

안구운동 추적은 EEG, fMRI 등과 같은 다른 생리적 측정방법들에 비해 비침습적이라는 장점을 가지기 때문에(이윤형, 2009) 개인이 과제를 수행하는 동안 나타나는 시각적 행동 및 인간의 주의와 관련한 연구에서 빈번히 사용되고 있다(Winfield, Babcock, Derrick, & Parkhurst, 2005). 하지만 안구운동추적 기기들의 경우 대부분 미국, 유럽 회사들에 의해 상업적으로 개발 및 판매되고 있기 때문에 매우 높은 가격대를 형성하고 있어 심리학분야의 연구자들이 구입하여 사용하는 데는 많은 어려움이 있는 것이 현실이다.

국내에서도 제한된 소속기관의 연구자들에 의해서만 안구운동추적 장치를 사용한 연구가 이루어지고 있다. 좀 더 세부적으로 확인하고자 한국심리학회 산하 학회에서 2000년부터 2010년 10월까지 발행한 학회지 논문들 중 안구운동추적 장치를 사용한 논문들을 발행연도 순으로 정리한 것은 표 1과 같다. 표 1에서 확인할 수 있듯이 총 11편의 논문이 2004년부터 2010년까지 발표되었으며, 1저자의 소속 기관은 크게 네 곳으로 확인되었다. 사용된 기기로는 Arrington Research 사의 viewpoint Eye-Tracker가 7편, SR Research 사의 EyeLinkII가 4편이었다. 이와 같은 점들로 미루어 알 수 있듯이 현재까지 국내에서는 상용 안구운동추적 장치의 보급이 원활하지 않으며 따라서 제한된 소속기관에 속한 연구자들만이 상용 기기를 사용한 연구를 수행해왔다. 이러한 낮은 접근성의 가장 큰 원인은 앞서 기술한 것과 같이 높은 가격임을 부인할 수 없다.

21세기가 시작되면서 개인용 컴퓨터 성능의 비약적인 발전과 웹 카메라(web camera)와 같

은 하드웨어들의 개발, Intel 사의 OpenCV¹⁾의 공개 등의 영향으로 범용 컴퓨터를 이용한 이미지 획득 및 처리를 위한 기반이 마련되었다. 이러한 기반을 통해 해외의 IT관련 연구자들은 안구운동추적 장치를 직접 개발하고 개발 과정 및 소프트웨어 관련 소스(source)들을 웹(web)을 통해 공개하기 시작했다. 대표적으로 openEyes²⁾와 Opengazer³⁾, ITU Gaze Tracker⁴⁾를 들 수 있다. 이들의 공통점은 OpenCV를 이용한 오픈소스(open source)⁵⁾와 높은 완성도이며 낮은 비용(low-cost)으로 상용 기기들에 버금가는 정도의 안구운동추적이 가능하다는 것이 특징이다. 이러한 점에 착안하여 본 연구자들은 오픈소스 소프트웨어와 일반 PC, 웹 카메라, 적외선 조명을 사용하여 저비용 안구운동추적 장치를 구현하였다(손영준, 이상일, 곽호완, 2010). 본 연구자들이 제작한 장치는 Copenhagen IT 대학에서 공개한 ITU Gaze Tracker를 기반으로 하였으며, 카메라에서 들어온 이미지에서 동공을 탐지하고 탐지한 동공 중심와의 위치를 기반으로 모니터 화면에서 눈의 응시 위치를 추정하는 알고리즘을 가지

1) OpenCV(Open Computer Vision)은 오픈소스 컴퓨터 비전 C 라이브러리로 인텔에서 개발되었다. 실시간 이미지 프로세싱에 중점을 둔 라이브러리로 윈도우즈, 리눅스 플랫폼에서 사용할 수 있다.

2) <http://thirtysixthspan.com/openEyes>

3) <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/opengazer>

4) <http://www.gazegroup.org/downloads>

5) 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 일컫는다.

