

## 저비용 안구운동 추적기 KSL-240의 개발과 기기 타당도 검증: Tobii 1750을 사용하여\*

이 상 일      손 영 준      궤 호 완<sup>†</sup>      장 영 민      이 민 호

경북대학교 심리학과

경북대학교 전자공학부

최근 개발된 모델 KSL-240 안구운동 추적기의 기기타당도를 Tobii 1750을 사용하여 검증하고자 하였다. 실험참가자는 표적화면에 있는 적색 원으로 눈을 옮기거나 마우스 커서를 움직이도록 요구받았다. 이들은 세 가지 실험조건(KSL-240/Tobii 1750/Mouse Tracking)에 할당되었다. 그 결과 1) 마우스 트래킹 조건의 정반응률은 100%였고, 2) KSL-240의 정반응률(92%)은 Tobii 1750의 정반응률(79%)보다 높았으며, 3) KSL-240의 평균반응시간(598ms)은 Tobii 1750의 반응시간(466ms) 보다는 다소 느렸고 마우스 트래킹 조건의 반응시간(808ms) 보다는 빨랐다. 결론적으로 새로 개발된 KSL-240 안구추적기는 고가의 상업용 장비를 대체할 수 있는 성능을 지닌 기기임을 시사한다.

주요어 : KSL-240, eye-tracker, mouse-tracking, Tobii 1750

---

\* 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 뇌과학원천기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0018845)

본 논문의 내용은 부분적으로 NISS 5th international conference(2011.10.24 마카오)에서 발표된 것임.

<sup>†</sup> 교신저자 : 궤호완, 경북대학교 심리학과, (702-701) 대구광역시 북구 산격동 1370

E-mail : kwak@knu.ac.kr

인간의 안구운동, 즉 시선(gaze)에 대한 연구는 ‘눈이 어디에 멈췄는가?’, ‘얼마나 멈췄는가?’, ‘이미 본 대상에 언제 되돌아가는가?’와 같은 질문들과 더불어 시각적 처리, 심리학, 언어학 등 다양한 학문들에서 이루어져왔다. 특히, 시선은 직접적으로 관찰되지 않는 인지 과정에 대한 추론의 근거를 제공하고, 정서를 포함한 내면의 상태를 나타내는 등 인간을 이해하는데 필요한 다양한 정보를 제공해 심리학의 각 분야에서 많은 연구가 이루어져왔다.

안구운동에 대한 관심이 증가함과 동시에 안구운동을 측정하기 위한 노력 또한 다양한 방식으로 이루어져왔다. Huey(1908)는 동공에 직접 삽입하는 콘택트 렌즈(contact lens)에 알루미늄 바늘을 부착해 최초의 안구운동추적 장치를 만들었으며, 이를 통해 시선이 때때로 회귀(regressions)하며 어떠한 단어에서는 고정되지 않는다(saccades)는 것을 알아냈다. 그러나 이 안구운동추적 방식은 매우 침습적(intrusive)이어서 실험 참가자로 하여금 불편함을 야기한다는 큰 문제가 있었다. 이에 Buswell(1922)은 동공에서 필름으로 반사되는 불빛의 위치를 통해 시선의 위치를 측정하는 방식을 고안해내 비-침습적인(non-intrusive) 안구운동추적 방식의 시초가 되었다. 이후 안구운동과 관련한 많은 연구문제들과 산업적 기술의 발달이 맞물려 보다 향상된 장치들이 개발 및 활용되기 시작하였으며, 21세기의 시작을 전후로 하여 상업용 안구운동추적 장치의 시장이 미국과 영국을 비롯한 선진국을 중심으로 형성되기 시작하였다.

고성능의 장치를 사용하여 보다 ‘간편하게’ 측정하고, ‘정확한’ 측정치들을 얻는 것은 모

든 연구자들의 바람일 것이다. 그러나 현재 시중에서 판매 중인 상용 안구운동추적 장치들의 가격은 10,000달러 이상의 높은 가격대를 형성하고 있어 상대적으로 연구 환경이 열악한 사회과학 분야의 연구자들이 접근하기에는 어려움이 있다. 높은 가격대의 원인으로서는 제한된 완성품 생산업체와 자체 개발 소프트웨어 등과 같은 고유 기술을 들 수 있다(손영준, 이상일, 곽호완, 2010). 국내에서 안구운동추적 장치를 이용한 연구가 제한된 소속기관에 한정되어 있다는 점도 높은 가격대로 인한 낮은 접근성 때문임을 부인할 수 없다(이상일, 곽호완, 2010).

