

## 저비용 안구운동추적 장치의 개발과 타당화\*

손 영 준                      이 상 일                      광 호 완†

경북대학교 심리학과

본 연구에서는 고가의 상용화 기기를 대신할 수 있는 보급형 안구운동추적 장치를 개발하는 과정을 소개하고, 개발된 장치의 타당성을 검토하였다. 연구 1에서는 저가형 웹 카메라, 적외선 조명, 및 컴퓨터로 구성된 안구운동추적 장치를 설치하는 과정을 기술하고, 보정과정을 거친 후 예시 디지털 이미지를 참가자에게 제시하여 안구운동 패턴을 알아보았다. 연구 2에서는 Levin과 Simons(1997)의 변화맹시 연구를 반복검증하기 위해 변화단서의 제시 유무를 조작하여 안구운동추적 자료를 수집하였다. 실험 결과, 변화단서 제시조건이 비 제시조건에 비해 평균 응시점 개수가 92% 많아졌고, 최대 응시시간은 58% 짧아졌음을 관찰할 수 있었다. 마지막으로, 저비용 안구운동추적 장치의 제한점과 향후 개선방향에 대해서 논의하였다.

주요어 : 안구운동, 안구운동추적 장치, 변화맹시

---

\* 본 논문은 2009년도 경북대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

† 교신저자 : 광호완, 경북대학교 심리학과, (702-701) 대구광역시 북구 산격동 1370  
E-mail : kwak@knu.ac.kr

안구운동 추적(eye-tracking)은 개인이 과제를 수행하는 동안에 나타나는 시각적 행동 및 인간의 주의와 관련한 연구에서 빈번히 사용되어졌다(Winfield, Babcock, Derrick, & Parkhurst, 2005). 안구운동 추적은 다른 측정방법들(예를 들어, EEG, fMRI 등)에 비해 비침습적 방법이라는 장점을 지닌다(이운형, 2009). 하지만 안구운동 추적 기기들은 대부분 미국, 유럽 회사들에 의해 상업적으로 개발되고 있으며 자체 개발 소프트웨어 등과 같은 고유 기술을 이유로 매우 높은 가격대를 형성하고 있다. 이러한 높은 가격대는 심리학분야의 연구자들이 구입하여 사용하는데 가장 큰 걸림돌이 되고 있고, 비공개된 소스를 사용하는 고유 소프트웨어로 인해 다양한 실험상황에서의 실시간 안구추적을 어렵게 하는 점이 있다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하여 저비용으로 구축가능하고 유연한 안구추적 실험을 가능하게 하는 방안을 모색하고자 하였다.

2000년 중후반에 걸쳐 개인 컴퓨터의 비약적인 하드웨어 성능향상과 더불어 USB기반 CMOS 카메라의 고성능, 소형화가 이루어지면서 안구운동 추적 기기의 수제제작 기반이 마련되었다. 더불어 소프트웨어적으로 Intel사의 OpenCV<sup>1)</sup>가 오픈소스<sup>2)</sup>로 공개되었다. 이전에

는 이미지 처리에 필요한 기능들<sup>3)</sup>을 일일이 개발해야 했지만 OpenCV가 공개됨으로써 이미지 처리에 중요한 대부분의 라이브러리를 손쉽게 가져다 쓸 수 있게 되어 범용 컴퓨터를 이용한 이미지 처리에 개발에 중요한 기반이 되었다. 현재 개발되는 범용 컴퓨터기반 이미지처리 소프트웨어는 대부분은 OpenCV 라이브러리를 기반으로 개발되어지고 있다.

이러한 기반을 통해 HCI(Human Computer Interaction)에 관련된 공학도들은 안구운동추적 기기를 직접 개발하고 관련 소프트웨어와 기 제작 방법을 공개하기 시작하였다. 안구운동 추적에 관련된 알고리즘은 조금씩 다르지만 이들 소프트웨어의 공통점은 OpenCV를 이용한 오픈소스와 높은 완성도이다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 심리학의 실험에는 사용하기 힘이 든다. 그 이유는 공학도들의 안구운동추적 기기 개발목적이 심리학도들의 목적과 상이하기 때문이다. 안구운동 추적 기기의 개발에서 공학도의 첫째 목표는 실시간(real-time)으로 안구에서 동공만을 정확히 찾아내고, 그것을 컴퓨터 디스플레이에 정확히 맵핑(mapping)하는 것이다. 둘째는 그러한 기술들이 인간 심리의 기제를 밝히는데 목적이 있는 것이 아니다. 중증 운동신경 세포병, 루게릭병 환자들과 같이 안구 외에는 움직임이 제한되는 사람들의 의사소통을 돕는 것과 같이 인간과 컴퓨터 간의 상호작용<sup>4)</sup>을 향상시키는 것에

는다.

