치지 않는다는 증거 또한 존재하지 않는다<sup>16)</sup>. 따라서, 시각피로에 대한 장기적 관점에서의 휴먼팩터 평가 연구가 필요하며 고위험군의 경우 유발된 시각피로가 얼마 동안 지속되는지에 대한 연구 또한 다차원 영상 시청 기기의 상용화가 널리 이루어지기 전에 선행되어야 한다.

본 연구를 통해 모바일 3D 콘텐츠를 적정 시청거리에서 1시간 이상 시청할 경우 일부 사람들에게는 부정적 휴먼팩터인 시각피로 등이 유발될 수 있음이 확인되었으므로 장시간 시청외의 부적절한 모바일 시청(다자 시청, 도보 중 시청 등)은 더 큰 시각 피로를 유발할 것으로 예상된다. 또한 개인의 3D 민감성은 문헌에 비추어 볼 때 개인의 시각계 융합능력에 따라 피로의 유무가 결정되는 것으로 보여지나 이를 정량적으로 3D 시청 이전에 간접적으로 측정할 수 있는 평가 프로토콜에 대한 개발이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 현재 상용화되고 있는 모바일 다차원 영상의 부적절한 이용이 유발할 수 있는 부정적 생체안전성에 대해 가이드라인을 제시할 수 있는 청각적 자극에 의한 시각피로 평가 프로토콜을 제안하여 추가적인 시각적 로드 없이 3D 피로에 유의미한 영향을 미치는 최적 모바일 시청과라미터를 규명할 수 있는 토대를 마련하였다. 본 연구의 결과물은 시청자 친화적인 다차원 영상 모바일 콘텐츠 제작을 촉진하고 관련 산업의 발전에 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 본 연구에서 제안된 휴먼팩터 평가 프로토콜은 초다시점 영상 디스플레이에도 적용이 가능하므로 향후 연구에서는 청각적 매커니즘과 더불어 시각적 매커니즘을 복합적으로 고려하여 초다시점 디스플레이에 대한 휴먼팩터 평가를 수행하고자 한다. 이를 통해, 다시점뿐만 아니라 초다시점 디스플레이 시청이 유발할

수 있는 입체 피로에 대한 주의 매커니즘의 변화를 통합적으로 규명하고자 한다.

## References

- [1] Y. Lee, *The core technology in mobile 3D displays is emotion(2013)*, retrieved July, 22, 2013, from [http://www.zdnet.co.kr/news/news\\_view.asp?article\\_id=20130717082556](http://www.zdnet.co.kr/news/news_view.asp?article_id=20130717082556).
- [2] T. Shibata, J. Kim, D. M. Hoffman and M. S. Banks, "The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays," *J. Vision*, vol. 11, no. 8, article 11, pp. 1 - 29, July 2011.
- [3] T. Kawai, H. Morikawa, K. Ohta, and N. Abe, *Basic 3D image representation : Fundamental principles and 3D production technology*, Sung-an-dang Press, March 2011.
- [4] T. Motoki, S. Yano, and H. Harashima, *Three-dimensional images and human science : 3D human factors*, Jinsaem Press, July 2010.
- [5] S. Jumisko-Pyykko, M. Weitzel, and D. Strohmeier, "Designing for user experience: What to expect from mobile 3D TV and video?," in *Proc. Int. Conf. Designing Interactive User Experiences TV, Video 2008 (UXTV 2008)*, pp. 183-192, California, U.S.A., Oct. 2008.
- [6] M. Lambooi, W. A. Ijsselsteijn, M. F. Fortuin, and I. Heynderickx, "Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review," *J. Imaging Sci. Technol. (JIST)*, vol. 53, no. 3, pp. 1-14, May 2009.
- [7] M. Lambooi, M. Fortuin, W. A. Ijsselsteijn, B. J. Evans and I. Heynderickx, "Susceptibility to visual discomfort of 3-D displays by visual performance measures," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 21, no. 12, pp. 1913-1923, Dec. 2011.
- [8] M. Lambooi, M. F. Fortuin, W. A. Ijsselsteijn, and I. Heynderickx, "Reading performance as screening tool for visual complaints from stereoscopic content," *Displays*, vol. 33, no. 2, pp. 84-90, Apr. 2012.