2000년도에 들어서면서 개인용 컴퓨터의 놀라운 발전과 기타 고성능 주변 기기들의 보급화, Intel 사의 OpenCV의 공개 등이 맞물려 낮은 비용으로 고성능 장치를 구현하려는 움직임이 해외 공학도들에게서부터 시작되었다(이상일, 곽호완, 2010). 이들은 안구운동추적 장치를 직접 개발하고 개발 과정 및 소프트웨어 관련 소스(source)들을 웹 사이트를 통해 공개하기 시작했다(이상일, 곽호완, 2010). 대표적인 그룹으로 OpenEyes, OpenGazer, ITU Gaze Tracker 등이 있으며 이들의 공통점은 낮은 비용(low-cost)으로 상용기기들에 버금가는 정도의 안구운동추적이 가능하도록 한다는 것이다(이상일, 곽호완, 2010). 이러한 선행연구들을 바탕으로 하여 본 연구자들은 초기 Copenhagen IT 대학에서 공개한 ITU Gaze Tracker를 모델로 저비용 안구운동추적 장치를 구현하였으며(손영준, 이상일, 곽호완, 2010), 시공간 해상도의 향상을 위해 하드웨어 및 소프트웨어적으로 개선된 모델을 소개하기도 하였다(이상일,

곽호완, 2010).

본 연구에서는 저비용 안구운동추적 장치의 최종 버전이라고 볼 수 있는 KSL-240을 소개하고자 한다. 이에 새롭게 적용된 주변기기들과 하드웨어적 구성 및 구현 방법에 대해서 자세하게 소개하고, KSL-240의 실험장면에서의 활용가능성을 가늠하기 위해 상용기기인 Tobii사의 모델명 Tobii 1750과의 비교검증 연구를 수행하였다.

## 연구 1. KSL-240의 구현

연구 1에서는 KSL-240을 구현하기 위해서 필요한 하드웨어적 구성요소들에 대해서 소개하고 각 구성요소들을 사용해 완성하는 방법에 대해서 소개하고자 한다.

### 방 법

**하드웨어적 구성요소** KSL-240을 구현하기 위해서는 개인용 컴퓨터와 웹 카메라 이외에도 턱 받침대, 적외선 조명 등이 필수적이다.

**개인용 컴퓨터(PC).** PC의 경우 실시간으로 안구를 탐지하고 추적하여 데이터를 수집하는데 많은 CPU 자원이 필요하므로 Dual-core 이상의 CPU, 실험 통제용 모니터와 자극 제시용 모니터를 분리하기 위해 Dual-monitor를 지원하는 그래픽 카드가 탑재된 수준의 사양을 권장한다.

**웹 카메라(Web camera).** KSL-240에서 사용된 웹 카메라는 이상일과 곽호완(2010)이 소개

한 모델에서 사용한 것과 동일한 SONY사의 모델명 Playstation3 eye camera이다. 본 카메라는 이상일과 곽호완(2010)이 소개한 것과 같이 최대 해상도 640\*480, 해상도 360\*240에서 초당 최대 125frame을 지원하고, 편광필터를 제거<sup>1)</sup>하는 것 이외에 별다른 개조작업이 필요 없다는 장점이 있다.

웹 카메라의 거치는 턱 받침대에 완전히 고정시키는 방법(손영준 등, 2010; 이상일, 곽호완, 2010)과 본 연구에서 사용한 휴대형 방식으로 고정시키는 방법이 있다. 휴대형 방식은 인터넷에서 구입할 수 있는 집게형 확대경에서 돋보기 부분만을 제거한 후 웹 카메라를 부착하여 턱 받침대 등에 고정시키는 방법이다. 집게형 확대경 및 이를 사용해 완성된 사진은 그림 1과 같다.

