Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 42, No. 6, pp. 412-420, December 2016.
ISSN 1225-0988 | EISSN 2234-6457
https://doi.org/10.7232/JKIIE.2016.42.6.412
© 2016 KIIE
<Application Research>

시선 고정 유도방법이 시야 검사에 미치는 영향

이지형[1] · 최영근[1] · Xiaopeng Yang[1] · 이나현[1] · 오건희[1] · 김영균[2] · 강자헌[2] · 유희천[1†]

[1]포항공과대학교 산업경영공학과/ [2]경희대학교 의과대학

The Effect of Gaze Fixation Induction Method on Visual Field Testing

Jihyung Lee[1] · Younggeun Choi[1] · Xiaopeng Yang[1] · Nahyun Lee[1] · Gunhee Oh[1]
Young Gyun Kim[2] · Jaheon Kang[2] · Heecheon You[1]

[1]Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology
[2]Kyung Hee University Hospital at Gangdong, College of Medicine, Kyung Hee University

A visual field tester using a fixation target with a lack of distinctiveness decreases accuracy and usability in visual field testing. The present study is intended to develop various induction methods of gaze fixation for effective visual field testing. Proposed were four new gaze fixation induction methods (color changing dot; alphanumeric characters; flashing black dot; and bulls eye and cross hair, BECH) by considering visual attention factors such as color, meaning, flashing, and shape and the proposed methods were compared with the existing black dot (BD) method in terms of gaze fixation performance and subjective satisfaction by 32 participants in their 20s to 30s. BECH was found most preferred by increasing gaze fixation performance by 4.8% and subjective satisfaction by 0.4 to 2.0 in a 7-point scale compared to BD. BECH can be applied to tests such as visual field testing and macular pigment optical density testing in which gaze fixation is crucial for accuracy and usability.

Keywords: Gaze Fixation Induction Method, Visual Field Testing, Glaucoma, Eye Tracking, Bulls Eye and Cross Hair

1. Introduction

안과 질환 진단을 위한 시야 검사 시 시선 고정은 시야 검사 결과의 신뢰성에 중요한 영향을 준다. 시야 검사는 피검사자가 중심 시표(fixation target)에 시선을 고정시킨 상태에서 주변에 제시되는 다양한 밝기의 시표에 대한 인지 여부를 기록하여 시야 범위와 빛에 대한 민감도를 평가하는 검사이다(Dersu and Wiggins, 2006). 피검사자의 시선이 중심 시표가 아닌 다른 위치에 고정된 상태에서 시야 검사가 수행되면 측정하고자 한 시신경 부위가 아닌 다른 부위가 측정되어 검사 결과의 신뢰성이 저하되므로 시야 검사 시 시선 고정은 신중하게 통제되어야 한다.

기존 시야 검사 장비(시야계)에는 피검사자의 시선을 고정시키기 위해 발광다이오드나 dot형상의 중심 시표가 사용되고 있다. 표준자동시야계(standard automated perimetry, SAP)로 사용되고 있는 Humphrey Field Analyzer *i*-II series(Carl Zeiss Meditec, Inc. USA)와 M700(Medmont International Pty, Ltd. AUS)은 중심 시표로 노란색 발광다이오드를, AP-5000(Kowa Company, Ltd., JPN)은 붉은색 발광다이오드를, Humphrey® MatrixTM (Carl Zeiss Meditec, Inc. USA)은 검은색 정사각형 심볼을 사용하고 있다. 그 외에도 다양한 색상의 발광다이오드나 원형의 심볼이 중심 시표로 활용되고 있다.

본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임(과제고유번호 : HI14C0818).
† 연락저자 : 유희천 교수, 36763 경상북도 포항시 남구 청암로 77 포항공과대학교 산업경영공학과, Tel : 054-279-2210, Fax : 054-279-2820, E-mail : hcyou@postech.ac.kr
2016년 8월 1일 접수; 2016년 11월 29일 수정본 접수; 2016년 12월 3일 게재 확정.

기존 시야계들에 중심 시표로 활용되고 있는 단순한 방법들은 중심 시표로 시선을 유도하는 특별한 요인이 없어 피검자가 시선 고정을 제대로 못하는 경우가 종종 발생된다. 정확한 시야 검사 결과를 얻기 위해서는 시야 검사 시 시선이 중심 시표에 고정된 상태를 유지해야 하는데, 기존 시야계들은 단순한 형상을 중심 시표로 사용하고 있어 단안별 평균 5분간 수행되는 시야 검사 동안 피검사자들은 중심 시표에 시선을 고정시키기 위해 지속적으로 노력해야 한다. 또한, 눈은 작은 자극에도 쉽게 반응하기 때문에 피검사자들이 검사시간 동안 자발적으로 중심 시표에 시선을 고정된 상태로 유지하는 것은 쉽지 않다. 따라서, 시야 검사 시 피검사자의 시선을 중심 시표로 자연스럽게 유도하여 시선 고정 상태를 지속적으로 유지시킬 수 있는 효과적인 방법 개발이 필요하다.

본 연구는 시야 검사의 정확성 향상을 위한 시선 고정 유도 방법들을 개발하고 시선 고정 성능과 주관적 만족도 측면에서 개발된 방법들을 비교하고 유효성을 분석하였다. 신규 시선 고정 유도 방법들은 시각적 주의를 집중시키는 color, alphanumeric, flashing, 그리고 shape 요소를 고려하여 개발되었다. 시야 검사 시 시선 고정 성능은 기존 시야 검사에서 사용되고 있는 신뢰성 척도(맹점 시표 반응률, 가양성 시표 반응률)와 eye tracking system을 활용하여 측정된 시선 위치 정보를 사용하여 평가되었고, 주관적 만족도는 시선 고정 용이성, 눈피로도, 그리고 전반적 만족도를 사용하여 평가되었다. 마지막으로, 시선 고정 성능과 주관적 만족도가 높은 시선 고정 유도 방법의 특성을 분석하여 시야 검사 시 시선 고정에 효과적인 시각적 요소를 파악하였다.

