

Development of a Gaze Fixation Identification Algorithm for Comparison of Performance of Gaze Fixation Induction Methods in Visual Field Testing

Jihyung Lee¹, Nahyun Lee¹, Jaechun Cho¹, Baekhee Lee¹, Kyunghyun Jin², Hyejee Kim²,

Younggyun Kim², Jaheon Kang², and Heecheon You¹

¹Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

²Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong, Seoul, 134-727

ABSTRACT

Objective: The present study to evaluate an ergonomic gaze fixation induction method for gaze fixation during visual field testing developed and applied a gaze fixation identification algorithm to the gaze tracking data analysis. **Background:** Development of the gaze fixation identification algorithm is necessary to evaluate the degree of gaze fixation which is important for checking the reliabilities of visual field testing. **Method:** the present study investigated factors of gaze tracking data and developed an identification algorithm to identify gaze fixation. 32 men and women (29.0 ± 4.4 yr) participated in gaze fixation testing to evaluate three gaze fixation induction methods (black dot, flashing black dot, bulls eye and cross hair) in the aspects of correct fixation rate using gaze fixation identification algorithm. **Results:** It is necessary to analyze gaze location at 0.2 seconds intervals before and after target presenting for identify a gaze fixation in visual field testing. If one of two interval gaze trajectory is belong within visual angle 1° when the gaze tracking data analyzed in 0.2 seconds intervals before and after target presenting, the gaze fixation identification algorithm decide to fix the participant's gaze to a fixation target when the target presents. Correct fixation rate of flashing black dot (91.5%) and bulls eye and cross hair (88.0%) are higher 5.5% and 1.5% than that of black dot (86.7%). **Conclusion:** The analysis using short interval gaze tracking data at before and after target presenting is more effective method in visual field testing for evaluating the degree of gaze fixation. **Application:** The gaze fixation identification algorithm is expected to be effectively used for monitor-based gaze tracking research.

Keywords: Gaze fixation identification algorithm, gaze tracking, visual field testing, gaze fixation induction method

1. Introduction

시선 고정 위치와 시간 정보는 위치 정보 획득, 시각적 정보의 주의력 및 복잡성 파악, 정보의 유형에 따른 인지 부하 측정을 위해 중요하게 활용되고 있다. 시선 고정(gaze fixation)이 이루어진 위치 정보는 사람이 바라보고 있는 곳에 사람이나 사물을 파악하기 위해 이루어진다(Harezlak et al., 2014). 시선고정 시간 정보는 뇌에서 정보 처리가 필요할 정도로 주의력을 요하거나 복잡한 정보인지 파악하거나 학습이나 과제 해결 과정에서 요구되는 인지 부하(cognitive load)를 측정하는데 활용되고 있다(정은용과

남윤주, 2014). 시선 고정 정보는 시선 추적 장치를 통해 수집된 데이터를 분석하여 얻을 수 있다.

시선 추적 장치를 통해 수집되는 시선 추적 데이터는 실험참여자의 머리 움직임이나 눈 외형, 시력 교정 및 패션 렌즈에 의해 영향을 받을 수 있어 정확한 시선 고정 정보를 얻기 위해서는 시선 고정 판별 알고리즘이 필요하다. 시선 추적 장치는 동공을 감지하여 실제 환경이나 모니터 영상에서 시선의 위치를 추정하여 기록해 주는 장치이다(Harezlak et al., 2014; Morimoto and Mimica, 2005). 시선 추적 장치는 동공을 감지하는 과정에서 머리, 팔, 다리 움직임과 호흡 등 신체 움직임, 동공을 덮는 눈꺼풀, 눈썹이나 선천적 동공 기형(Zohreh et al., 2015),

착용한 콘택트 렌즈나 안경에 의해 추정된 위치가 오차가 발생할 수 있다(Drewes, 2010). 시선 고정 정보는 실제 실험환경에서 통제가 가장 어려운 신체 움직임에 의해 영향을 많이 받기 때문에 수집된 시선 추적 데이터 분석 및 판별 알고리즘을 통한 보완이 필요하다.

시선 고정 정보는 시야 검사에서 시신경 부위별 측정 및 검사의 신뢰성 판별을 위해 중요하다. 시야 검사는 시신경 부위별 시기능성을 측정하는 검사로 검사가 종료될 때까지 한 지점에 시선 고정 상태를 유지해야 한다(Lee et al., 2013). 피검자의 시선 고정은 시야 검사가 수행되는 시간(평균 약 5분) 동안 인체의 움직임, 집중력 저하 등으로 유지가 어렵다. 시야 검사가 수행에 사용되는 시야계는 검사 결과의 신뢰성 판별을 위해 맹점시표에 반응하는 비율인 fixation loss rate와 시간 경과에 따라 시선 고정 위치에서 벗어난 정도를 pitch로 나타낸 gaze graph로 판별하고 있다(Carl Zeiss Meditec, Inc, 2005). 그러나 보다 정확한 시선 고정 여부를 파악하기 위해서는 시야검사용 시표가 제시되는 순간 시선 고정 여부를 판별하는 것이 필요하다.