**턱 받침대(Chin rest).** 턱 받침대의 가장 큰 사용 목적은 실험 참가자의 얼굴 움직임을 막기 위함이다. 상용 기기의 경우 시점보정작업(calibration) 이후 얼굴의 움직임을 일정 수준까지 보정해주는 알고리즘을 가지고 있으나 KSL-240에서는 시점보정작업 이후 얼굴을 움직일 경우 시점보정 값이 흐트러져 정확한 데이터를 얻을 수 없다. 상용 기기에서도 보다 정확한 측정을 위해 턱 받침대를 사용하는 경우가 있는 것과 같이 안구운동추적에서 얼굴 움직임의 통제는 매우 중요한 요소 중 하나이다.

턱 받침대의 표준화된 규격이나 형태는 없으며 실험 참가자의 턱 부분과 머리 부분을

1) 웹 카메라의 편광필터를 제거하는 방법과 관련된 설명은 인터넷 블로그 <http://nuigroup.com/forums/viewthread/4537>의 내용을 참고하기 바란다.



그림 1. 집게형 확대경 예시(좌) 및 완성된 휴대용 웹 카메라 거치대(우)

고정시킬 수 있다면 어떠한 것이라도 좋다. 그러나 성인 남녀가 턱을 기대고 일정 시간 이상 실험에 참가해야하기 때문에 그 무게를 유지할 수 있을 정도의 중량은 반드시 필요하다. 추가적으로 실험 참가자에 따라서 높이를 조절 할 수 있는 형태라면 더욱 좋겠다. 높이를 조절 할 수 없는 형태라면 실험 참가자가 사용하는 의자를 통해 높낮이를 조절해야 한다. 본 연구자들도 이와 같은 방법을 사용하고 있다.

**적외선 조명(Infrared emitter).** KSL-240에서 사용하는 안구추적의 기본적 알고리즘은 웹 카메라를 통해서 들어온 이미지에서 동공을 탐지하고 탐지한 동공을 기반으로 시선의 위치를 추정하는 것이다(Li, Winfield, & Parkhurst, 2005; Li, & Parkhurst, 2006). 이 때 가시광선

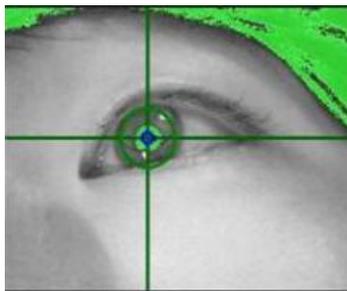


그림 2. 적외선 조명을 사용한 동공탐지의 예

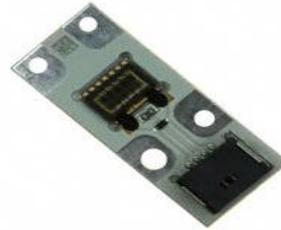


그림 3. SFH 4730

내에서 명확한 동공의 탐지는 어렵다. 따라서 적외선 조명을 통해 투과되지 않은 동공만을 탐지하게 된다.

본 연구자들이 가장 초기에 사용한 것은 CCTV의 야간 촬영 보조용 적외선 조명이었다. 구입 후 즉시 사용할 수 있다는 장점이 있었으나 조명의 강도 및 단방향 조명으로 인한 음영발생, 큰 부피 등으로 인해 개선의 필요가 제기되어 왔다. 이에 본 연구자들이 KSL-240에서 사용한 조명은 OSRAM Opto Semiconductors 사의 모델명 SFH 4730이다(그림 3). 이 적외선 조명은 순방향 전압 18V, 피크 파장 850nm, 시야각은 120도의 성능을 가지고 있다. 기존에 사용하던 적외선 조명에 비해 고성능·소형화가 장점이지만 국내에서 사용하는 직류 전원(DC)을 바로 사용할 수 없어 교류 전원(AC)으로 변환하기 위한 장치를 추가적으로 설치해야 한다는 점과 국내에서 구입할 수 없어 해외 구매대행 업체를 통해서

한다는 단점이 있다.

**교류 전원 변환장치(AC adapter):** 본 연구자들이 처음 안구운동추적 장치를 구현할 때 가장 우선적으로 고려했던 점은 특별한 공학적 지식이나 구조적 개조를 최소화해 장치에 대한 접근성을 높이는 것이었다. 그러나 본 적외선 조명의 경우 전선의 피복을 제거하고 연결하는 정도의 수고가 필요하다. 교류 전원으로 변환하기 위한 장치로 MEAN WELL 사의 모델명 NES-35-12를 사용하였다(그림 4). 본 장치는 12V의 전압을 사용하고 0A에서 3A까지 암페어 조절이 가능하다. 동일한 수준의 변화 능력을 가진 기기라면 어느 것을 사용해도 무방하다.

장치와 적외선 조명을 연결하기 위해서는 전선의 연결이 필요하다.

이 때 사용되는 전선은 일반 전기 용품점에서 구입할 수 있는 전원선(1.5SQ)와 일반 충전형 전선(VCTF 0.75)이다. 전원선과 충전형 전선의 외부 피복을 필요한 만큼 제거한 후 장치에 연결한다.



그림 4. 교류 전원 변환장치(NES-35-12)



그림 5. 전선 연결 방법 도해

**적외선 조명과 교류 전원 변환장치의 연결:** 전원선과 충전선의 연결부위는 그림 5와 같다. 일반적인 전선 연결 방법과 동일하게 피복을 벗긴 뒤 삽입하여 나사로 고정시키면 된다. 단, 적외선 조명에 연결되는 부위는 총 네 개의 연결 핀(pin) 중에서 양쪽 끝 두 개만을 사용하기 때문에 나머지 두 개는 반드시 절연시켜야 한다. 기판이 손상될 수 있다. 절연시키는 방법으로 본 연구자들은 고체 에폭시(epoxy)를 삽입하는 방법을 사용하였으나 다른 방법을 사용해도 무방하다. 고체 에폭시의 경우 한 번 굳어지면 수정이 불가능하기 때문에 주의가 필요하다.

두 개 이상의 적외선 조명을 연결할 경우에는 ‘-V, +V’ 부위에 추가적으로 연결하면 된다. 완성된 적외선 조명은 벨크로(velcro) 테이프 등을 이용해서 실험 자극 제시용 모니터 등에 부착하며 되며, 발열이 심하므로 그대로 사용하기 보다는 PC 방열용으로 사용하는 방열판<sup>3)</sup>

2) SFH 4730의 구입은 <http://www.digikey.com> 에서 검색 후 주문 및 결제가 가능하다. 단 구입 물품 금액에 따라 관세가 부과된다.

3) 본 연구자들이 사용한 방열판은 EVERCOOL 사의 모델명 4010BT이다. 40\*40\*10mm의 규격으로

을 구입해서 뒷면에 부착할 것을 권유한다.

**소프트웨어** KSL-240에서 사용된 소프트웨어는 이상일과 곽호완(2010)에서 사용한 프로그램인 OGAMA(Open Gaze and Mouse Analyzer)를 동일하게 사용하였다. 본 소프트웨어는 Voßkühler, Nordmeier, Kuchinke와 Jacobs(2008)이 개발한 것으로 상용 안구운동추적 장치(TOBIU사의 T60, T120, X120 및 SMI사의 iViewX) 이외에도 손영준 등(2010)에서 사용한 ITU Gaze Tracker와 같은 오픈 소스 소프트웨어를 지원한다. 그리고 안구운동과 마우스 움직임을 동시에 추적하는 것이 가능하다(Voßkühle et al., 2008). OGAMA의 상세한 사용 방법 및 지원하는 분석 방법 등에 대한 내용은 OGAMA 홈페이지<sup>4)</sup>를 참고하기 바란다.

## 연구 2. KSL-240과 Tobii 1750의 비교검증

본 연구에서는 연구 1에서 구현된 KSL-240의 성능 검증을 위해 상용 기기인 Tobii사의 Tobii 1750과의 비교검증 연구를 실시하였다.

### 방 법

**실험 참가자** 모 지역 심리학과 대학원생 6명(남자 2, 여자 4)이 실험에 참가하였다. 실험 참가자들은 이전에 안구운동추적 장치를 사용한 실험 경험이 없었으며, 모든 실험 참가자

바닥에는 3M사의 열전도 양면테이프가 부착되어 있다.

4) OGAMA 홈페이지(<http://www.ogama.net>)

들은 정상(교정)시력을 가지고 있었다.

**도구** 실험에 사용된 안구운동추적 장치는 저비용 안구운동추적 장치인 KSL-240과 비교를 위한 상용 기기인 Tobii사의 Tobii 1750이었다(그림 6). Tobii 1750은 17inch LCD 모니터를 통해 자극을 제시하고 모니터 하단부에 장착된 안구측정용 카메라와 적외선 조명을 통해 실험 참가자의 안구움직임을 탐지한다. Tobii 1750은 초당 50frame의 시간 해상도와 0.25°의 공간해상도를 가지고 있으며, 실험 참가자가 머리를 움직이는 것에 대한 문제점을 보완할 수 있는 내부 프로세스를 가지고 있어 실험 참가자의 머리를 고정시키지 않아도 되고, 양쪽 눈을 모두 측정해 측정 손실을 최소화 할 수 있다는 장점이 있다.

Zhang과 MacKenzie(2007)의 설계 방법에 따라 KSL-240과 Tobii 1750이외에도 KSL-240의 OGAMA를 사용하여 마우스 추적(mouse tracking)을 실시하였다. 마우스 추적은 표적에 대한 가장 정확한 탐지율을 보여주며 다른 입력 기기들과의 비교 자료로 사용되어 진다(Zhang & MacKenzie, 2007).

**자극** 자극은 해상도 1280\*1024의 LCD 모니터

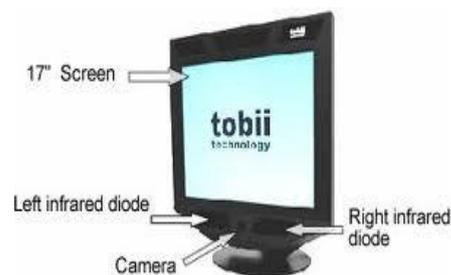


그림 6. Tobii 1750 모델

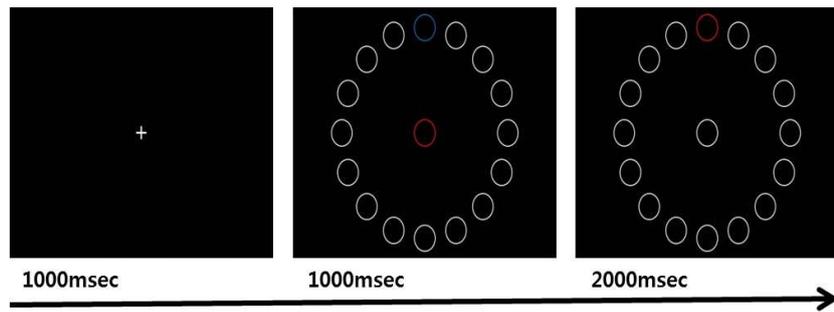


그림 7. 실험 자극 슬라이드(좌측부터 응시점, 예언단서, 표적단서)

터를 통해 제시되었으며 자극의 배치 및 제시 순서는 Zhang과 MacKenzie(2007)의 연구방법에 따랐다. 화면 중앙에 제시되는 응시점(+)은 60point의 흰색 글씨로 제시되었으며 그 이외의 자극은 지름 20mm의 크기의 원이 화면 중심에서 80mm 떨어진 위치의 가상 원에 22.5도의 간격으로 총 16개가 제시되었다. 표적 자극은 빨간색 원으로 제시되었으며 표적 자극이 이동할 위치를 예언하는 단서는 파란색 원으로 제시되었다. 파란색 원은 표적 자극의 위치를 100% 예언하였다(그림 7).

**절차** 모든 참가자들은 세 가지 실험 조건(KSL-240/Tobii 1750/Mouse Tracking)에 대해서 라틴 방사형 설계를 통해 무선적으로 배정되었다. 실험이 시작하기 전, 참가자들은 실험 과정에 대해서 충분한 설명을 들을 수 있었으며 화면 중앙의 붉은 원이 흰색으로 변화된 것을 ‘반드시’ 확인한 후 파란색 원으로 예언되었던 위치로 이동한 빨간색 원을 가능한 빠르고 정확하게 탐지하도록 지시 받았다. 모든 참가자들을 대상으로 시점보정작업(calibration)을 실시하여 일정수준 이상의 결과를 얻은 후에 본 실험이 실시되었다.

실험은 화면 중앙에 응시점이 약 1000msec간 제시된 후, 화면 중앙의 빨간색 원과 표적 위치의 예언 단서인 파란색 원이 약 1000msec 동안 제시되었다. 그 후, 표적 단서만이 제시되는 약 2000msec동안 실험 참가자는 실험 조건에 따라 표적 단서를 응시하거나 마우스로 클릭해야 했다. 표적 단서가 이동하기 전에 예언 단서를 응시하거나 제한된 시간 내에 표적을 탐지하지 못할 경우 오반응으로 기록되었으며, 반응시간은 정반응에 대해서만 기록하였다.

실험은 1세트가 16시행으로 이루어졌으며, 실험 참가자마다 실험 장치 조건 당 5번씩 반복하였다. 종속측정치로는 실험 조건 별 정반응률과 표적에 대한 First Fixation Time이었다. 정반응에 대한 예시는 그림 8과 같다.

5) KSL-240의 경우 16개의 무선적 점을 사용해 시점보정작업을 실시한다. 별 다섯 개 만점에 최소 네 개 이상일 경우에만 본 실험에 들어갈 수 있으며 그 이하의 경우 정확한 결과를 보장하지 않는다. 이는 소프트웨어 개발자의 권고사항이다. Tobii 사의 Tobii 1750의 경우, 9개의 무선적 점을 사용해 시점보정작업을 실시한다. 결과는 제시된 점들과 시선이 포착된 위치 및 오류의 정도로 나타나며, 실험자가 이와 같은 자료를 토대로 본 실험의 실시 및 재작업을 결정하여야 한다.

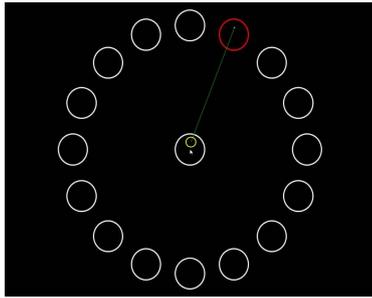


그림 8. 정반응의 예시

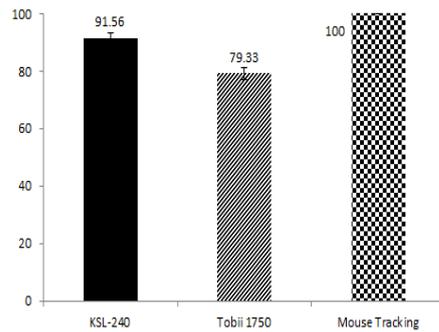


그림 9. 각 실험 조건들의 정반응률(%)

## 결과 및 논의

종속측정치인 정반응률과 정반응에 대한 평균반응시간을 종속변인으로 하여 각 실험조건(KSL-240, Tobii 1750, Mouse Tracking)간 평균차이를 분석하였다.

**정반응률(accuracy)** 각 실험 조건에 따른 참가자들의 평균 정반응률을 비교한 결과, 전체 실험의 평균 정반응률은 90.3%로 나타났다. 분산분석 결과, 각 실험 조건에 대해 유의미한 차이가 나타났다[ $F(2, 87) = 43.26, p < .000$ ]. Mouse Tracking이 100%의 정반응률로 가장 우수한 수행을 보였고, 그 다음으로 KSL-240이 91.56%의 수행을 보였다(그림 9). 상용 기기인 Tobii 1750은 79.33%로 가장 낮은 정반응률을 보였다. KSL-240과 Tobii 1750의 평균비교 결과, KSL-240이 유의미하게 높은 정반응률을 나타낸 것을 확인할 수 있었다[ $t(58) = 4.47, p < 0.001$ ].

웹 카메라를 사용한 장치와 상용 기기를 비교한 선행 비교검증 연구에서는 전체 평균 정반응률이 73.6%, 상용기기로 사용된 SMI사의 IViewX RED와 Tobii 1750의 정반응률이 각각

46.2%와 75.6%로 나타났다. 반면에 Low-cost 기기의 경우 79.5%의 정반응률을 보였다(Javier, Henrik, John, & Dan, 2009). 실험 방법에서 다소 상이한 부분이 있었으나 상용기기보다 우수한 정반응 비율을 보였다는 점에서 선행연구의 결과와 일치한다.

**평균 반응시간(mean response time)** 각 실험 조건에 따른 참가자들의 평균 반응시간을 비교하였다. 전체 실험의 평균 반응시간은 636.19msec으로 나타났으며, 분산분석 결과, 실험 조건에 대해 유의미한 차이가 나타났다[ $F(2, 1306) = 360.64, p < .000$ ]. 세부적으로 살펴보면, 상용 기기인 Tobii 1750이 평균 반응시간 465.98msec로 가장 빠른 반응시간을 나타냈고 그 다음으로 KSL-240이 598.28msec, Mouse Tracking의 경우 808.33msec으로 가장 느린 반응시간을 보였다(그림 10). KSL-240과 Tobii 1750의 평균비교 결과, KSL-240이 유의미하게 느린 평균 반응시간을 나타낸 것을 확인할 수 있었다[ $t(827) = 9.66, p < 0.001$ ].

관련 선행연구를 살펴볼 때, Javier 등(2009)의 단위시간당 처리할 수 있는 업무단위량을

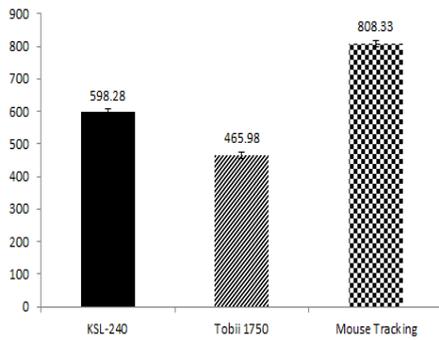


그림 10. 각 실험 조건들의 평균 반응시간(msec)

나타내는 측정치(throughput)에서 웹 카메라를 사용한 장치가 사용 기기들 중 SMI사의 IViewX RED와는 통계적으로 유의미한 정도로 높은 처리량을 보였으며 Tobii사의 Tobii 1750 모델과 비교해서는 통계적으로 유의미하지는 않았으나 평균적으로 높은 처리량을 보인 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 이와는 상반된다. 그 이유를 미루어 짐작해 볼 때, Javier 등(2009)의 연구에서는 본 연구자들과 같은 턱 받침대 방식이 아니라 발사나무<sup>6)</sup>에 고정된 웹 카메라를 입에 물고 실험을 진행하는 방식(mouth-mounting)을 사용했다. 따라서 본 연구자들이 사용한 턱 거치대 방식보다 상대적으로 실험 참가자들의 머리 움직임이 자유로웠을 것이다. 이러한 실험 참가자의 신체 속박의 정도가 표적에 대한 반응시간에 어느

6) 발사나무는 벽오동과에 속하는 상록교목으로 재질이 가볍기 때문에 부표나 구멍용구, 모형비행기를 만드는데 주로 사용되며 절연성을 이용한 방음장치 등에 사용되기도 한다. 입에 물면 치아 모양이 새겨질 정도로 부드럽다. 그러나 본 연구자들은 장시간 입에 발사나무 조각을 물리는 방식이 심리학 실험에서 부적합하다고 판단되어 초기 모델부터 턱 거치대 방식을 사용하였다.

정도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

### 종합 논의

본 연구에서는 과거 연구자들이 소개한 저비용 안구운동추적 장치의 새로운 모델인 KSL-240을 소개하고, 소개한 장치의 성능 검증을 위해 상용 기기인 Tobii사의 Tobii 1750 모델과의 비교 검증 연구를 실시하였다.

연구 1에서는 이상일과 광호완(2010)이 소개한 모델에서 하드웨어적으로 개선된 KSL-240 모델을 소개하고 장치를 구현하기 위해 필요한 주변 기기들, 그리고 주변 기기들 간의 연결방법 등에 대해서 기술하였다. 전 모델에 비해 다소 많은 양의 수고가 필요해졌으나 향상된 성능의 기기 구현에 필수적인 부분이다.

연구 1의 주된 내용이 하드웨어의 구성과 관련한 부분이지만 실제로 KSL-240을 사용해 좋은 실험을 수행하기 위해서 더 중요한 것은 실험의 목적에 맞게 슬라이드를 디자인하고, 지시문 혹은 실험과정에 대한 설명을 통해 실험 참가자를 잘 통제하고, 시점보정작업을 수행해 좋은 결과를 얻어 실험에 들어가는 등 소프트웨어를 효과적으로 다루는 기술이다. 소프트웨어를 능숙하게 다뤄 제공하는 기능을 최대한으로 활용하기 위해서는 여러 조건의 많은 실험을 해보는 것이 가장 좋은 지름길일 것이라 생각 한다.