2. Method

2.1 시선 고정 유도 방법 개발

기존 시야계에서 중심 시표로 사용되는 black dot(BD)과 대비하여 시각적 coding에 활용되는 방법들(Sanders and McCormick, 1993) 중 color, alphanumeric characters, flash, shape을 적용하여 changing color dot(CCD), alphanumeric characters(AC), flashing black dot(FBD) 그리고 bulls eye and cross hair(BECH)의 <Table 1>과 같은 네 가지 신규 중심 시표들이 개발되었다. Color는 탐색과업에서 다른 요소들보다 효과적이기 때문에(Christ, 1975) 단색으로 유지되는 중심 시표 대신 시표가 제시될 때마다 중심 시표의 색상이 빨강, 주황, 노랑, 청록, 그리고 보라(Munsell의 주요 5색; Munsell, 1905)의 다섯 가지 색상 중 무작위 순서로 변경되는 CCD 방법이 제안되었다. Alphanumeric은 내용의 확인을 유도하는 자극이기 때문에, 영어 대문자 A, B, C와 숫자 1, 2, 3이 주변 시표가 제시될 때마다 무작위 순서로 제시되는 AC 방법이 제안되었다. Flash는 비자발적으로 시선을 끌 수 있기 때문에(Connors, 1975), BD가 1초에 4번 깜박이는 FBD 방법이 제안되었다. 마지막으로, shape은 단순한 것보다는 복잡하면서 대칭되는 특성을 가진 것이 시선을 끄는 효과가 있기 때문에(박진희, 2010; Thaler *et al*., 2013) 검은 색 원 배경에 십자 형상과 크기가 작은 점이 겹쳐져 있는 BECH 방법이 제안되었다.

2.2 실험참여자

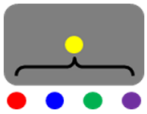
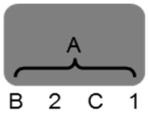
시야에 문제가 없고 신체 건강한 20~30대 정상인 32명(남 : 16, 여 : 16; 연령 = 29.0 ± 4.4)이 본 시선 고정 유도 방법의 영향 평가에 모집되었다. 정상인 선별기준은 교정시력 ≥ 0.7이며, 시야 장애가 없고, 색맹, 백내장 등의 안과질환이 없는 사람을 대상으로 하였다.

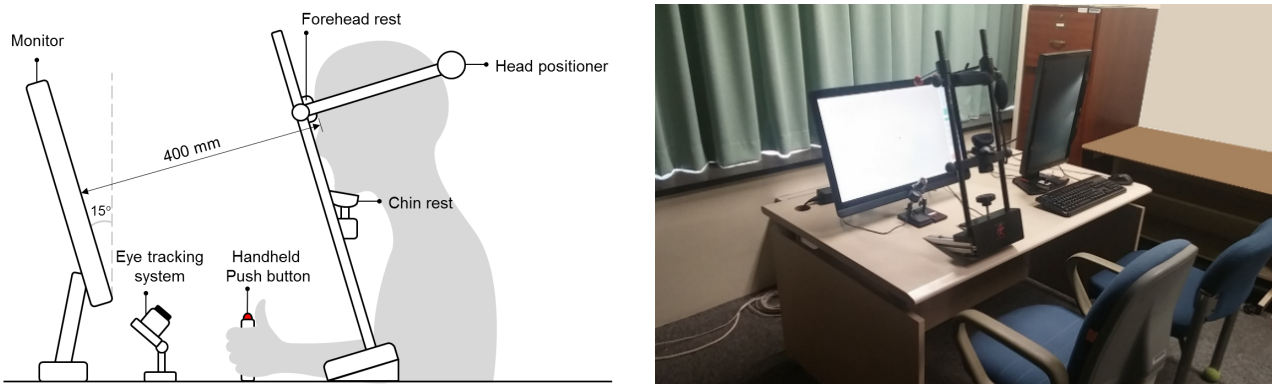
2.3 실험장비

(1) Hardware

시선 고정 유도 방법 평가 실험을 위해 모니터, 안대, handheld push button, head positioner, 그리고 eye tracking system이 사용되었다(<Figure 1> 참조). 시야 검사 시표는 27" LED 모니터(resolution : 2,560×1,440; pixel pitch : 0.233mm)에 제시되었으며, 시선 고정 평가 실험 시 검사하지 않는 눈은 안대로 가리었고, 시표 인지 시 실험참여자가 handheld push button(Delcom Products Inc., USA)을 누르도록 지시하였다. 실험 중 실험참여자의 머리 움직임은 head positioner(Arrington Research, Inc., USA)를 사용하여 제한하였고, 이마와 턱 지지대 부분에는 접촉감 향상을 위해 부드러운 천을 부착하였으며, 편안한 자세를 위해 모니터 각도를 15°로 기울였다. 마지막으로, 시선 고정 유

Table 1. Gaze Fixation Induction Methods

Reference	Visual Attention Factor			
	Color	Alphanumeric	Flashing	Shape
Black dot (BD)	 Changing color dot (CCD)	 Alphanumeric Characters (AC)	Flashing black dot (FBD)	Bulls eye & cross hair (BECH)



(a) Side View (b) Real Environment

Figure 1. The Experimental Setup of Gaze Fixation Induction Method Assessment

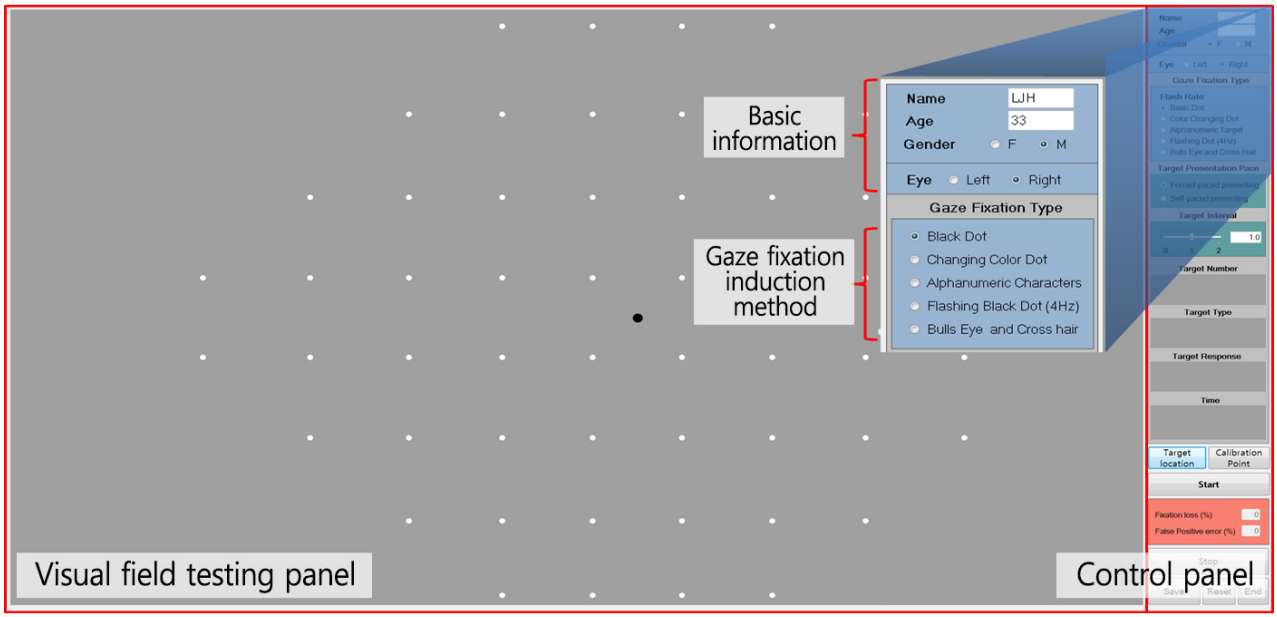


Figure 2. The Interface of the Visual Field Testing Program Developed in the Study