본 연구는 시선 추적 데이터 기반의 시선 고정 판별 알고리즘을 개발하고 시선 고정 정확도를 산출하여 시선 고정 유도 방법의 성능을 비교하였다. 시야 검사 시 시선 추적 데이터를 수집하여 시선 고정 특성을 파악하였다. 시선 고정 여부를 판별할 수 있는 algorithm을 개발하였다. 개발된 시선 고정 판별 algorithm은 시선 고정 실험에 적용되어 그 유용성을 검증하고 고찰하였다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구는 20 ~ 30대 실험참여자 32명(29±4.4세)을 대상으로 시야 검사를 수행하면서 시선 추적 데이터를 수집하였다. 실험참여자는 각각 20대 16명, 30대 16명으로 남녀 비율을 1:1로 모집하였다.

2.2 Apparatus

시선 고정 평가 알고리즘 개발 및 평가를 위해서는 Figure 1와 같이 27" PC monitor와 실험진행용 PC, input device, head positioner 그리고 ViewPoint EyeTracker® (Arrington Research Inc.)가 사용되었다. 27" PC 모니터는 실험참여자한테 시표를 제시하기 위해 사용되었고, 실험참여자와 눈 사이의 거리가 400 mm가 유지되도록 하였다. Input device는 실험참여자가 모니터 화면에 제시되는 시표를 인

지여부를 확인하기 위해 사용되었다. Head positioner는 실험참여자의 머리 움직임을 최소화 하기 위해 사용되었다. ViewPoint EyeTracker®는 실험참여자의 동공을 인식하여 모니터 상에 시선의 위치를 수집하는데 사용되었다.

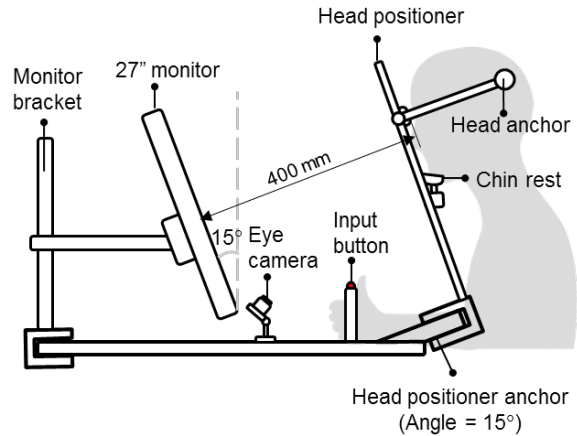


Figure 1. Experiment environment

2.3 Experiment Procedure

시선 추적 데이터 수집은 Figure 2과 같이 S1. 준비, S2. 연습, S3. 실험의 세 단계 절차로 진행되는 시선 고정 실험을 통해 수집되었다(Figure 2). S1에서는 실험에 대한 설명과 동의서를 제공하고, 안면지지대를 위치 시켰다. S2에서는 세 가지 유형의 시선 고정 방법에 대해 실험참여자가 특성을 파악하고 익숙해질 수 있도록 연습을 수행하였다. S3에서는 각 조건별 시선고정 실험을 위해 시선 추적 장치의 calibration을 수행하고 시선 고정 실험을 수행하며 실험참여자의 시선 위치를 추적하였다. 눈의 피로를 저감시키기 위해 각 조건 사이는 1분, 세트 간에는 5분의 휴식시간을 제공하였다.