표 1. 2000년도 이후 안구운동추적 장치를 사용한 연구를 발표한 논문 목록

논문	발행학회	연 도	저 자	소속기관	기기 모델명
A	실험	2004	최광일	아주대학교	viewpoint Eye-Tracker
B	실험	2007	김영삼	서울대학교	EyeLink II
C	실험	2007	최광일	아주대학교	viewpoint Eye-Tracker
D	임상	2007	곽수민	중앙대학교	viewpoint Eye-Tracker
E	소비자 · 광고	2007	김지호	중앙대학교	viewpoint Eye-Tracker
F	소비자 · 광고	2007	김지호	고려대학교	viewpoint Eye-Tracker
G	실험	2008	고성룡	서울대학교	EyeLink II
H	소비자 · 광고	2008	김지호	고려대학교	viewpoint Eye-Tracker
I	소비자 · 광고	2009	김지호	고려대학교	viewpoint Eye-Tracker
J	인지 및 생물	2010	윤소정	서울대학교	EyeLink II
K	인지 및 생물	2010	윤시운	서울대학교	EyeLink II

주 1. 논문 제목은 알파벳으로 대신하였음.

주 2. 저자는 1저자를, 소속기관은 1저자의 발행연도 당시의 소속기관을 나타냄.

고 있었다. 이러한 알고리즘을 토대로 데이터를 수집하여 응시점(fixation point)의 개수 및 응시시간 등을 확인할 수 있도록 하였다.

저 비용으로 안구운동과 관련한 데이터를 얻을 수 있다는 큰 장점에도 불구하고 기존의 저비용 안구운동추적 장치는 몇 가지 문제점을 가지고 있었다. 구체적으로, 기존에 개발된 기기는 낮은 시간해상도 및 공간해상도를 지니 상업용 기기의 사양에 비해 열악한 안구운동 측정수행을 보였다. 본 논문에서는 초기 저비용 안구운동추적 장치에서 지적되었던 문제점들을 바탕으로 현재까지 하드웨어 및 소프트웨어적으로 개선된 점과 향후 추가적으로 개선되어야 할 점들을 제시하고자 하였다. 이를 통해 경제성과 높은 접근성을 유지하면서 상용 기기를 대신할 수 있는 보급형 안구운동

추적 장치를 구현하고자 했던 본 연구자들의 목적에 한 걸음 더 다가갈 수 있을 것이라 기대한다.

연구 1. 하드웨어 및 소프트웨어적 개선

하드웨어 개선

웹 카메라 기존 저비용 안구운동추적 장치에 사용된 웹 카메라는 Microsoft 사의 모델명 VX-1000이었다(그림 1). 이 모델의 경우 30만 화소 CMOS 이미지 센서를 사용하고 최대 동영상 해상도 640*480, 초당 최대 30프레임(30fps)을 지원했다. 일반 저가 상용 기기들이 최소 60fps 이상을 지원한다는 것과 비교해볼 때 시간해상도의 향상은 필요한 일이었다. 기



그림 1. VX-1000



그림 2. Playstation3 eye camera

존에 사용하던 안구추적 소프트웨어가 타 웹 카메라를 지원하지 않아 하드웨어만의 교체는 불가능했으나, 안구추적 및 데이터분석 프로그램을 교체함에 따라 웹 카메라도 보다 고성능의 제품을 사용하는 것이 가능해졌다. 이에 본 연구자들이 사용한 웹 카메라는 SONY 사의 제품명 Playstation3 eye camera이다(그림 2). 이 제품은 SONY 사의 비디오 게임 콘솔인 Playstation3 게임 소프트웨어에 사용되는 것으로 참가자의 신체 행동(motion)을 탐지하는데 사용되어 진다. 해상도 640*480에서 60fps, 320*240에서 최대 125fps을 지원하며 기존의 VX-1000과 마찬가지로 USB 타입이기 때문에 편광필터⁶⁾를 제거하는 작업 이외에 별다른 개조가 필요 없다.

6) 일반적으로 모든 카메라 렌즈에 포함된 것으로 가시광선 외에 적외선과 자외선을 차단해주는 역할을 한다. 본 장치에서는 자외선 조명을 통해 동공만을 탐지해야하므로 편광필터의 제거가 필수적이다. 제거를 위해서는 손영준 등(2010)에서도 기술했듯이 웹 카메라 본체를 분해한 후 렌즈 부분의 하단에 있는 작은 유리조각을 제거한 후 다시 역순으로 조립하면 된다. PS3 eye camera의 경우 VX-1000보다 제거가 까다롭다. 원통형의 렌즈에 일체식으로 끼워져 있어 편광필터를 제거하는 도중 다른 렌즈나 기관에 손상이 가지 않도록 주의해야 한다.

하드웨어의 개선으로 인해 수치상 약 4배의 정도의 시간해상도 향상이 이뤄졌다. 시간해상도가 증가함에 따라 더 많은 프레임의 자료를 얻을 수 있게 되어 공간 노이즈의 보정이 가능해졌으며 이는 사실상의 공간해상도 향상을 가져오게 한다. 그러나 위와 같은 하드웨어 성능의 향상을 위해 손영준 등(2010)의 연구에서 사용된 웹 카메라 구입비용에 비해 약 50%정도⁷⁾의 추가적 비용이 발생하였다.

소프트웨어 개선

안구추적 및 데이터분석 초기 저비용 안구운동추적 장치의 경우 안구추적 프로그램과 데이터 수집 프로그램 그리고 화면 저장프로그램을 개별적으로 사용하였다. 그렇기 때문에 실험자의 능숙한 프로그램 사용을 위한 훈련이 필요했으며 주 컴퓨터 CPU에 과부하를 주는 원인이 되기도 하였다. 또한 수집된 데이터를 상용 기기들과 같이 자체적으로 분석하는 것이 불가능했기 때문에 데이터의 사용에 어려움이 있었다. 이러한 점의 개선을 위해 본 연구자들은 Voßkühler, Nordmeier, Kuchinke와 Jacobs(2008)이 개발한 OGAMA(Open Gaze And Mouse Analyzer)를 사용하였다. 본 소프트웨어는 상용 안구운동추적 장치인 TOBII 사의 T60, T120, X120 및 SMI 사의 iViewX 모델에

7) 초기 모델에서 사용한 Microsoft 사의 vx-1000의 경우 본 연구자들이 구입할 당시 3만원 대 초반의 가격대를 형성하고 있었으며, 개선된 모델에서 사용한 SONY 사의 Playstation3 eye camera의 경우 카메라가 동봉된 게임 패키지를 구입할 경우 현재 4만원 대 후반 정도의 가격에 구입할 수 있다.

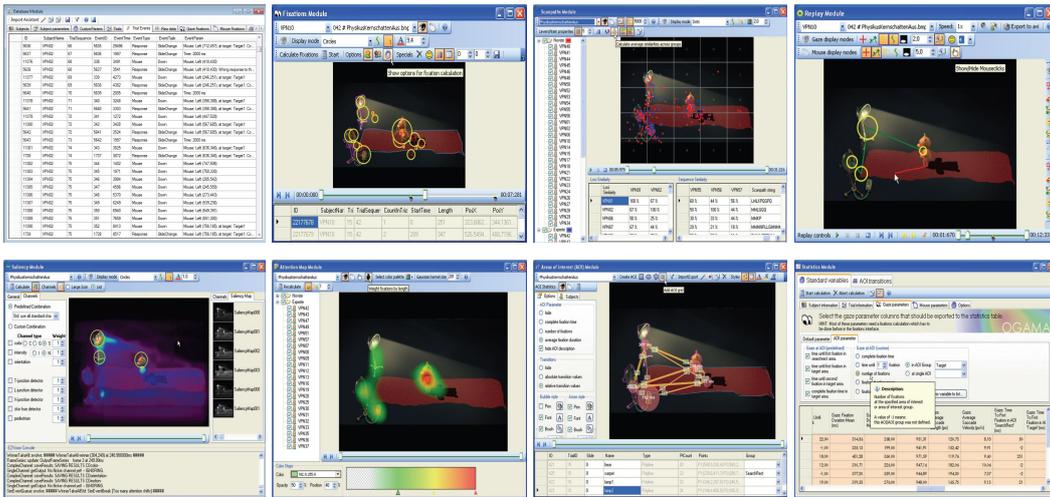


그림 3. OGAMA의 분석기법 예시(좌측 상단부터 Database module, Fixation module, Scan-path module, Replay module, Saliency module, Attention-map module, AOI(area of interest) module, Statistic module)

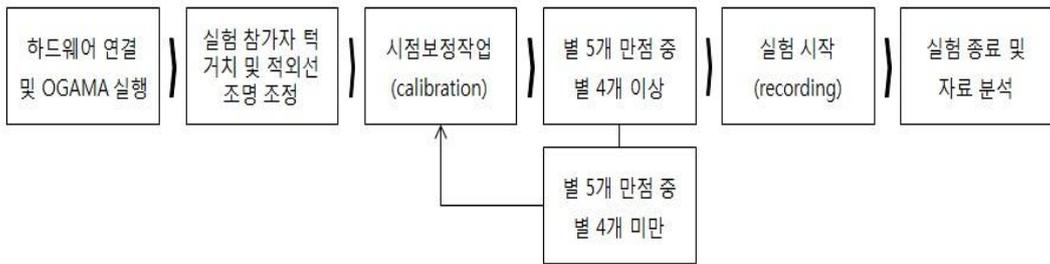


그림 4. 연구추적 실험 실시 절차

서 수집된 데이터 분석을 지원하며 손영준 등 (2010)에서 사용한 ITU Gaze Tracker와 같은 Open source Tracker를 지원한다. 그리고 안구운동과 마우스 움직임의 동시 추적이 가능하다.

본 소프트웨어도 웹을 통해 무료로 다운 받을 수 있으며 해당 웹 사이트를 통해 제작 소스를 공개한다⁸⁾. 2010년 9월 4일 최종 3.4버전

8) <http://www.ogama.net>에서 OGAMA 다운로드 및 소스의 열람이 가능하다.

까지 업로드(upload)되어 있으며 프로그램 실행 및 분석 시 나타나는 문제점들을 지속적으로 수정 및 보완하고 있다.

OGAMA의 경우 일부 상용 기기들과 호환이 가능한 만큼 상용 안구운동추적 장치들에서 지원하는 대부분의 분석 방법들을 지원하며 그 예시는 그림 3과 같다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이 OGAMA는 총 8가지의 분석을 지원한다. 이는 상용 기기를 개발하는 업체들에서

기기와 함께 제공하는 자체 개발 소프트웨어와 비교해도 뒤지지 않는 수준이다.

OGAMA는 또한 사용자가 직접 자극을 만들고 제시 시간과 순서 등을 설정할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 이는 일반적인 상용 기기들에서는 기본적으로 제공하나 기존 저비용 안구운동추적 장치의 소프트웨어에서는 제공하지 않는 기능으로 자극 제시를 위해 추가적으로 프로그램을 구동해야만 했던 불편함이 개선된 것이다. 개선된 하드웨어 및 소프트웨어를 사용해 안구운동추적 실험을 하기 위한 절차는 그림 4와 같다.

연구 2. 공간해상도 검증

연구 2에서는 초기 모델을 사용하여 손영준 등(2010)이 실시한 공간해상도 검증결과와 개선된 모델을 사용한 결과를 비교하고자 하였다. 이를 통해 하드웨어 및 소프트웨어의 개선을 통한 기기의 성능 향상을 시각적으로 확인하고자 하였다.

방 법

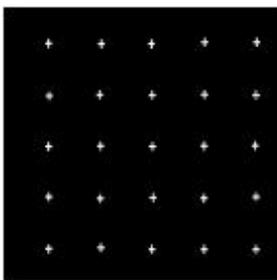


그림 5. 손영준 등(2010)의 자극

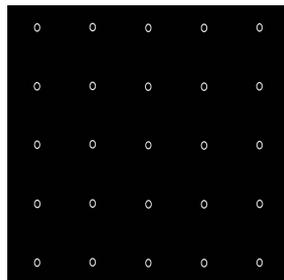


그림 6. 개선 모델 제시 자극



그림 7. 디지털 이미지

연구대상 모 대학교 심리학과에 재학 중인 학생 한 명이 연구에 참여하였다.

도구 안구운동추적 장치는 연구 1에서 언급한 개선된 모델을 사용하였다. 그 외에 PC 및 모니터 사양과 기타 하드웨어적 배치는 손영준 등(2010)과 동일하다.

자극 손영준 등(2010)이 상용한 5*5 배열의 자극(그림 5)과 유사한 자극을 OGAMA를 통해 구현하였다. 손영준 등(2010)은 총 25개의 응시점(+)을 무선적으로 제시하였으나 본 연구에서는 한 화면에 동시에 제시하였다(그림 6). 자극 내에 있는 원을 실험자가 지시하는 일련의 순서대로 응시하도록 하였다. 그리고 여성 모델의 얼굴을 컴퓨터 그래픽 작업을 통해 디지털 이미지화한 것(그림 7)은 손영준 등(2010)과 동일한 것을 사용하였으며 실험 참가자에게 자유롭게 응시하도록 지시하였다.

결 과

손영준 등(2010)의 결과와 개선된 모델의 결과를 비교하기 위해 총 25개의 응시점에 대한

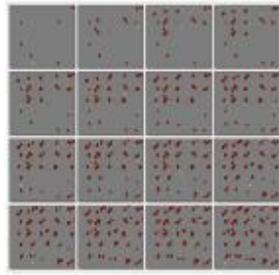


그림 8. 손영준 등(2010)의 결과1

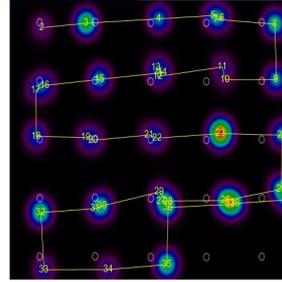


그림 9. 개선 모델 결과1



그림 10. 손영준 등(2010)의 결과2

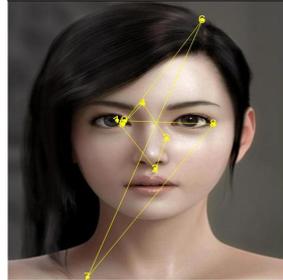


그림 11. 개선 모델 결과2

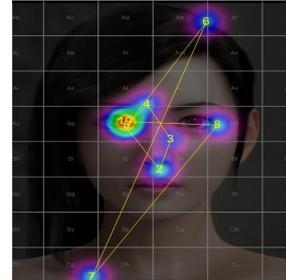


그림 12. 개선 모델 결과3

손영준 등(2010)의 결과와 본 연구의 결과를 그림 8과 그림 9에, 디지털 이미지에 대한 응시패턴을 비교하기 위해 손영준 등(2010)의 결과와 본 연구의 결과를 그림 10과 그림 11, 12에 각각 제시하였다.

우선 25개의 응시점을 제시한 실험의 결과를 살펴보면 다음과 같다. 사용한 소프트웨어가 다르기 때문에 직접적인 수치의 비교는 불가능하지만 손영준 등(2010)의 결과와 비교했을 때 개선된 모델을 사용한 결과가 응시점 기준으로 보다 명확한 격자를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 디지털 이미지에 대한 응시결과에서도 기존의 모델에서 응시점 및 응시점의 크기만을 제시해줬던 반

면 개선된 모델에서는 그림 11에서 보는 것과 같이 주사경로(scan path) 및 그 순서(sequence)를 확인할 수 있으며, 그림 12에서 보는 것과 같이 자극을 분할 혹은 특정 영역을 지정하여 그 영역 내의 응시시간 및 응시점의 개수 등을 확인할 수 있다. 그리고 다수의 실험 참가자들 간 주사경로의 일치도를 구할 수도 있다.

논 의

본 연구는 손영준 등(2010)이 제작하여 발표한 저비용 안구운동추적 장치에서 지적된 제한점들과 그 제한점들을 바탕으로 현재까지 개선된 사항들에 대해서 알아보았다. 초기 장

치와 비교해 개선된 점들을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 시간해상도에서의 개선이다. 기존에 사용한 웹 카메라의 경우 초당 최대 30프레임이었으나 SONY 사의 카메라를 사용하면 320*240 해상도에서 최대 125프레임이 가능해졌다. 이러한 점은 시간해상도에서 수치상으로 약 4배의 향상이며 보다 짧은 시간에 움직이는 시선을 탐지할 수 있게 되었다는 점에서 의의를 둘 수 있다. 향상된 시간해상도와 교체된 소프트웨어의 결합으로 인해 공간 노이즈를 제거할 수 있으므로 결과적으로 공간해상도에서 실질적인 향상이 가능해졌다. 둘째, 안구추적 및 데이터 수집 프로그램으로 통합 프로그램인 OGAMA를 사용하게 된 점이다. 실험 자극을 직접 제작하거나 구성하여 제시할 수 있고 상용 기기에서 지원하는 분석 기법들을 제공하므로 보다 이전보다 질적으로 향상된 실험이 가능해졌다.

초기 장치와 비교해 많은 부분에서의 질적 향상이 이루어졌으나 아직까지도 개선되어야 할 점들은 있다. 첫째, 턱 거치대의 문제이다. 본 장치에는 머리나 얼굴의 움직임을 탐지하고 보정해주는 알고리즘이 없다. 그렇기 때문에 실험 중 실험 참가자가 머리나 얼굴을 움직이면 시점보정작업에서 얻어진 값이 흐트러지게 된다. 이러한 결점으로 인해 본 연구자들은 실험 전 실험 참가자들에게 머리나 얼굴의 움직임에 대해 충분히 숙지시킨 후에 실험을 시작한다. 그럼에도 불구하고 실험 결과적으로 시점보정 값이 흐트러져 최종 데이터에서 참가자를 제외시키는 경우가 많았다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 국외의 선행연구자들은 발사나무⁹⁾에 웹 카메라를 고정시켜 실

험 참가자로 하여금 입에 물고 실험을 진행하는 방식(bite)을 사용하기도 하였다. 그러나 위의 방법을 사회과학 연구에서 사용하기에는 다소 부적합한 면이 있다. 본 연구자들이 고려하고 있는 방법에는 몇 가지가 있다. 우선, 헬멧 등에 카메라를 거치시켜 실험 참가자의 머리에 씌우는 머리탑재(head-mounting) 방식이다. 이 방식과 턱 거치대를 동시에 사용하게 되면 머리 움직임을 제한하는데 효과적일 것이다. 그러나 신체적인 속박이 많아질수록 실험 결과에 가외변인이 작용할 가능성에 대해서도 염두 해야 할 것이다. 다음으로 새로운 프로그램 인터페이스를 추가하는 방법이다. 그 세부적인 방법으로는 실험 참가자의 이마에 적외선 센서를 부착해 적외선 센서의 이탈된 값을 토대로 머리의 움직임을 추정해 결과를 보정하는 방법과 실험 참가자의 동공에 모니터의 영상이 반사되어 맺히는 부분과 눈의 양쪽 꼬리의 위치를 토대로 얼굴의 움직임을 계산하는 방식이 있다. 위에서 언급한 두 가지의 방식은 머리탑재 방식에 비해서 얼굴의 움직임에 대해 수치적으로 접근한다는 장점이 있으나 컴퓨터 언어를 바탕으로 프로그램을 제작해야한다는 점에서 기술적 어려움이 있다. 그렇기 때문에 본 연구자들도 차선책으로 생각하고 있다.

둘째, 소프트웨어의 오류와 관련한 문제이다. 간헐적으로 실험 도중 오류 메시지가 나타나는 경우가 있다. 이 경우 자극 제시 자체가 중단되거나 자극의 제시는 계속되나 오류

9) 발사나무는 재질이 가볍기 때문에 부표나 구명용구, 모형비행기를 만드는데 주로 사용되며 절연성을 이용한 방음장치 등에 쓰이기도 한다.

창으로 인해 자극이 가려지게 되어 실험 진행에 문제를 일으킨다. 이 때 실험자는 오류 창을 닫고 실험을 재개해야 한다. 이러한 경우가 빈번하지는 않지만 실제 실험 도중 발생하게 되면 실험자와 실험 참가자 모두 당황하게 된다. OGAMA의 지속적인 업데이트를 통해 점차 그 빈도가 줄어들고 있으나 실험자가 대비하고 있어야 할 부분이다.

셋째, 상용 기기와의 비교 검증이 이루어지지 않았다는 점이다. 비슷한 하드웨어적 성능을 가진 상용 기기 혹은 가장 보편화된 상용 기기와의 비교검증을 통한 객관적 데이터 수집이 이루어진다면 현 장치에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것이다. 현재 이 연구가 진행중에 있다.

이 외에도 본 장치에 많은 개선점이 있는 것이 사실이다. 그러나 초기 개발 당시 목표로 삼았던 경제성과 높은 접근성을 바탕으로 현재까지 많은 성능의 향상을 이루었다. 앞으로 안구운동 추적기의 개선에 관한 지속적인 관심과 연구가 이루어진다면 국내 안구운동추적 장치의 보급에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- 고성룡, 홍효진, 윤소정, 조병환 (2008). 우리글 명사 어절에서의 단어 빈도 효과: 안구운동 추적 연구. 한국심리학회지: 실험, 20(1), 21-37.
- 곽수민, 이장한 (2007). 회피 대처전략이 외모 관련 자극에 대한 주의편향과 정서변화에 미치는 효과: 안구운동 추적장비를 이용하여. 한국심리학회지: 임상, 26(3), 681-692.
- 김영삼, 고성룡 (2007). “~면서” 구문을 통해 본 관형절 처리 전략: 안구운동 추적 연구. 한국심리학회지: 실험, 19(3), 233-249.
- 김지호, 부수현, 이우철, 김재휘 (2007). 광고의 크기와 위치, 부분 겹침 단서가 소비자의 시각행동에 미치는 영향: 아이트래커를 활용하여. 한국심리학회지: 소비자·광고, 8(3), 399-422.
- 김지호, 송미란, 김재휘 (2007). 비의식적 광고 처리에서 나타나는 암묵적 기억의 광고효과 - 시각적 주의를 중심으로 -. 한국심리학회지: 소비자·광고, 8(1), 81-102.
- 김지호, 이영아, 이희성, 김재휘 (2008). 동공지표를 이용한 유머 광고의 효과 연구: 부조화-해소 이론을 중심으로. 한국심리학회지: 소비자·광고, 9(1), 1-24.
- 김지호, 최광열, 조경진 (2009). 안구영역에 따른 광고노출이 명시적 기억과 암묵적 기억형성에 미치는 영향. 한국심리학회지: 소비자·광고, 10(1), 55-78.
- 손영준, 이상일, 박호완 (2010). 저비용 안구운동추적 장치의 개발과 타당화. 한국심리학회지: 인지 및 생물, 22(1), 95-107.
- 윤소정, 고성룡 (2010). 우리글 읽기에서 본 단어 습득연령 효과: 안구운동 추적 연구. 한국심리학회지: 인지 및 생물, 22(2), 129-142.
- 윤시운, 강원석, 안진웅, 고성룡 (2010). 우리글 읽기에서 낱말빈도와 길이가 논의 움직임에 미치는 효과. 한국심리학회지: 인지 및 생물, 22(2), 215-232.

- 이윤형 (2009). 안구운동과 문장의 이해: 안구 운동 측정시 방법론적 고려점들. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 21(2), 91-110.
- 최광일, 김영진 (2007). 재귀대명사의 다의성 해소과정: 안구운동 분석. *한국심리학회지: 실험*, 19(4), 263-277.
- 최광일, 서진원, 김영진 (2004). 인터넷 배너광고 디자인의 비교: 안구운동 추적을 통한 탐색적 관찰. *한국심리학회지: 실험*, 16(4), 421-434.
- 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>
- openEyes homepage. <http://thirtysixthspan.com/openEyes>
- OGAMA (2008). OGAMA homepage. <http://www.ogama.net>
- opengazer homepage. <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/opengazer>
- Voßkühler, A., Nordmeier, V., Kuchinke, L., & Jacobs, A. M. (2008). OGAMA - Open Gaze And Mouse Analyzer: Open source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs. *Behavior Research Methods*, 40(4), 1150-1162.
- 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. 11. 19

2 차원고접수 : 2010. 12. 15

최종게재결정 : 2010. 12. 22

Improvements of spatial and temporal resolutions of the low-cost eye-tracking device

Sangil Lee

Ho-Wan Kwak

Department of Psychology, Kyungpook National University

This study introduced methods for improving the spatial and temporal resolutions of the previous version of a low-cost eye-tracking device. Research 1 described how the newly developed device was improved in hardware and software aspects compared to the previously developed one. Specifically, the spatio-temporal resolution was improved by replacing the eye camera with a PS3 eye camera, and the analysis software was replaced with OGAMA, which offers various analyses including scan path and fixation dwellings. Research 2 confirmed the improvements of spatio-temporal resolutions through the demonstration of fixation patterns of 25 fixation points and a digital image. Finally, we discussed limitations and future directions of the eye-tracking device.

Key words : eye movement, low-cost eye-tracking device, scan path, fixation point, spatio-temporal resolution