- [9] M. Lambooi, M. J. Murdoch, W. A. Ijsselsteijn, and I. Heynderickx, "The impact of video characteristics and subtitles on visual comfort of 3D TV," *Displays*, vol. 34, no. 1, pp. 8-16, Jan. 2013.
- [10] H.-C. O. Li, J. Seo, K. Kham, and S. Lee, "Measurement of 3D visual fatigue using event-related potential (ERP): 3D oddball paradigm," in *Proc. 3DTV Conf. 2008*, pp. 213-216, Istanbul, Turkey, May 2008.
- [11] S. Mun, M.-C. Park, S. Park, and M. Whang, "SSVEP and ERP measurement of cognitive fatigue caused by stereoscopic 3D," *Neurosci. Lett.*, vol. 525, no. 2, pp. 89-94, Sep. 2012.
- [12] S. Mun and M. Park, "Evaluation of human factors for the next-generation displays: a review of subjective and objective measurement methods," *J. Ergonomics Soc. Korea*, vol. 32, no. 2, pp. 207-215, Apr. 2013.
- [13] J.-H. Lee and J.-K. Song, "Individual variation in 3D visual fatigue caused by stereoscopic images," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 58, no. 2, pp. 500-504, May 2012.
- [14] Y. Ishigure, S. Suyama, H. Takada, K. Nakazawa, K. J. Hosohata, Y. Takao, and T. Fujikado, "Evaluation of visual fatigue relative in the viewing of a depth-fused 3-D display and 2-D display," in *Proc. 11th Int. Display Workshops 2004 (IDW 2004)*, pp. 1627-1630, Niigata, Japan, Dec. 2004.
- [15] S. Mun, M.-C. Park, and S. Yano, "Performance comparison of a SSVEP BCI task by individual stereoscopic 3D susceptibility," *Int. J. Human-Comput. Interaction (IJHCI)*, vol. 29, no. 12, pp. 789-797, Sep. 2013.
- [16] W.-Y. Kim, Y.-H. Seo, and D.-W. Kim, "Analysis of stereo 3D content factors causing viewer's discomfort," *J. Korea Inform. Commun. Soc. (KICS)*, vol. 37c, no. 10, pp. 870-887, Oct. 2012.
- [17] R. Patterson, "Human factors of 3D displays," *J. Soc. Inform. Display*, vol. 15, no. 11, pp. 861-871, Nov. 2007.
- [18] E. C. Lee, H. Heo, and K.R. Park, "The comparative measurements of eyestrain caused by 2D and 3D displays," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 3, pp. 1677-1683, Aug. 2010.
- [19] H.-C. O. Li, "Human factor research on the measurement of subjective three dimensional fatigue," *J. Broadcast Engineering*, vol. 15, no. 5, pp. 607-616, Sep. 2010.
- [20] S. Park, M. Whang, J. Kim, S. Mun, and S. Ahn, "Autonomic nervous system response affected by 3D visual fatigue evoked during watching 3D TV," *Korean J. Sci. Emotion Sensibility*, vol. 14, no. 4, pp. 653-662, Dec. 2011.
- [21] W. J. Tam, F. Speranza, S. Yano, K. Shimono, and H. Ono, "Stereoscopic 3D-TV: visual comfort," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 57, no. 2, pp. 335-346, June 2011.
- [22] 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, no. 4, pp. 191-201, Sep. 2002.
- [23] T. F. Meijman, "Mental fatigue and the efficiency of information processing in relation to work times," *Int. J. Ind. Ergonomics*, vol. 20, no. 1, pp. 31 - 38, July 1997.
- [24] L. G. Faber, N. M. Mauritsm, and M. M Lorist, "Mental fatigue affects visual selective attention," *PLOS ONE*, vol. 7, no. 10, article e48073, pp. 1-10, Oct. 2012.
- [25] H. Bokura, S. Yamaguchi, and S. Kobayashi, "Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/NoGo task," *Clinical Neurophysiology*, vol. 112, no. 12, pp. 2224-2232, Dec. 2001.
- [26] M. Fabiani, V. A. Kazmerski, Y. M. Cykowicz, and D. Friedman, "Naming norms for brief environmental sounds: effects of age and dementia," *Psychophysiology*, vol. 33, no. 4, pp. 462 - 475, July 1996.
- [27] M. W. Miller, J. C. Rietschel, C. G. McDonald, and B. D. Hatfield, "A novel approach to the physiological measurement of mental workload," *Int. J. Psychophysiology*,

vol. 80, no. 1, pp. 75-78, Apr. 2011.

- [28] M. J. Nichols and W. T. Newsome, "The neurobiology of cognition," *Nature*, vol. 402, no. 2, pp. C35-C38, Dec. 1999.
- [29] N. Pouratian, S. A. Sheth, N. A. Martin, and A. W. "Toga, shedding light on brain mapping: advances in human optical imaging," *Trends Neurosci.*, vol. 26, no. 5, pp. 277-282, May 2003.

**문 성 철 (Sungchul Mun)**



2005년 8월 한성대학교 산업공학과 졸업  
2012년 2월 상명대학교 감성공학과 석사  
2012년 3월~현재 한국과학기술연구원 UST HCI 및 로봇응용공학과 박사과정

<관심분야> 뉴로사이언스, HCI, 휴먼팩터 평가, 다차원 디스플레이

**조 성 진 (Sungjin Cho)**



2012년 2월 광운대학교 컴퓨터공학과 졸업  
2012년 3월~현재 고려대학교 전기전자전파 공학과 석사과정  
<관심분야> 3D 디스플레이, 홀로그래피, 신호처리

**박 민 철 (Min-Chul Park)**



1993년 2월 홍익대학교 전자공학 학사  
1997년 3월 동경대학교 전자정보공학 석사  
2000년 3월 동경대학교 전자정보공학 박사  
2005년 10월 동경이과대학 초

청 교수

2009년 9월 쉐컴연구소 방문연구원  
2001년 6월~현재 한국과학기술연구원 센서시스템 연구센터 책임연구원  
<관심분야> 3D 디스플레이 및 영상처리, 휴먼팩터