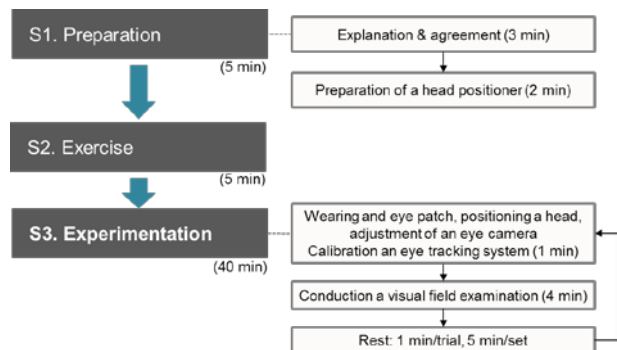


Figure 2. Gaze fixation experiment procedure

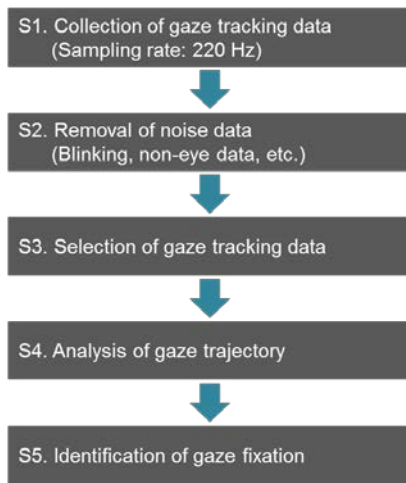


Figure 3. Gaze tracking data analysis procedure

2.4 Gaze Tracking Data Analysis

시선 추적 데이터 분석은 Figure 3과 같이 S1. 시선 추적 데이터 수집, S2. 노이즈 데이터 제거, S3. 시선 추적 데이터 선별, S4. 시선 궤적 분석, S5. 시선 고정 여부 판별의 다섯 단계로 수행되었다. S1단계에서는 시선 추적 장치를 사용하여 sampling rate 220 Hz로 데이터를 수집하였다. S2단계에서는 수집된 데이터에서 blinking, non-eye data, sampling error 등의 노이즈 데이터를 제거하였다. S3단계에서는 시선 고정 판별에 사용할 시선 추적 데이터를 선별하였다. 본 연구에서는 실제 시야검사용 시표가 제시될 때 시선 고정 여부를 파악하기 위해서 시표 제시 전후 0.2초 구간을 선별하였다. S4단계에서는 S3에서 선별된 구간의 궤적을 분석하였다. 이 때, 실험참여자의 머리 움직임에 의한 variation의 영향을 최소화 하기 위해 시야검사용 시표가 제시되는 순간의 시선의 위치를 centralization하고 시선 궤적 분석 구간내의 시선 위치를 이동시켜 분석하였다(Crabb et al., 2014). S5단계에서는 시선 궤적 분석 구간 내의 시선 위치가 시선 고정 허용 범위 내에 위치하는지 판별하였다.

3. Gaze Fixation Identification Algorithm

3.1 Gaze Fixation Criteria

시선 고정 기준은 한 곳을 응시하고 있을 때 안구 운동 상태가 microsaccade 상태일 때의 시선의 위치(시야각 $\leq 1^\circ$) 위치로 정하였다. 사람의 안구는 미세(fine), 추적(pursuit),

도약(saccade) 운동을 하는데(김창희와 이동준, 1995), Engbert and Kliegl (2002)는 미세 운동을 시야각 1° 범위 내에서 안구가 떨리는 microsaccade 규정하고 시선이 고정된 것이라 하였다. 사람의 안구는 카메라처럼 한 점에 초점을 고정시키지 못하기 때문에 본 연구의 시선 고정 기준을 microsaccade 범위인 시야각 1° 이내 영역으로 정하였다.

3.2 Development of Gaze Fixation Identification Algorithm

시선 고정 판별 알고리즘은 Figure 4와 같이 시표 제시 전(before, B)과 후(after, A) 0.2초 구간 중 한 구간이라도 시선의 위치가 시선고정 영역인 시야각 1° 이내에 위치하는 경우를 기준으로 고안하였다. 시선 추적 데이터는 시선 고정을 판별하는 시점의 시선의 위치를 start (S)로 이전의 시선의 위치를 B로, 이후의 시선의 위치를 A로 지정하고 시선이 분포한 각 구간을 gaze location (GL)_{B-S}, GL_{S-A}로 구분하였다. 안구의 도약운동과 같이 비자발적으로 일어나는 시선 이탈은 짧은 시간이라도 시선을 시야각 1° 이내에 유지시키는 것이 불가능하기 때문에 두 구간 중 한 구간이라도 시선 고정 영역에 시선이 유지되는 경우에는 시선고정으로 판별하였다. 그리고 두 구간 모두 시선이 이탈된 경우에만 시선 고정이 되지 않은 것으로 판별되는 알고리즘을 개발하였다.