- 1) OpenCV(Open Computer Vision)은 오픈소스 컴퓨터 비전 C 라이브러리이다. 원래 인텔에서 개발되었다. 현재 버전 2.0이 나와 있으며 윈도우즈, 리눅스 플랫폼에서 사용할 수 있다. 실시간 이미지 프로세싱에 중점을 둔 라이브러리이다.
- 2) 오픈 소스(open source)는 소프트웨어 혹은 하드웨어의 제작자의 권리를 지키면서 원시 코드를 누구나 열람할 수 있도록 한 소프트웨어 혹은 오픈 소스 라이선스에 준하는 모든 통칭을 일컫

- 3) Image Filter, Feature Detection, Motion Analysis, Object Tracking, Object Detection, Camera Calibration 등이 있다.
- 4) 예를 들어 Eye-mouse, Eye-typing 등이 있다.



그림 1. 실험실 환경

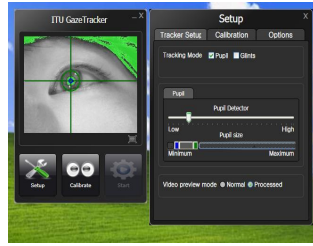


그림 2. Gaze Tracker



그림 3. 보정화면

있다.

공학, HCI분야의 목적 또는 목표와는 달리 심리학에서는 안구운동을 측정하고 데이터를 수집하는 것이 가장 큰 목표이다. 안구운동 추적에 대한 데이터는 심리학 전반에 걸쳐 중요한 생리적 근거가 될 수 있기 때문이다. 예를 들어 시지각 연구에서는 안구운동을 측정함으로써 시각주의 과정을 추적할 수 있고, 언어연구에서는 단어읽기 과정을 세밀히 분석할 수 있다. 또한 정서연구에서는 안구운동 추적과 더불어 동공의 크기를 측정함으로써 정서변화에 대해 추가적인 생리적 근거를 얻을 수 있을 것이다. 안구운동 측정에 대한 이러한 장점에도 불구하고 심리학에서 안구운동 추적 장치가 제한적으로 사용되는 가장 큰 이유는 앞서 언급했듯이 가격의 장벽 때문이다. 본 연구에서는 이러한 가격의 장벽을 허물고자 해외 연구 결과들을 바탕으로 저비용 안구운동추적 장치의 개발과정을 소개하고 이를 이용하여 장치의 타당성 및 심리학적 실험에서의 사용 가능성을 확인하고자하였다.

### 연구 1. 저비용 안구운동추적 장치의 설치와 보정(calibration)

## 방 법

### 제작 도구

**하드웨어.** 연구에 사용한 안구운동추적 장치의 하드웨어는 USB 웹 카메라, 적외선 조명, PC, 턱 받침대로 크게 나누어진다(그림 1). USB 웹 카메라는 Microsoft 사의 모델 VX-1000을 사용하였다. 이 웹 카메라는 30만 화소 CMOS 이미지 센서를 사용하고 최대 동영상 해상도 640 × 480을 지원하는 동종 중에서 가장 저가에 속하는 것이다. 적외선 조명은 야간 CCTV 촬영용 보조 조명을 구입하여 사용하였다<sup>5)</sup>. 다음으로 PC의 경우 본 연구에서 사용한 안구운동추적 장치를 사용하기 위해서 몇 가지 조건이 갖춰져야 한다. 첫째로 CPU가 멀티코어(Multi-Core)<sup>6)</sup>이어야 한다. 왜냐하면 실

- 5) 적외선 조명은 안구에서 동공만을 탐지하기 위해 필수인데, 이를 구현하는 방법으로 고성능 적외선 LED와 만능기판, 전원 어댑터를 구입하여 직접 제작하는 방법과 본 연구에서 사용한 것과 같이 야간 CCTV 촬영 보조용 조명을 구입하여 사용하는 방법이 있다.
- 6) 멀티 코어(multi-core) CPU는 두 개 이상의 독립 코어를 단일 집적 회로로 이루어진 하나의 패키지로 통합한 것이다. 칩 레벨 멀티프로세서(CMP)라고도 한다.

시간으로 안구운동을 추적하기 위해 많은 CPU 자원을 필요로 하고, 안구운동 추적의 시각화 된 자료를 실시간으로 녹화하기 위해 추가적인 소프트웨어를 구동하기 위해서이다. 둘째로 비디오카드가 듀얼 모니터(Dual-Monitor)<sup>7)</sup>를 지원해야 하고, 두 대의 모니터가 필요하다. 하나의 모니터에 자극을 제시하고 다른 하나의 모니터에서 실험자가 안구운동 추적 소프트웨어의 세팅을 하고 안구운동 추적의 결과를 실시간으로 모니터링 하기 위해서이다. 마지막으로 턱 받침대는 실험 참가자의 턱과 머리 움직임을 방지할 수 있는 것이라면 어떤 것을 사용하여도 무방하다<sup>8)</sup>.

특별한 개조가 불필요해야 하는 것이 본 연구의 중점 중에 하나지만, 웹 카메라에서 편광필터를 제거하는 일은 필수적인 작업이다. 일반적으로 카메라 렌즈에는 가시광선 외에 적외선과 자외선을 필터링하는 편광필터를 포함하고 있다. 웹 카메라도 예외가 아니며, 이 편광필터를 제거 하지 않으면 카메라 렌즈에서 적외선을 차단하므로 적외선 조명을 안구에 쬐어도 동공만을 탐지할 수 없다. 편광필터를 제거하는 방법은 아주 간단하다. 작은 드라이버로 웹 카메라를 분리하고 렌즈의 마지막 부분에 따로 달려있는 얇은 유리조각 같은 것을 떼어내고 다시 조립하면 된다.

7) 듀얼모니터(Dual-Monitor)는 한 대의 컴퓨터 시스템에서 실행되는 컴퓨터 프로그램의 작업 영역을 넓히기 위해 사용된다. 마이크로소프트는 이러한 설정을 “생산성 개선을 위한 가장 좋은 방법들 가운데 하나”라고 적시해 놓았다.

8) 턱 받침대가 준비되어 있지 않다면 왼손과 팔꿈치를 이용하여 턱을 고정시키는 방법을 통하여 머리움직임을 최소화할 수 있다.

**소프트웨어.** 본 연구에서 사용된 소프트웨어는 크게 두 가지로 안구운동을 추적하는 프로그램과 안구운동의 데이터를 수집하는 프로그램을 각각 사용하였다. 안구운동추적 소프트웨어는 Copenhagen IT 대학에서 공개한 ITU Gaze Tracker<sup>9)</sup>를 사용하였다(그림 2). 이 소프트웨어의 대략적인 알고리즘은 카메라에서 들어온 이미지에서 눈의 특징, 즉 동공을 탐지하고 탐지한 동공을 기반으로 눈의 응시를 추정한다(Li, Winfield, & Parkhurst, 2005; Li & Parkhurst, 2006). 그리고 추정한 응시로 눈의 움직임을 탐지한다. 그리고 소프트웨어의 자체 보정(calibration) 프로그램을 통해서 동공 중심와의 위치와 모니터상의 X축, Y축 좌표를 일치시키는 과정을 거치게 된다(그림 3). 이때 일정 수준 이상의 보정 점수를 얻은 경우에만 실험을 시작할 수 있다. 보정이 끝난 후에는 화면에 16개의 보정점들과 얻어진 점수, 그리고 실험 참가자의 시선이 눈-마우스(Eye-mouse) 방식으로 나타나 보정의 정확도와 오차 정도의 여부를 확인할 수 있어 재보정(recalibration) 여부를 결정할 수 있다. 안구운동 데이터 수집 소프트웨어는 Tampere 대학에서 공개한 ETU-Driver<sup>10)</sup>를 사용하였다. 이 소프트웨어는 ITU GazeTracker에서 실시간으로 전송되는 데이터를 기반으로 안구고정 시간에 따른 응시점(Fixation point)을 기록해주며 설정을 통해서 응시점의 크기 및 업데이트 시간, 화면해상도 등을 실험 조건에 맞게 조절할 수 있도록 되어 있다.

9) <http://www.gazegroup.org/downloads/23-gazetracker>

10) <http://www.cs.uta.fi/~oleg/downloads.html#etud>



그림 4. 실험실 하드웨어 배치 도해

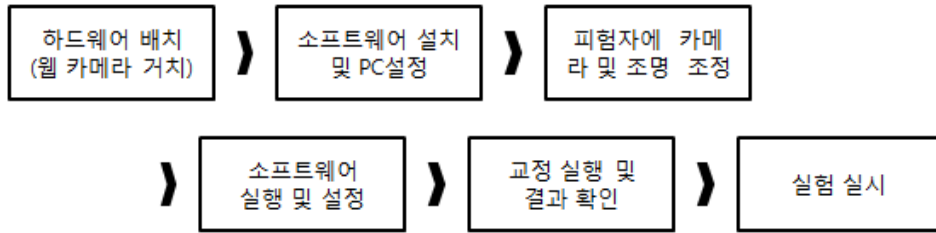


그림 5. 안구추적기 설치과정

### 준비 절차 및 고려점들

**준비 절차.** 실험을 실시하기 위한 과정은 그림 5와 같다. 우선 그림 4와 같은 방식으로 PC와 모니터 등을 배치한다. 그 후 편광필터를 제거한 웹 카메라를 턱 받침대에 거치한다. 각 실험 참가자의 눈의 높이나 위치가 다르므로 카메라의 높낮이와 각도를 조절할 수 있도록 거치해야 한다. 두 개의 모니터 중 실험자의 모니터가 주 모니터가 되고 자극제시 모니터를 부 모니터로 설정한다. 그 후 실험 참가자의 턱을 받침대에 고정 시킨 후 참가자의 눈(양안 중 어디라도 무관, 본 연구에서는 좌안)의 정면에서 약 20도 아래에서 동공을 올려다 찍을 수 있는 위치에 웹 카메라를 고정시킨다. 카메라에 찍히는 화상 중앙에 동공이 위치하는 것이 가장 좋다. 적외선 조명은 적외선이 웹 카메라나 다른 사물에 가리지 않는 위치에서 눈을 향하게 놓는다.

ITU GazeTracker를 실행시킨다. 그림 2와 같이 화면 중심부에 동공이 오도록 한다. 눈을 깜빡이거나 눈동자를 움직이더라도 동공을 놓치지 않도록 Setup모드에서 Pupil Detector, Pupil Size Range를 참가자에 맞게 조절한다. 보정 프로그램을 실행한다. 실험자는 모니터에 무선적으로 제시되는 16개의 점들을 응시하도록 지시한다. 보정 결과를 확인한 후 재보정 혹은 실험 진행 여부를 결정한다<sup>11)</sup>.

**고려해야 할 점.** 본 장치를 활용하고 정확도를 높이는데 대표적으로 고려해야 할 점은 표 1과 같다. 우선 웹 카메라와 안구와의 거리이다. 연구에 사용된 웹 카메라는 줌(zoom) 기능이 없다. 따라서 적어도 20cm 이내의 거리에서 촬영해야 한다. 거리가 멀어지면 촬영

11) 통상 별 표시 \*가 4-5개가 되면 성공적인 보정 결과로 간주한다.

표 1. 저비용 안구운동추적 장치 사용상 고려점들

고려점	영향
웹 카메라와 안구와의 거리	동공 탐지 정확도 저하 및 불편감 유발
실험 참가자와 모니터와의 거리	안구추적 정확도에 영향을 미침
실험 참가자의 얼굴 움직임	보정 값이 흐트러짐
참가자 특성(미용 콘택트렌즈)	동공 탐지 불가

된 동공의 크기가 작아져 동공 탐지 정확도가 떨어진다. 반면 너무 가까우면 화면이 부분적으로 가려지거나 실험 참가자가 불편감을 느낄 수가 있다. 다음으로 실험 참가자와 모니터와의 거리이다. 상용 안구운동추적 장치를 사용한 연구들에서는 60cm 정도의 거리를 두었다. 본 연구에서도 60cm의 거리를 두었으나 탐지 정확도의 저하 및 본 장치의 특성과 맞지 않는다고 판단하여 최종 40cm로 수정하였다. 수정 후 정확도에서 현저한 증가를 확인할 수 있었다. 실험 도중 참가자가 턱이나 머리를 움직이는 경우가 있다. 이 경우 보정 프로그램의 값이 흐트러져 결과에 영향을 준다. 이러한 점을 보완하고자 본 연구에서는 턱 받침대를 사용하였다.

### 자극 이미지를 이용한 공간해상도 검증

#### 방 법

**연구대상** 대구시 소재 경북대학교 심리학과에 재학 중인 학생 한 명이 연구에 참여하였다.

**도구** 안구운동추적 장치는 본 연구에서 개발한 기기를 사용하였다. 실험에 사용된 PC

의 CPU는 AMD 사의 모델명 Athlon64 x2 5600+이며 비디오 카드는 ATI 사의 모델명 RADEON HD3850이다. 모니터는 총 두 대를 사용하였는데, 실험모니터링용으로는 HP 사의 17" LCD모니터인 모델명 L1706이 사용되었고, 실험 참가자에게 자극을 제시하는 모니터는 LG 사의 CRT모니터인 모델명 Flatron 775FT+를 사용하였다. 안구운동추적 소프트웨어는 서론에서 언급한 ITU GazeTracker와 ETU-Driver를 사용하였다. 자극제시에는 Microsoft 사의 PowerPoint 2007를 사용하였다.

**자극** 공간해상도 검증을 위한 자극으로 그림 6의 5x5 배열의 자극 및 여성 모델의 얼굴을 컴퓨터 그래픽 작업을 통해 디지털 이미지화한 것(그림 8)을 사용하였다.

#### 결 과

안구추적기를 이용한 안구 응시패턴은 그림 7 및 그림 9와 같다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 참가자의 응시패턴이 25개의 점에 밀집되어 있었다. 그리고 그실험 참가자는 제시된 자극의 눈, 코, 입 및 귀에 주로 응시한 것을 확인할 수 있었다(그림 9).

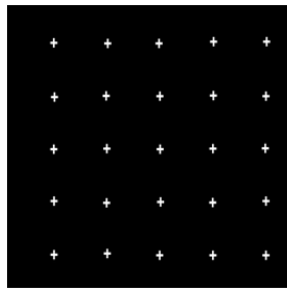


그림 6. 공간해상도 검증용 디지털 이미지

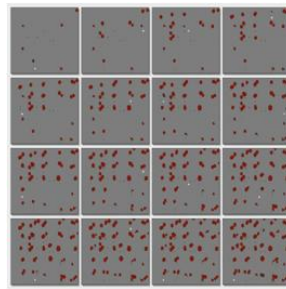


그림 7. 시간경과에 따른 응시패턴



그림 8. 디지털 이미지



그림 9. 디지털 이미지 응시 결과\*

\* 실험 결과 동영상 인터넷 링크  
<http://w3.knu.ac.kr/~jun/FACE.wmv>

## 연구 2. 변화맹시 과제에서 단서 제시 유무에 따른 안구운동패턴의 차이

본 실험에서는 Levin과 Simons(1997)의 변화맹시 실험결과를 반복검증하고 실험과정에서 측정된 안구운동 패턴을 분석하여 본 연구에서 개발된 안구운동 추적기의 타당성을 검토하고자 하였다. 구체적으로, 변화단서 비제시 조건에서 실험 참가자가 가장 많은 정보를 포함하는 영역인 얼굴에 많이 응시하는 경향을 보이는지, 변화단서 제시 조건에서 실험 참가자의 주의를 얼마나 분산되고 변화에 얼마나 응시하는지 안구운동 패턴을 통해 확인해보았

다. 즉, 변화에 대한 단서가 실험 참가자의 안구운동 패턴에 차이를 주는지 안구운동추적 장치를 통해 확인하였다.

### 방 법

**실험 참가자** 대구시 소재 경북대학교 심리학과에 재학 중인 학생들 중 간단한 인터뷰를 통해서 실험에 동의를 한 사람들을 대상으로 실시하였다. 총 8명의 실험 참가자를 대상으로 실험을 실시하였다.

### 도구

**안구운동측정 장치.** 연구 1과 같다. 자극의 제시는 Windows Media Player를 통해 제시하였다.

**자극.** 실험 참가자들에게 제시된 자극은 Viscog productions사에서 제작한 Surprising studies of visual awareness DVD 중 Levin과 Simons(1997)가 사용한 영상인 'Surprising party'를 사용하였다(그림 9). 이 영상은 약 35초 정도의 길이로 두 여인 간의 짧은 대화를 보여주는 내용이며 대화 도중 카메라의 시점이 총 5번 변한다. 카메라 시점의 변화에 따라 '대상이나 몸짓 또는 의상'에서 아홉 가지의 변화가 나타나게 된다.

**실험 절차** 실험은 Levin과 Simons(1997)의 연구와 동일하게 두 가지 조건으로 실시되었다. 변화단서 비제시 조건에서는 아무런 단서 없이 영상을 주의 깊게 보도록 지시하였다. 변화단서 제시 조건에서는 카메라의 시점이 변화함에 따라 '대상이나 몸짓 또는 의상'에서 변화가 있을 것이라고 단서를 주고 영상을 보도록 하였다. 변화단서 제시 조건에서 실험 참가자들은 영상을 끝나면 다른 방으로 이동하였다. 실험자는 영상에서 '이상한 점'이 있으면 보고하라는 질문을 하였다. 질의응답이 끝난 후, 다시 실험실로 이동하여 변화단서 제시 조건에서 실험 참가들에게 영상을 보여주었다. 즉, 실험 참가자는 영상에서 '대상이나 몸짓 또는 의상'의 변화에 대한 단서를 받고 영상을 보았다. 영상이 끝나면 다시 다른 방으로 이동하였다. 실험자는 영상에서 '변화한 것'을 보고하라는 질문을 하였다.

## 결과 및 논의

**선행연구와의 변화탐지율 비교** Levin과 Simons(1997)의 실험에서 변화단서 비 제시조건에서 10명의 실험 참가자 중 단 한명의 실험 참가자만이 하나의 변화를 탐지해냈다. 즉, 총 90개의 표적 중 89개의 표적을 탐지하지 못했다. 본 연구에서는 8명의 실험 참가자 모두가 변화에 대해서 전혀 탐지하지 못하였다.

Levin과 Simons(1997)의 실험에서 변화단서 제시조건인 경우 실험 참가자들은 9개의 변화들 중 평균 2개의 변화를 보고하였으나, 본 연구에서는 평균 1개에 미치지 못하는 0.82개의 변화를 탐지하였다고 보고하였다. 가장 많이 탐지한 표적은 선행연구의 실험과 마찬가지로 '스카프가 나타남'이었다(그림 8). 이는 참가자들이 자극들에 전적으로 주의를 기울임에도 불구하고 변화탐지에 실패하는 변화맹시를 보여주는 결과이다. 결국, 실험의 결과는 Levin과 Simons(1997)의 결과를 반복 검증하였다.

**변화 단서 유무에 따른 안구운동패턴의 차이** 실험 참가자들의 안구운동이 기록된 동영상과 RAW 데이터<sup>12)</sup>를 통해 변화단서 제시 유무에 따른 안구운동패턴의 차이를 살펴보았다. 동영상을 프레임 단위로 나누어 프레임 당 기록된 응시점의 개수에 시간을 곱하여 분석하였다. 안구운동 추적을 30Hz로 하였기 때문에 측정 가능한 최소 응시 시간은 약 33.3ms가

12) 본 장치에서 제공되는 RAW 데이터는 안구운동 추적 시간(msec), Gaze event, 디스플레이 상에서 응시점의 X, Y축 좌표값 등이 있다.



된다. 예를 들어, 30프레임 동안 특정 표적에 응시점이 유지 되었다면  $30 \times 33.3$ 으로 그 표적에 대한 응시 시간은 1초가 된다. 이러한 공식으로 변화단서 제시 조건에서 실험 참가자들의 안구운동 영상을 분석하여 표적에 대한 평균 응시 시간을 계산하였다. 표적에 대한 평균 응시 시간은 변화를 탐지하였다고 보고한 것에 대한 응시 시간과 변화를 탐지하지 못하였지만 응시한 시간 각각을 구하였다.

변화단서 비 제시조건에서 실험참가자들은

영상 내 화자의 얼굴 부근을 가장 많이 응시한 것을 확인할 수 있었다(그림 10). 이러한 결과는 가장 많은 정보를 포함하는 영역, 즉 얼굴을 가장 많이 응시하는 경향을 시사한다.

변화단서 제시조건에서 실험참가자들의 응시점은 자극 전체에 걸쳐 분포된 것을 확인할 수 있었다(그림 11). 이러한 결과는 첫째, 실험참가자들이 변화를 탐지하려고 시각 표집(visual sampling)을 수행한 것을 나타낸다. 둘째, 실험 참가자들의 주의를 분산되었음을 나타낸



- 표적1. 오른쪽 여자(A)의 스카프가 없어짐.
- 표적2. 오른쪽 여자(A)의 스카프가 나타남.
- 표적3. 왼쪽 여자(B)의 손이 턱에 괴어짐.
- 표적4. 접시의 색이 빨간색에서 흰색으로 변함.
- 표적5. 왼쪽 여자(B)가 테이블 위에서 팔짱을 낀.
- 표적6. 접시 색이 다시 붉은 색으로 바뀜.
- 표적7. 오른쪽 여자(A)의 오른손이 허벅지 위로 이동.
- 표적8. 오른쪽 여자(A)의 접시에 있던 음식이 왼쪽 여자(B)의 접시로 이동.
- 표적9. 왼쪽 여자(B)의 오른손이 테이블 위로 올라감.

그림 10. 실험에서 변화 단서 제시 후 각 표적들의 탐지 빈도



그림 11. 실험 참가자들이 본 실험 자극



그림 12. 변화단서 제시를 받지 않는 조건에서 실험 참가자의 응시점



그림 13. 변화단서 제시를 받은 조건에서 실험 참가자의 응시점

주. 실험 결과 동영상 인터넷 링크

변화단서 제시조건 1: <http://w3.knu.ac.kr/~jun/exp1.wmv>

변화단서 비제시조건 2: <http://w3.knu.ac.kr/~jun/exp2.wmv>

표 2. 실험의 변화단서 제시 유무에 따른 참가자들의 안구운동 자료

	평균 응시점 개수 (N)	최장 응시 평균시간 (msec)	표적에 대한 평균 응시 시간* (msec)	
			표적 탐지	표적 비탐지
변화단서 비제시	38(2.04)**	4237(354.70)	-	-
변화단서 제시	73(4.50)	1767(354.16)	2835(760.32)	1054(139.27)

\* 변화단서 비제시 조건에서는 표적단서가 없으므로 표적에 대한 응시시간 측정이 없음.

\*\* 0안은 표준오차.

다. RAW 데이터 분석결과에서도 응시점 개수가 변화단서 비제시 조건에서는 평균 38개였고, 변화단서 제시 조건에서는 73개로 약 92%가 증가하였다(표 2). 응시점 개수의 증가하면 최대 주시 시간이 짧아질 것을 예측할 수 있다. 영상 분석결과 최대 주시 시간이 변화단서 비제시 조건에서는 평균 4237ms였고, 변화단서 제시 조건에서는 1767ms로 약 58%가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 더불어 변화단서 제시 조건에서 실험 참가자들은 보고하지 못한 변화에도 응시를 하였음을 확인할 수 있었다. 그 응시 시간은 평균 1054ms였다. 이러한 결과는 실험 참가자들은 평균 약 1초간 표적을 응시하였지만 그 변화를 자각하지 못한 것을 시사하며, 한 장면에서 모든 물체와 특성을 완전히 처리하지 못하거나 또는 충분히 더 긴 시간이 필요함을 의미한다.

### 종합 논의

본 논문에서는 저비용의 안구운동추적 장치에 대한 개발과정을 소개하고 장치의 타당성을 확인하기 위해 단일 참가자를 대상으로 한 연구와 다수의 참가자를 대상으로 한 실험을

실시하였다. 연구 1에서는 저비용 안구운동추적 장치의 개발과정 및 고려점들에 대해서 알아보고, 개발된 장치의 공간해상도를 확인하였다. 결과, 25개의 응시점에 참가자의 안구운동이 밀집되어 있음을 확인하였고, 여성의 얼굴을 디지털 이미지화한 자극을 사용하여 실험 참가자의 안구운동패턴을 살펴보았을 때, 일반적으로 가장 많은 정보를 얻을 수 있는 눈과 코, 입을 가장 많이 응시한 것을 본 안구운동추적 장치를 통해 확인할 수 있었다. 연구 2에서 Levin과 Simons(1997)의 변화맹시 과제에 대한 반복검증 결과, 변화 단서 제시 유무에 따른 안구운동패턴의 차이를 확인할 수 있었다. 변화단서 비제시 조건에서는 인간의 전형적인 안구운동패턴을 확인할 수 있었다. 변화단서 제시 조건에서는 단서가 주어짐에 따라 주의가 분산됨을 확인할 수 있었다. 이와 같은 연구와 실험들을 통해서 본 장치의 타당성과 심리학적 연구에서의 유용성을 확인할 수 있었다.

본 장치는 개선해야할 점들이 있다. 첫째, 실험 참가자가 보정 이후 몸을 움직이거나, 턱을 이동하는 경우에 안구 움직임과 모니터의 응시점이 틀어져 버려서 실험을 계속 진행

할 수 없게 된다. 이러한 문제는 머리의 움직임과 동시에 계산하여 보정하는 방법으로 해결 가능하지만 이를 위해서는 고해상도, 고배율 카메라와 지능적인 소프트웨어가 필요하다. 이러한 점들은 고가의 장비를 사용하여 해결할 수도 있겠으나 본 연구의 목적 중 하나인 ‘저비용’에 어긋나므로 지속적인 연구를 통해 새로운 알고리즘을 개발하여 현 장치에 추가하거나 새롭게 공개된 기술들을 접목 시키는 것과 같은 방법을 택해야 할 것이다.

둘째, 안구운동 추적 소프트웨어와 안구운동 추적 데이터 수집 소프트웨어 그리고 자극 제시 소프트웨어 간의 연동 문제이다. 본 논문에서 쓰인 안구운동 추적 소프트웨어와 안구운동 추적 데이터 수집 소프트웨어는 연동이 되고 있지만 자극 제시 소프트웨어와는 연동이 되고 있지 않다. 심리학 연구와 실험에서 본 장치를 쓰기 위해서는 가장 먼저 해결해야 하는 문제이다. 이 문제는 예를 들어, 어휘판단 과제 실험에서 자극 제시 프로그램에서 하나의 자극을 보이고 사용자가 반응을 하는 것이 하나의 시행일 때 본 장치의 경우 자극 제시 소프트웨어와 연동이 되지 않기 때문에 다음 시행이 나와도 이전 시행에 대한 안구운동 추적을 끝내지 못하고 새로운 자극에 대한 안구운동추적도 시작하지 못한다. 따라서 현재 심리학 연구에서 많이 쓰이고 있는 DMDX, E-Prime 등과 같은 자극 제시 프로그램과 연동할 수 있는 인터페이스 마련이 필수적이다.

셋째, 본 장치는 현재 상용화된 기기와 직접적인 비교연구가 아직 실시되지 않았다는 점이 지적될 수 있다. 하지만 본 장치에 쓰인 ITU GazeTracker의 주 개발자인 Javier(2009)는

상용 장치와 비교 연구를 실시하였다. 그 결과, 상용 장치와 비교해서 떨어지지 않는 결과를 보여주었다. 본 장치 또한 향후 지속적인 성능의 향상과 더불어 상용화된 기기와의 비교 연구를 통한 검증의 절차가 필요할 것이라 생각한다.