연구 2에서는 연구 1에서 소개한 KSL-240의 성능 검증을 위해 상용 기기인 Tobii사의 Tobii 1750 모델과의 비교검증 연구를 실시하였다. 그 결과, 정반응률에서는 상용 기기에 비해 유의미하게 높은 정반응률을 보여 선행

연구와 일치하는 결과를 보였으나, 평균 반응 시간에서는 상용 기기에 비해 유의미하게 느린 반응시간을 보여 관련 선행연구와 다소 불일치하는 결과를 보였다. 그러나 신체적 속박과 같은 부분들을 종합적으로 고려해서 살펴볼 때, 본 장치가 상용기기에 비해 뒤지지 않는 성능을 보인다는 점을 확인할 수 있었다.

처음 선행 연구들을 기반으로 저비용 안구운동추적 장치를 구현하기 시작했을 때의 목표는 높은 접근성과 경제성을 기반으로 상용 기기에 버금가는 성능을 가진 실험 장치의 보급이었다. 본 연구자들이 그랬던 것처럼 고성능 상용 기기에 대한 낮은 접근성으로 인해 좌절해야 했던 심리학자들에게 ‘누구나 구현하고 사용할 수 있는’ 안구운동추적 장치를 만들기 위해 노력하였으며 그 결과로 KSL-240을 개발할 수 있었다. 앞으로 현재 사용된 하드웨어 보다 저비용, 고성능의 장치들이 보급되고, 더 많은 기능을 가진 오픈 소스 소프트웨어가 공개될 것이다. 그러나 기본적인 구조 및 방식에는 큰 변화가 없을 것이다. 향후, KSL-240을 기반으로 하여 보다 향상된 성능을 보일 수 있는 새로운 버전의 저비용 안구운동추적 장치가 개발되어 사용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

손영준, 이상일, 광호완 (2010). 저비용 안구운동추적 장치의 개발과 타당화. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 22(1), 95-107.

이상일, 광호완 (2010). 저비용 안구운동추적 장치의 시공간 해상도 개선. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 22(4), 639-649.

Buswell, G. T. (1922). *Fundamental reading habits: A study of their development*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Huey, E. B. (1968). *The psychology and pedagogy of reading*. Cambridge, MA: MIT Press. (Originally published 1908).

Javier, S. A., Henrik, S., John, P. J., & Dan, W. H. (2009). Low-Cost Gaze Interaction: Ready to Deliver the Promises. *CHI 2009 Spotlight on Works in Progress, Session 2*, 4453-4458.

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.

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.

Zhang, X. & MacKenzie, S. I. (2007). Evaluating eye tracking with ISO 9241-Part 9. *Proceedings of HCI International 2007*, 779-788.

1 차원고접수 : 2011. 11. 20  
수정원고접수 : 2011. 11. 30  
최종게재결정 : 2011. 12. 7

## Verifications of the low-cost eye-tracker KSL-240

Sangil Lee<sup>1)</sup> Yeung-Jun Sohn<sup>1)</sup> Ho-Wan Kwak<sup>1)</sup> Young-Min Jang<sup>2)</sup> Minho Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Kyungpook National University Department of Psychology

<sup>2)</sup>Kyungpook National University School of Electronics Engineering

We tried to verify a low-cost eye tracking device(Model KSL-240) designed in our Lab, using a commercialized eye tracker device(Tobii 1750). Participants were asked either to move eyes or to move mouse cursors to the location of a red circle presented in the target display, and they were assigned to three experimental conditions(KSL-240/Tobii 1750/Mouse Tracking). As results, 1) accuracy of the Mouse Tracking condition was 100%, 2) accuracy of the KSL-240(92%) eye tracking condition showed better performance over the Tobii 1750(79%) condition, 3) mean response time of the eye movements in the KSL-240(598ms) condition was somewhat slower than that of the Tobii 1750(466ms) condition, and the Mouse Tracking (808ms) condition was the slowest. In conclusion, it was suggested that the model KSL-240 eye-tracker could be used as a device which might be able to substitute more expensive, commercialized devices.

*Key words* : KSL-240, eye-tracker, mouse-tracking, Tobii 1750