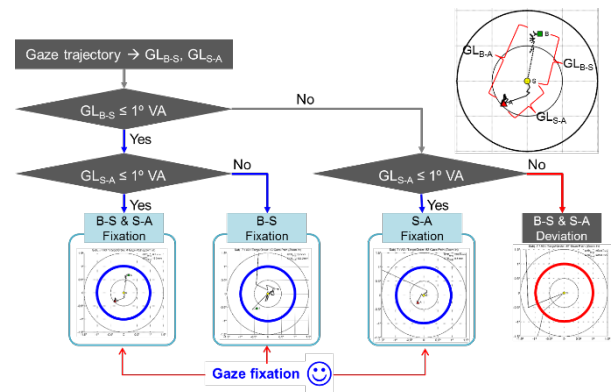


Figure 4. Gaze fixation identification algorithm

4. Application

본 연구에서 개발된 시선 고정 판별 알고리즘은 시야 검사에서 시선을 유도하는 방법의 성능을 판별하는 데 적용하였다. 사전 연구에서 시야 검사의 시선을 유도할 수 있는 방법으로 Figure 5와 같이 4 Hz로 깜박이는 flashing black dot (FBD)과 십자가 과녁 모양의 bulls eye and cross hair

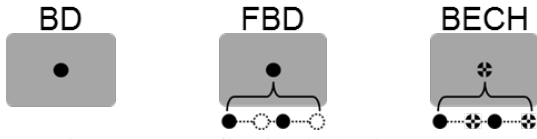


Figure 5. Gaze fixation induction methods

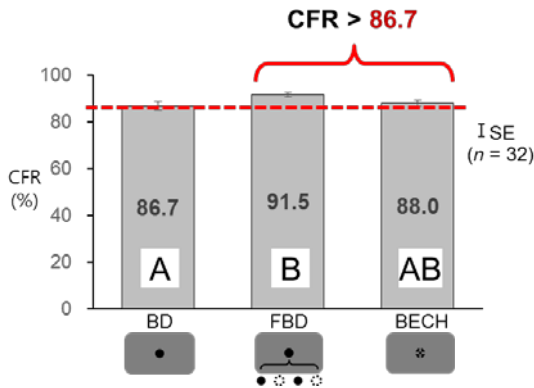
(BECH)을 고안 하였고 기존의 방법은 단순한 점 형태의 black dot (BD)로 구현하였다. 세 가지 방법의 시선 고정 성능을 비교하기 위해서 각 방법을 적용한 상태에서 시표가 제시되는 총 횟수(236회) 대비 시표가 제시되는 순간 시선 고정된 경우의 비율을 시선 고정 정확도(correct fixation rate, CFR)로 정하여 산출하였다(equation 1). 시선 고정 여부 판별을 위해 시선 고정 판별 알고리즘을 사용하였다.

$$CFR = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \times 100 \quad (1)$$

Where, $F_i \begin{cases} 1: \text{gaze location every target presenting time} \leq 1^\circ \\ 0: \text{o/w} \end{cases}$
 n : total number of targets
 i : 1, 2, 3, ..., n

시선 고정 판별 알고리즘을 적용하여 시선 고정 정확도를 비교 분석한 결과 CFR을 분석한 결과 기존 방법에 비해 FBD가 4.8% 높게 분석되었다. 시선 고정 판별 알고리즘은 세 가지 유형의 시선 고정 유도 방법의 시선 고정 성능의 차이를 판별할 수 있었다. 기존 방법인 BD에 비해 새롭게 고안된 FBD와 BECH 방법의 시선 고정 성능이 우수한 것으로 분석되었다. FBD는 기존 BD방법에 비해 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다($F[2, 177] = 3.20$, $p = .043$). 통계적 유의성 분석을 위해 ANOVA를 수행하고, 사후 분석으로 Tukey-Kramer test를 수행하였다.

Figure 6. Correct fixation rate



5. Discussion

본 연구는 인체의 움직임에 의해 시선 고정 여부를 판별하기 어려운 시선 추적 데이터로부터 시선 고정 여부를 판별할 수 있는 알고리즘을 개발하여 시선 추적 데이터의 활용도를 제고하였다. 시선 추적 데이터는 실험참여자의 신체의 움직임 특히, 머리 움직임에 영향을 많이 받는다(Zohreh et al., 2015). 이러한 머리 움직임을 고려하여 시선의 위치를 추정하거나 두 대 이상의 카메라를 이용하여 보정하는 방법 등이 제안되고 있으나 보정이 불가능한 움직임이나 상황에서는 측정된 데이터를 사용하여 시선 고정 정보 추출이 어려울 수 있다. 본 연구는 실험참여자의 머리 움직임이 있더라도 시선 고정을 판별하고자 하는 시점 전후의 짧은 시간의 시선의 위치를 분석하여 시선 고정 여부를 판별할 수 있도록 함으로써 시선 추적 데이터를 보다 유용하게 활용할 수 있게 되었다.