도 방법 평가 실험이 진행되는 동안 실험참여자가 주시하고 있는 모니터 상의 시선의 위치를 추적하기 위해 eye tracking system(ViewPoint EyeTracker®, Arrington Research, Inc., USA)이 사용되었다.

(2) Software

시선 고정 유도 방법의 성능과 주관적 만족도를 시야 검사 환경에서 평가하기 위해 시야 검사 영역과 프로그램 제어 영역으로 구성된 시선 고정 성능평가 프로그램이 사용되었다(<Figure 2> 참조). 시야 검사 범위는 임상에서 주로 사용되고 있는 시야각 24° 이내 영역(Michael *et al*., 2007)으로 하였고, 주변 시표는 표준자동시야계(SAP)의 central 24-2 test pattern (superior, inferior, nasal 24°, 그리고 temporal 30° 영역 내에 6° 간격의 54개 grid의 각 중심에 시표가 위치함)을 기반으로 제시되었다. 시표로는 시야 영역을 파악하기 위해 중심 시표 주변에 제시되는 주변 시표(stimulus), 시선 고정 여부를 파악하기 위해 맹점위치에 제시되는 맹점 시표(blind spot), 피검사자가 반복적인 입력을 수행하다 시표가 제시되지 않았음에도 반응하는 경우를 확인하기 위한 가양성 시표(false positive error target)가 사용되었다. 세 가지 유형의 시표는 임상에서 사용되는 전문 시야 검사 장비의 시표 구성(주변 시표는 54개 위치에 4~6회, 맹점 시표와 가양성 시표는 각각 10~13회 반복 제시)을 참고하여 주변 시표는 54개의 지정된 위치에 4회씩, 맹점 시표는 맹점 위치에 10회, 가양성 시표는 투명한 시표가 10회, 총 236회가 제시되도록 조합하였고, 시표는 매 실험별 무작위 순서로 제시되도록 하였다. 한편, 프로그램 제어 영역은 실험참여자 정보 입력, 시선 고정 유도 방법 선택, 진행상황 모니터링, 그리고 시야 검사를 진행할 수 있도록 설계된 인터페이스로 구성되었다. 시선 고정 유도 방법 평가 프로그램은 Microsoft Visual Studio 2010의 C#언어를 기반으로 개발되었다.

2.4 실험 절차

시선 고정 유도 방법 평가 실험은 (1) 실험 안내 및 준비, (2) 연습, (3) 보정(calibration), (4) 시야 검사, (5) 주관적 평가, 그리고 (6) 휴식 단계로 구성되었다. 실험 안내 및 준비 단계에서는 실험참여자에게 실험 내용을 설명한 후 실험참여자의 시선이 모니터 화면을 벗어나지 않도록 하기 위해 실험참여자의 머리를 head positioner에 고정시켰다. 연습 단계에서는 실험참여자에게 각 시선 고정 유도 방법에 대해 20초 동안 익숙해지도록 하였다. 보정 단계에서는 27" 모니터 화면을 2×2 격자로 분할하여 9개의 교차점에 무작위 순서로 시선을 유도하는 시표를 제시하며 모니터 상의 시선 위치와 eye tracking system으로 측정되는 동공의 위치를 일치화하였다. 시야 검사 단계에서는 선정된 시선 고정 유도 방법을 기반으로 중심 시표와 주변 시표를 제시하며 시야 검사를 수행하였다. 시선 고정 유도 방법 제시는 기존 방법인 BD를 적용한 후, 신규 제안된 4가지 방법들을 balanced Latin square 기법을 적용한 순서에 따라 제시하였다. 주관적 만족도 평가는 11-point Likert bipolar scale(±5점)를 사용하여 BD 방법을 기준으로 상대적으로 평가하도록 진행되었다. 실험에 따른 참여자의 눈 피로에 대한 영향을 최소화하기 위하여 실험 조건 사이에 5분의 휴식시간(요청 시 추가 휴식 시간 허용)이 제공되었다. 본 실험은 각 실험 조건별 2회 반복 실험을 수행하여 실험참여자별 약 120분이 소요되었다.

2.5 시선 고정 성능 분석

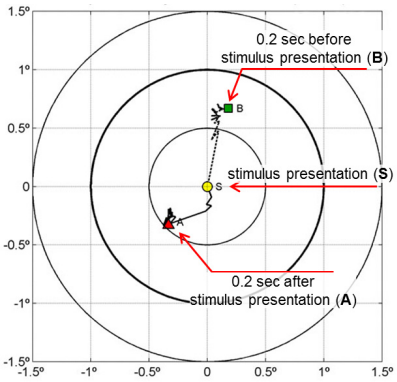
시선 고정 유도 방법의 성능은 '1-맹점 시표 반응률(blind spot response rate, BS_RR)', '1-가양성 시표 반응률(false positive target response rate, FPT_RR)', 시선 고정 정확도(correct fixation rate, CFR)에 의해 평가되었다. BS_RR은 맹점 위치에 시표가 무작위 순서로 제시될 때(본 연구의 경우 실험 조건별 총 10회 제공) 실험참여자가 반응한 비율로서 시야 검사 중 중심 시표에 시선 고정이 잘 되지 못하였음을 나타낸다. FPT_RR는 시표를 제시하지 않고 소리만 들려주었을 때(본 연구의 경우 실험 조건별 총 10회 제시) 실험참여자가 반응한 비율로서 실험참여자의 시표 인식 반응의 허위 여부를 나타낸다. 마지막으로, CFR은 Equation 1과 같이 시표가 제시되는 동안 시선이 중심 시표에 고정된 비율을 나타내며, 중심 시표에 시선 고정 여부 판단 기준은 <Figure 3>(a)와 같이 시야 검사 시 주변 시표 제시 전 0.2초 동안과 제시되는 0.2초 동안(Carl Zeiss Meditec Inc., 2005) 실험참여자의 시선 위치가 중심 시표를 중심으로 시야각 반경 1°이내에 위치한 경우로 정의되었다. CFR 산출을 위해 사용된 시선 추적 데이터는 (1) 시선 추적 데이터 수집, (2) 노이즈 데이터 제거, (3) 시선 추적 데이터 추출, (4) 시선 궤적 분석, (5) 시선 고정 여부 판별의 순차적 단계를 따라 분석되었다. 시선 추적 단계에서는 eye tracking system을 사용하여 sampling rate 220Hz의 속도로 시선 위치 데이터를 수집하였다. 노이즈 제거 단계에서는 수집된 시선 위치 데이터에서 눈 깜박임으로 손상된 데이터와 장비 측정 오류가 발생한 데이터는 제거하였다. 시선 추적 데이터 추출 단계에서는 시선 고정 여부 판별에 사용하기 위해 주변 시표가 제시되기 전 0.2초부터 제시 후 0.2초까지의 시선 추적 데이터를 추출하였다. 시선 궤적 분석 단계에서는 <Figure 3>(a)와 같이 추출된 시선 위치 정보를 주변 시표가 제시되기 전 0.2초 시점의 시선 위치를 before(B), 제시되는 시점의 시선 위치를 start(S), 그리고 제시 후 0.2초 시점의 시선 위치를 after (A)로 정하고, S를 기점으로 B에서 S까지의 구간을 gaze trajectory(GT)B-S, S에서 A까지의 구간을 GTS-A으로 구분하여 궤적을 분석하였다. 시선 궤적 분석 시 실험 참여자의 머리 움직임에 의해 측정 offset이 발생하게 되는데 이의 영향을 상쇄하기 위해 기점이 되는 S를 중심 시표 위치로 이동시켜 궤적을 분석하였다(Crabb *et al.*, 2014). 분석된 궤적은 Johnston and Leek(2009)의 시선 고정 기준(시야각 반경 1° 이내)에 따라 <Figure 3>(b)와 같이 4가지 유형(B-S & S-A fixation, B-S fixation, S-A fixation, B-S & S-A deviation)으로 분류하였다.

$$CFR(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i}{n} \times 100 \qquad \text{(Equation 1)}$$

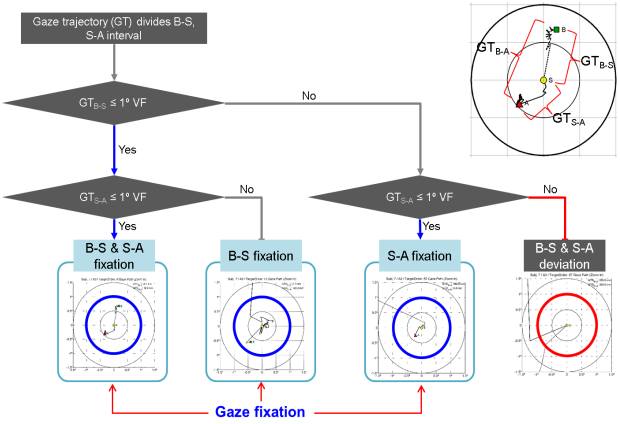
$$where,\ F_i = \begin{cases} 1, & All\ gaze\ locations\ are\ from - 0.2\ \sec to\ 0.2\ sec \\ & within\ radius\ 1^\circ \qquad \text{or} - 0.2\ \sec to\ 0.0\ sec \\ & \qquad\qquad\qquad\ or \quad 0.0\ sec \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

$$i = 1, 2, 3, \cdots, n$$

$$n = total\ number\ of\ target\ (= 236)$$



(a) Gaze location point



(b) Gaze Fixation Determination Procedure

Figure 3. Analysis of Gaze Fixation

2.6 시선 고정 주관적 만족도 분석

시선 고정 유도 방법의 주관적 만족도는 시선 고정 용이성(ease of gaze fixation, EGF), 눈 피로도(eye fatigue, EF), 그리고 전반적 만족도(overall satisfaction, OS) 측면에서 평가되었다. 시선 고정 용이성은 시야 검사 실험 중 시선 고정용 시표에 시선을 고정하기 쉬운 정도를 평가하는 항목이다. 눈 피로도는 실험참여자가 개발된 시선 고정 유도 방법을 사용하여 시야 검사 실험을 수행한 후 느끼는 눈의 피로도를 평가하는 항목이다. 전반적 만족도는 각 시선 고정 유도 방법을 사용하였을 때 시야 검사의 만족스러운 정도를 평가하는 항목이다.

2.7 통계분석

시선 고정 유도 방법에 따른 시선 고정 성능과 주관적 만족도의 통계적 유의성을 파악하기 위해 Bartlett's test에 의한 분산의 동질성 검정, 시선 고정 유도 방법 유의성 검정, 그리고 사후분석으로 다중 평균 비교 검정이 수행되었다. 통계분석의 변별력을 높이기 위해 반복 측정 및 평가 결과는 평균을 산출하여 사용하지 않고 개별 데이터를 분석에 사용하였다. Bartlett's test에 의해 분산이 통계적으로 동질적으로 파악된 경우 일원분산분석(one-way ANOVA)과 Tukey-Kramer test를 수행하였고, 분산이 동질적이 아닌 것으로 파악된 경우 Brown and Forsythe's test와 Dunnett's T3 test를 수행하였다.

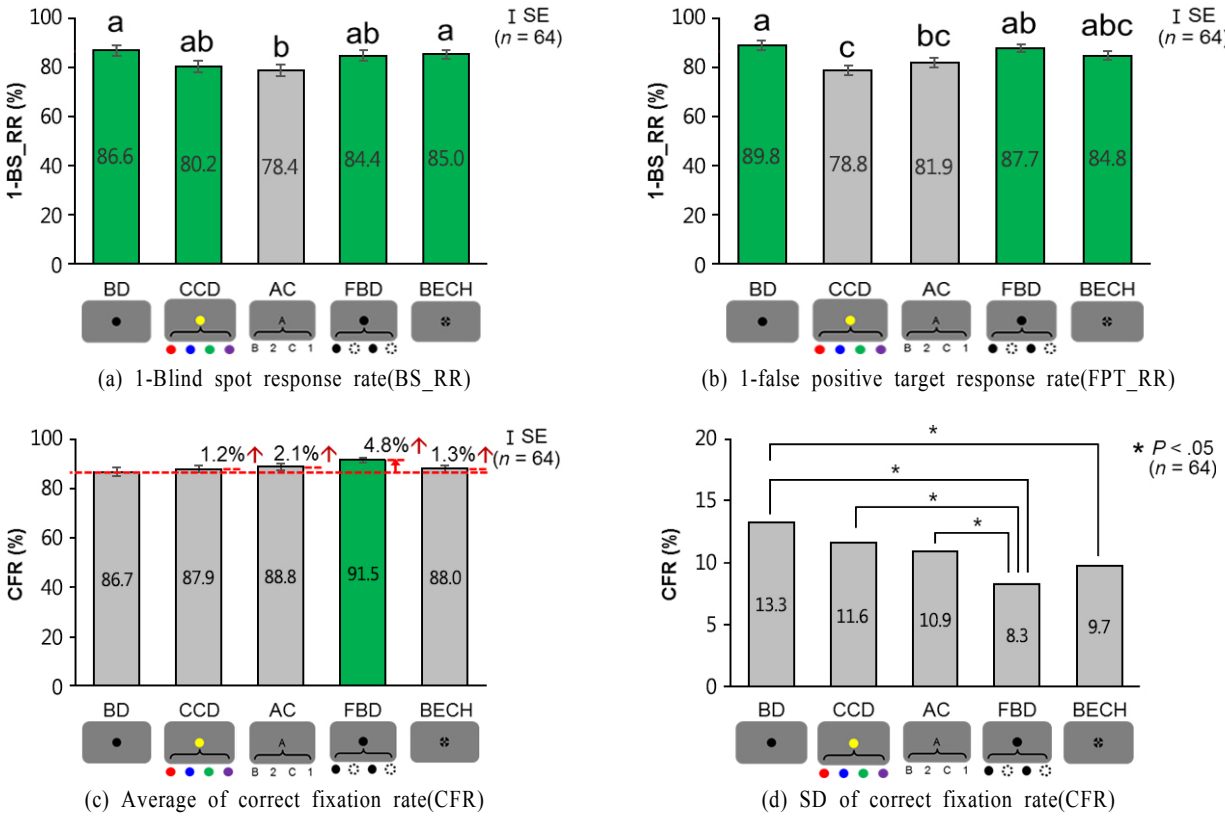
3. Results

3.1 1-맹점 시표 반응률(Blind Spot Response Rate, BS_RR)

'1-맹점 시표 반응률'은 기존 방법인 BD를 사용하였을 때 86.6%로 가장 높게 나타났다(<Figure 4>(a); F [4, 124] = 4.29, p = .003). CCD(80.2%), FBD(84.4%), 그리고 BECH(85.0%) 방법은 BD 방법과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 AC(78.4%) 방법은 통계적으로 유의하게 낮은 값을 나타내었으며, 시야 검사 중 맹점위치에 시표가 제시되었을 때 실험참여자들이 가장 많이 반응하는 방법으로 파악되었다.

3.2 1-가양성 시표 반응률(False Positive Target Response Rate, FPT_RR)

'1-가양성 시표 반응률'은 기존 BD 방법을 사용하였을 때 89.1%로 가장 높게 나타났다(<Figure 4>(b); F [4, 44] = 3.81, p = .008). FBD(87.7%)와 BECH(84.9%) 방법은 BD 방법과 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, CCD(78.8%)와 AC(81.9%) 방법은 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다. CCD 방법은 주변 시표가 제시되지 않고 소리만 들리는 가양성 시표가 제시되었을 때 실험참여자들이 가장 많이 반응하는 방법으로 파악되었다.



(a) 1-Blind spot response rate(BS_RR)

(b) 1-false positive target response rate(FPT_RR)

(c) Average of correct fixation rate(CFR)

(d) SD of correct fixation rate(CFR)

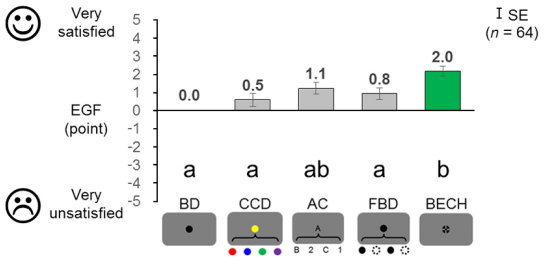
Figure 4. Performance of Gaze Fixation Induction Methods

3.3 시선 고정 정확도(Correct Fixation Rate, CFR)

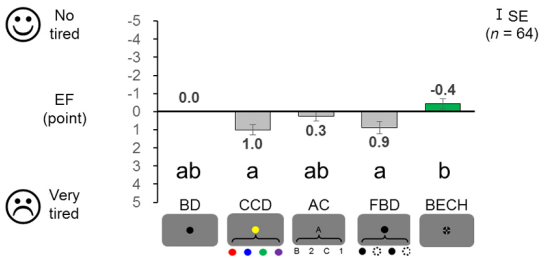
시선 고정 정확도는 평균 측면에서는 기존 방법인 BD(87.6%) 대비 신규 방법들(CCD = 87.9%, AC = 88.8%, FBD = 91.5%, BECH = 88.0%; <Figure 4>(c))의 평균값이 높게 나타났으며, FBD 방법이 91.5%로 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한, 시선 고정 정확도의 분산 측면에서는 FDB가 8.3%로 가장 낮게 나타나 시선 고정 안정성도 높은 것으로 분석되었다(BD = 13.3%, CCD = 11.6%, AC = 10.9%, BECH = 9.7%; <Figure 4>(d)).

3.4 주관적 만족도

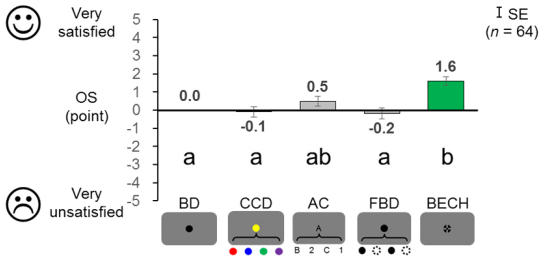
주관적 만족도는 BECH 방법이 기존 방법인 BD 방법에 비해 시선 고정 용이성, 눈 피로도, 그리고 전반적 만족도 측면에서 가장 높은 것으로 평가되었다. 시선 고정 용이성은 BECH 방법(2.0점)이 다른 방법들에 비해 통계적으로 유의하게 높은 것으로 분석되었다(CCD = 0.5점. AC = 1.1점, FBD =0.8; F [4, 124] = 6.60, p < .001; <Figure 5>(a)). 눈 피로도는 BECH 방법(-0.4점)이 BD 방법에 비해 눈 피로도가 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났고 CCD 방법(1.0점)이 눈 피로도가 가장 높은 것으로 평가되었다(AC = 0.3점, FBD = 0.9점; F [4, 124] = 3.32, p = .017; <Figure 5>(b)). 전반적 만족도는 BD 방법에 비해 BECH 방법(1.6점)과 AC 방법(0.5점)이 높은 것으로 분석되었다(CCD = -0.1점, FBD = -0.2점; F [4, 124] = 5.76, p < .001; <Figure 5>(c)).



(a) Ease of gaze fixation(EGF)



(b) Eye fatigue(EF)



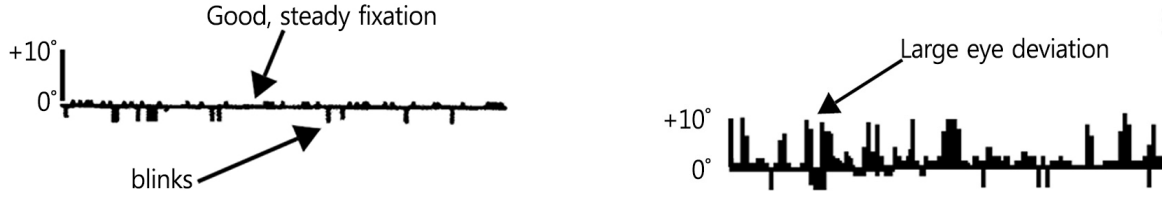
(c) Overall satisfaction (OS)

Figure 5. Subjective Satisfaction

4. Discussion

본 연구는 맹점을 포함한 시야 검사 영역에서 주변 시표 제시 전후의 시선 추적 궤적을 분석함으로써 피검사자의 머리 움직임에 의한 시선 위치 측정 오류를 최소화하며 주변 시표 제시 시 중심 시표에 시선 고정 여부를 평가하는 방안을 제시하였다. 표준자동시야계(SAP)는 시야 검사 시 중심 시표에 피검사자의 시선 고정 여부를 평가하기 위해 fixation loss rate(FLR)와 gaze graph(<Figure 6>)를 제공하여 재검사 여부 결정에 활용되는데(Carl Zeiss Meditec. Inc., 2005) 시야 검사 영역 포괄성 측면과 정확성 측면에서 각각 한계가 있다. 맹점에 시표가 제시되었을 때 반응한 비율을 나타내는 FLR의 경우 20%이상이면 재검사가 추천되는데(Dersu and Wiggins, 2006), FLR은 주변 시표가 맹점 위치에 제시되는 순간 피검사자의 시선 고정 여부는 파악할 수 있으나 그 이외의 영역에 주변 시표가 제시될 때 시선 고정 여부를 파악할 수 없다는 한계가 있다. 한편, gaze graph는 시야계 내부에 탑재된 시선 추적 장치를 이용하여 주변 시표가 제시될 때 피검사자의 시선이 중심 시표로부터 이탈된 정도(시선 이탈각)를 시간의 경과에 따라 막대그래프로 제공하는 방법으로서 시선 이탈각이 높은 경우 재검사가 추천되는데(Carl Zeiss Meditec. Inc., 2005), 피검사자의 머리 움직임에 의해 시선 추적 장치의 시선 위치 측정 오차가 발생되어 측정된 시선 이탈각의 정확성이 저하되는 한계가 있다(Sharafi *et al*., 2015). 반면, 본 연구는 맹점을 포함한 시야 검사 영역에서 주변 시표 제시 전후 0.2초 동안 측정된 시선 궤적에 대해 주변 시표 제시 시 측정된 시선 위치를 중심으로 시표 제시 전후의 시선 궤적 패턴을 분석하여 시선 고정 여부를 판별함으로써 피검사자의 머리 움직임에 의해 발생되는 시선 측정 오차의 영향을 상쇄할 수 있었다.

본 연구의 선호 시선 고정 유도 방법은 기존 시야계에서 사용되고 있는 FLR(본 연구의 맹점 시표 반응률에 해당)과 false positive error rate(FPER, 본 연구의 가양성 시표 반응률에 해당)뿐만 아니라 시선 고정 정확도(correct fixation rate, CFR)와 주관적 만족도를 고려하여 파악되었다. 기존 시야계는 FLR과 시표를 제시하지 않았을 때 피검사자가 반응한 비율(FPER, 33%를 초과하는 경우 재검사; Werner, 1999)을 시야 검사의 시선 고정 및 신뢰성 평가 척도로 사용하였다. 한편, 본 연구는 시표 제시 전후 짧은 시간(시표 제시 전 0.2초, 시표 제시 후 0.2초) 동안의 시선 위치가 시선 고정 범위에 위치하는지 여부를 평가하는 CFR을 개발하여 적용하였는데, FLR과 FPER에 비해 전체 시표에 대한 시선 고정 정도를 평가한다는 측면에서 포괄적 척도이다. 또한, 본 연구는 주관적 평가 척도로 시선 고정 용이성, 눈 피로도, 그리고 전반적 만족도를 사용하여 어떤



(a) Good eye fixation (b) Poor eye fixation

Figure 6. Gaze graph(Humphrey® Field Analyzer II-i series, Carl Zeiss Meditec. Inc., USA)

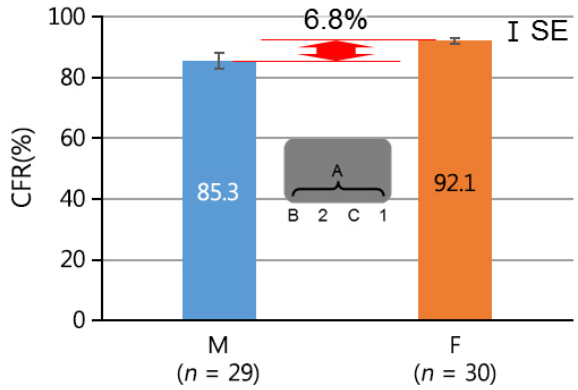
특성을 가진 시선 고정 유도 방법이 선호되는지 분석적으로 파악할 수 있었다.

시선 고정 정확도(CFR)는 시표의 유형(주변 시표, 맹점 시표, 가양성 시표)에 관계없이 시야 검사 시작부터 종료까지 피검사자의 시선 고정 여부를 파악하는 방법으로 기존 FLR과 gaze graph와 병행하여 활용하면 유용할 것으로 기대된다. FLR은 시야 검사 중간에 맹점 시표를 제시하여 피검사자의 시선 고정 여부를 파악하는 measure이나 주변 시표가 제시되는 동안의 시선 고정 여부를 파악하는 데는 한계가 있다. 극단적인 예로, 피검사자가 맹점 시표가 제시될 때에는 시선 고정을 100% 하였으나 주변 시표가 제시될 때에는 시선 고정을 하지 않고 검사를 받았다면 FLR 결과가 0%로 나타나 신뢰 있는 결과로 판단될 수 있다. 또한 <Figure 6>과 같이 시야 검사 동안 피검사자의 시선 고정 정도를 그래프로 나타내주는 gaze graph는 good/poor와 같이 대략적인 정도는 파악할 수 있으나 정량적인 수치가 제공되지 않아 검사 결과의 신뢰 여부를 결정하기 위한 기준을 잡기가 어렵다. 이에 비해 시선 고정 정확도는 시야 검사가 진행되는 동안 제시되는 모든 시표에 대해 시선 고정 여부를 평가하고 정략적인 수치로 결과를 제공하기 때문에 FLR, gaze graph와 병행하여 사용한다면 시야 검사 결과의 신뢰 여부를 보다 명확하게 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

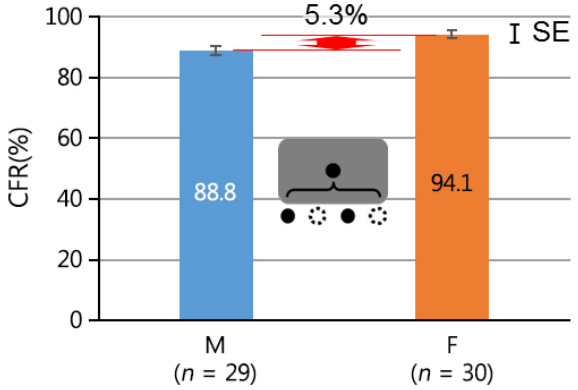
본 연구는 시야 검사 시 사용되는 시선 고정 유도 방법으로 형태적 요소를 반영한 BECH 방법이 시선 고정 성능과 주관적 만족도 측면을 동시에 고려했을 때 기존 BD 방법에 비해 가장 선호되는 것으로 파악되었다. 시선 고정 정확도(CFR) 측면에서 BECH 방법(88.0%)은 기존 BD 방법(86.7%)에 비해 1.3%로 높았으며 실험참여자들 사이의 분산도 낮게 나타나 안정적으로 시선을 고정시키는 방법인 것으로 파악되었다. BECH 방법은 주관적 만족도 평가에서 기존 BD 방법에 비해 시선 고정 용이성은 2.3점으로 높게, 눈 피로도는 -1.0점으로 덜 피로하게, 전반적 만족도는 1.9점으로 더 만족스럽게 평가되어 가장 선호되는 시선 고정 유도 방법으로 파악되었다. BECH 방법의 형상은 단순한 점 형상의 기존 BD 방법과 달리 복잡하면서 상하좌우로 대칭되는 형상을 하고 있는데, 대칭적이며 복잡한 형상이 사람들의 시각적 주의를 높인다는 박진희(2010)의 연구 결과와 일치한다. 반면, 시선 고정 정확도 측면만 고려할 경우에는 평균 값은 FBD 방법(91.5%)이 기존 방법인 BD 방법에 비해 4.8% 높게 분석되었고(<Figure 4>(c)), 분산은 BECH 방법보다 낮게 나타나 보다 안정적인 방법으로 파악되었다(<Figure 4>(d)). FBD 방법의 시선 고정 정확도가 높은 이유는 4 Hz로 깜박이는 점을 제시하는 방법으로 깜박임 요소가 피검사자의 시선을 무의식적으로 이끌기 때문인 것으로 사료된다(Connors, 1975).

BECH 방법이 CCD, AC, 그리고, FBD 방법에 비해 우수한 방법으로 평가된 이유는 BECH 방법의 시선 고정 유도방식이 시선이 집중되는 형상을 추가 변화 없이 지속적으로 제공하는 방식(static)이기 때문에 CCD, AC, 그리고 FBD 방법과 같이 색상, 문자숫자, 깜박임과 같이 주기적인 변화를 주는 방식(dynamic)에 비해 실험참여자의 실수와 눈 피로도는 적게 유발시키면서 시선을 중심 시표로 유도시킬 수 있었기 때문으로 사료된다. CCD와 AC 방법은 점의 색상이나 문자숫자가 주변 시표가 나타날 때마다 변경되도록, FBD 방법은 검은색 점이 4Hz의 속도로 나타났다 사라지도록 중심 시표에 추가 변화를 주는 dynamic한 방식이다. 시선 고정 성능 평가 실험 종료 후, 실험참여자에게 선호되는 중심 시표 유형과 선호 이유에 대해 사후 설문을 진행한 결과 CCD, AC, 그리고 FBD 방법과 같이 dynamic한 방식은 맹점 시표나 가양성 시표가 제시되었을 때 종종 실험참여자의 실수를 유발할 수 있고, 눈의 피로를 가중시킬 수 있으나 BECH 방법과 같이 static한 방식은 실수를 적게 유발하면서 상대적으로 편안하게 시선을 유도한다고 하였다. 또한 주관적 만족도의 눈 피로도 평가에서 BECH 방법은 -0.4점(-값이 클수록 눈 피로도가 적음)으로 CCD(1.0점), AC(0.3점), 그리고 FBD (0.9점) 방법에 비해 눈 피로도가 낮게 평가되었으며(<Figure 5>(b)), 기존 BD 방법에 비해 유일하게 눈 피로도가 낮게 평가되었다. 따라서, 종합적 측면에서 고려했을 때 BECH 방법이 다른 세 가지 신규 시선 고정 유도방법 보다 우수한 방법으로 추천된다.

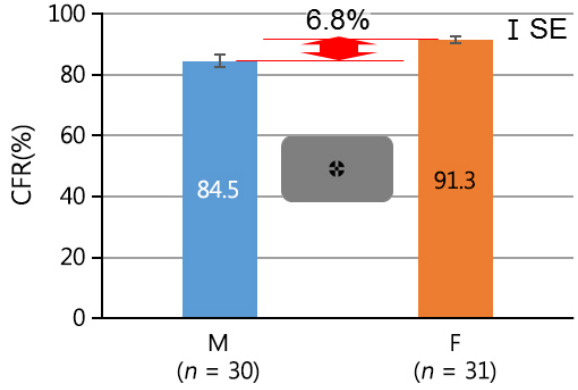
본 연구에서 여성은 남성에 비해 중심 시표에 대한 시선 고정 정확도가 약 5% 높게 분석되었으나 눈 피로도는 더 많이 느끼는 것으로 평가되었다. BD 방법과 4가지 시선 고정 유도 방법(CCD, AC, FBD, BECH)을 중심 시표로 사용했을 때 시선 고정 정확도 측면에서 성별 차이를 분석한 결과 여성이 남성에 비해 AC 방법은 6.8%($t(36) = 2.46$, $p = .019$; <Figure 7>(a)), FBD 방법은 5.3%($t(53) = 2.57$, $p = .013$; <Figure 7>(b)), BECH 방법은 6.8%($t(43) = 2.84$, $p = .007$; <Figure 7>(c)) 높게 나타났다. 그 외 BD 방법은 5.5%, CCD 방법은 2.4%로 여성이 남성에 비해 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면, 눈 피로도 측면에서는 AC 방법에 대해서만 여성이 남성에 비해 1.3점($t(61) = 2.74$, $p = .008$) 높게 평가되었다(<Figure 7>(d)).



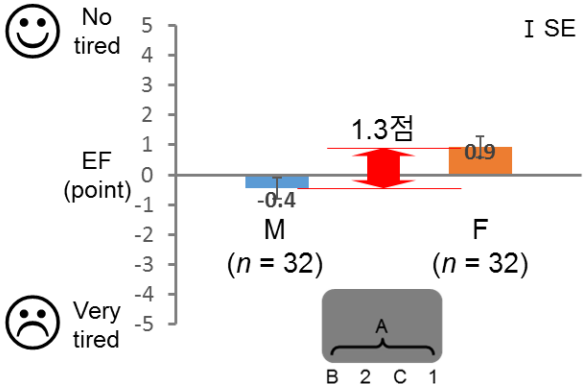
(a) Comparison of correct fixation rate on alphanumeric characters



(b) Comparison of correct fixation rate on flashing black dot



(c) Comparison of correct fixation rate on bulls eye and crosshair



(d) Comparison of eye fatigue on alphanumeric characters

Figure 7. Comparisons of Correct Fixation Rate and Eye Fatigue by Gender and Gaze Fixation Induction Methods

그 외 CCD 방법은 평가 점수에 차이가 없었고, FBD 방법은 1.2점, BECH 방법은 0.9점 높게 평가되었으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. BD 방법은 주관적 만족도 평가 시 기준으로 삼았기 때문에 성별에 따른 차이를 파악할 수는 없었다. AC, FBD, BECH 방법이 중심 시표로 제시되었을 때 여성의 시선 고정 정확도가 남성에 비해 높게 나타난 것은 시선 고정에 대한 여성들의 노력이 상대적으로 높았기 때문으로 생각되나 눈 피로도 측면에서는 시선을 고정시키려는 노력으로 인해 눈의 피로가 가중되었던 것으로 사료된다. 여성과 남성의 시선 고정 정확도와 눈 피로도 차이에 대한 명확한 원인은 추후 연구를 통해 파악될 필요가 있다.

본 연구 결과가 임상에 적용되기 위해서는 본 연구에서 평가한 20~30대의 정상 참여자뿐만 아니라 다양한 연령대의 정상인과 녹내장 환자를 대상으로 실험 및 평가가 필요하다. 본 연구는 20~30대 남녀 32명의 실험참여자를 대상으로 시선 고정 유도 방법들에 대해 평가하였으나, 시야 검사 대상자의 연령대는 20~80대로 다양하며 정상인뿐만 아니라 녹내장 의증 환자 및 확진 환자도 포함된다. 본 연구에서 제안된 시선 고정 유도 방법을 임상에 적용하기 위해서는 보다 넓은 범위의 연령대와 피검사자 유형을 대상으로 한 추후 연구가 필요하다.

본 연구에서 개발된 시선 고정 유도 방법은 시야 검사를 수행하는 시야계나 황반변성 진단을 위한 macular pigment 농도 측정 장비(MPS II, Elektron Technology, Ltd., UK)와 같이 시표 제시 시 시선 고정이 필요한 장비에 탑재되어 시선 고정 효과를 향상시킬 수 있다. 기존 표준자동시야계는 중심 시표가 Goldman bowl의 중심에 노란색 LED로 고정되어 있고(Carl Zeiss Meditec. Inc., 2005; Dersu *et al*., 2006), MPS II 또한 peripheral fixation target으로 빨간색 LED를 사용하고 있어(Elektron Technology, Ltd., 2013) 색상, 문자숫자, 형상 등 다양한 시선 고정 유도 방법을 제시할 수 없다. 본 연구에서 제안된 BECH 방법은 중심 시표를 변경할 수 있는 방식의 시야계나 MPS장비에 적용시킬 수 있는데, 다른 시선 고정 유도 방법들(CCD, AC, 그리고 FBD 방법) 또한 피검사자의 개인 선호도에 따라 선택할 수 있도록 옵션으로 제공될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

Carl Zeiss Meditec Inc. (2005), *Humphrey® Field Analyzer II-i series User Manual*, Carl Zeiss Meditec Inc., Dublin, USA.

Connors, M. M. (1975), Conspicuity of target lights; the influence of color, NASA TN D-7960, 1-14.

Crabb, D. P., Smith, N. D., and Zhu, H. (2014), What's on TV? Detecting age-related neurodegenerative eye disease using eye movement scanpaths, *Frontiers in Aging Neuroscience*, **6**(312), 1-10.

Dersu, I. and Wiggins, M. N. (2006), Understanding Visual Fields, Part II; Humphrey Visual Fields, *Journal of Ophthalmic Medical Technology*, **2** (3), 1-7.

Elektron Technology, Ltd. (2013), *MPS II Manual*, Elektron Technology Ltd., UK.

Johnston, S. and Leek, E. C. (2009), Fixation Region Overlap; A quantitative method for the analysis of fixational eye movement patterns, *Journal of Eye Movement Research*, **1**(1), 1-12.

Munsell, A. H. (1905), "A Color Notation", G. H. Ellis Co., Boston, USA.

Park, J. (2010), The influence of shape elements on visual attention in Stereoscopic Images, *Journal of Digital Design*, **10**(2), 499-510.

Sanders, M. and McCormick, E. J. (1993), *Human factors in engineering and design*, 7th (Ed.) : McGraw-Hill, Columbus, USA.

Sharafi, Z., Soh, Z., and Guéhéneuc, Y. (2015), A systematic literature review on the usage of eye-tracking in software Engineering, *Information and Software Technology*, **67**, 79-107.

Thaler, L., Schütz, A. C., Goodale, M. A., and Gegenfurtner, K. R. (2013), What is the best fixation target? The effect of target shape on stability of fixational eye movements, *Vision Research*, **76**(1), 31-42.

Werner, E. B. (1999), *Visual field perimetry testing in glaucoma*, In : Yanoff, M., Duker, J. S., eds. Ophthalmology, 5.1-5.12, Mosby International Ltd., London, United Kingdom.