넷째, 시간해상도의 문제이다. 현재 일반적인 USB 웹 카메라는 대부분 최대 초당 30Hz이다. 이는 USB 대역폭의 문제이기도 하기 때문에 USB 웹 카메라를 사용하는 이상 피할 수 없는 문제이다. 대안으로 IEEE1394<sup>13)</sup> 인터페이스 카메라를 사용하는 방법이 있다(Li, Babcock & Parkhurst, 2006; Winfield, Li, Babcock, Derrick & Parkhurst, 2005). IEEE1394 카메라는 60hz, 120hz 혹은 그 이상의 주파수를 지원하는 기기가 존재한다. 하지만 그러한 카메라는 매우 고가여서 본 논문에서 주장하는 저비용 안구운동추적 장치에는 맞지 않는다.

본 연구에 대한 다양한 분야의 연구자들의 후속연구가 이루어지면 상용화된 기기에 뒤지지 않는 심리학 실험 장치로 발전해 나갈 것이라 생각한다. 본 연구에서 소개된 안구운동추적 장치와 같은 심리학 실험 장치가 저렴하게 보급될 수 있도록 여러 연구자들이 참여할 필요가 있다.

13) IEEE 1394, 혹은 파이어와이어(FireWire), 아이링크(i.Link)는 미국의 애플 컴퓨터가 제창한 개인용 컴퓨터 및 디지털 오디오, 디지털 비디오용 시리얼 버스 인터페이스 표준 규격이다. IEEE 1394는 데이터의 고속 전송과 동시성 실시간 데이터 서비스를 지원한다. IEEE 1394는 낮은 단가와, 간단하고 융통성 있는 케이블 시스템 덕에 병렬 SCSI를 대체하였다.

### 참고문헌

- 이윤형 (2009). 안구운동과 문장의 이해: 안구 운동 측정시 방법론적 고려점들. 한국심리학회지: 인지 및 생물, 21(2), 91-110.
- ETU-Driver (2009). Eye-Tracker universal driver download page. <http://www.cs.uta.fi/~oleg/downloads.html#etud>
- ITU Gaze Tracker (2009). ITU Gaze Tracker download page. IT University Of Copenhagen. <http://www.gazegroup.org/downloads/23-gazetracker>
- Javier S. A., Henrik S., John P. H., & Dan W. H. (2009). Low-cost gaze interaction: Ready to deliver the promises. *Spotlight in works in progress, session 2, CHI2009*
- Levin, D., & Simons, D. (1997). Failure to detect changes in attended objects in motion pictures. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, 501-506.
- Li, D., Babcock, J., & Parkhurst, D. J. (2006). openEyes: A low-cost head-mounted eye-tracking solution. *Proceedings of the ACM Eye Tracking Research and Applications Symposium*.
- Li, D., & Parkhurst, D. J. (2006). Open-source software for real-time visible-spectrum eye tracking. *Proceedings of the COGAIN Conference*, 18-20.
- Li, D., Winfield, D., & Parkhurst, D. J. (2005). Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches. *Proceedings of the IEEE Vision for Human-Computer Interaction Workshop at CVPR*, 1-8.
- Winfield, D., Li, D., Babcock, J., Derrick, J., & Parkhurst, D. J. (2005). Towards an open-hardware open-software toolkit for robust low-cost eye tracking in HCI applications. *Iowa State University Human Computer Interaction (ISU-HCI) Technical Report, 04*.

1 차원고접수 : 2010. 2. 17  
최종게재결정 : 2010. 3. 6

## Development and Validation of a Low-Cost Eye-Tracking Device

**Sohn, Yeung-Jun**

**Lee, Sang-il**

**Kwak, Ho-Wan**

Department of Psychology, Kyungpook National University

This study introduced the development of a 'low-cost eye-tracking device' using a common web camera, an infra-red light, and PC. Two experiments were conducted to validate the utility of the eye-tracking device. In experiment 1, using a 25 fixation point display and an artificial face, the spatial resolution of the device was examined. In experiment 2, manipulating the presence/absence of the change-cue, we tried to replicate the change-blindness experiment by Levin & Simons(1997), and examined the eye-movement patterns for each condition. As results, it was observed that the number of fixation points in the change-cue condition were 92% higher, and the maximum fixation-dwelling time were 58% shorter than those in the no-cue condition. Finally, limitations and future developments of a low-cost eye-tracking device were discussed.

*Key words : eye-movement, eye-tracking device, change-blindness, calibration*