본 연구에서 개발된 시선 고정 판별 알고리즘은 짧은 시간 동안의 시선 고정 여부 판별에 특화되어 있다. 기존 시선 추적 연구는 광고·마케팅 연구, 화면 설계, 입력 인터페이스 개발 등 전반적인 경향이나 선호도 파악 중심의 연구에 활용되었다. 본 연구의 시선 고정 판별 알고리즘은 시야 검사와 같이 시야 검사용 시표가 0.2초와 같이 짧게 나타났다 사라지는 동안 시선 고정 여부를 성공적으로 파악하였기 때문에 순간적이 사건이나 이벤트가 발생했을 때 시선 고정 정도를 비교하는 연구에 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구의 시선 고정 판별 알고리즘은 웨어러블 방식의 시선 추적 장비와 같이 측정 범위가 한정되지 않는 경우에 적용 가능한 것인지 검증이 필요하다. 본 연구는 시야 검사와 같이 한정된 공간에서 측정된 시선 추적 데이터를 사용하여 시선 고정 여부를 판별하였으나 goggle 방식의 시선 추적 장치와 같이 다양한 공간에서 기록된 영상이나 측정된 시야 데이터에 적용하여 그 유용성을 검증해 보아야 한다.

Acknowledgements

The present research was supported by ministry of health & welfare as “Health & Medical Technology Development Project (HI14C0818).”

References

- Carl Zeiss Meditec Inc. Humphrey® Field Analyzer II-i series User Manual, 92-93, 2005.
- Crabb, D. P., Smith, N. D., and Zhu, H., What's on TV? Detecting age-related neurodegenerative eye disease using eye movement scanpaths, *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6(312), 1-10, 2014.
- Drewes, H. Eye gaze tracking for human computer interaction. Unpublished doctoral dissertation, Ludwig Maximilian University of Munich, Germany, 2010.
- Engbert, R., Kliegl, R., Microsaccades uncover the orientation of covert attention, *Vision Research*, 43(9), 1035-45, 2003.
- Harezziak, K., Kasprowski, P., and Stasch, M., Towards accurate eye tracker calibration – methods and procedures, *Procedia Computer Science*, 35, 1073-1081, 2014.
- Morimoto, C. H., Mimica, M. R., Eye gaze tracking techniques for interactive applications, *Computer Vision and Image Understanding*, 98(1), 4-24, 2005.
- Zohreh, S., Soh, Z., and Guéhéneuc, Y., A systematic literature review on the usage of eye-tracking in software engineering. *Information and Software Technology*, 67, 79-107, 2015.
- 김창희, 이동춘, 한글 인식과정에서의 안구운동 특성분석, *대한인간공학회 1995년 학술대회논문집*, 1, 199-208, 1995.
- 이지형, 이백희, 박현지, 최정환, 유희진, 강자현, PC기반 시야검사를 통한 효과적인 시선고정 유도방법 연구, *대한안과학회지*, 54(9), 1401-1406, 2013.
- 정은용, 남윤주, 그림정보의 명확성이 비주얼 광고텍스트의 이해전략에 미치는 영향, *텍스트 언어학*, 36, 323-354, 2014.

Author listings

- Jihyung Lee:** iwoneye@postech.ac.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH
Position title: Ph.D., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH
Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Ergonomic Interface System for the Disabled Person
- Nahyeon Lee:** dnnh1218@postech.ac.kr
Highest degree: B.S., Industrial Design Engineering, KOREATECH
Position title: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH
Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Usability testing

- JaeChun Cho:** jae1000@postech.ac.kr
Highest degree: Geumseong High School
Position title: Undergraduate student, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH
Areas of interest: Information Management, Appropriate Technology

- Baekhee Lee:** x200won@postech.ac.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH
Position title: Ph.D., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH
Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Vehicle Ergonomics

- Kyunghyun Jin:** woc-dew@hanmail.net
Highest degree: M.D., Medical College of Kyung Hee University
Position title: Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong
Areas of interest: General ophthalmology

- Hyejee Kim:** kamyc@hanmail.net
Highest degree: Ph.D., Medical College of Kyung Hee University
Position title: Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong
Areas of interest: General ophthalmology

- Younggyun Kim:** eyedockim@naver.com
Highest degree: M.D. Medical College of Kyung Hee University
Position title: Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong
Areas of interest: Retina

- Jaheon Kang:** kjh0614@khu.ac.kr
Highest degree: Ph.D., Medical College of Kyung Hee University
Position title: Chairman, Department of Ophthalmology, Kyung Hee University Hospital at Gangdong
Areas of interest: Glaucoma

- Heecheon You:** hcyou@postech.ac.kr
Highest degree: Ph.D., Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Associate Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Department of Creative IT Excellence Engineering, POSTECH
Areas of interest: Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing