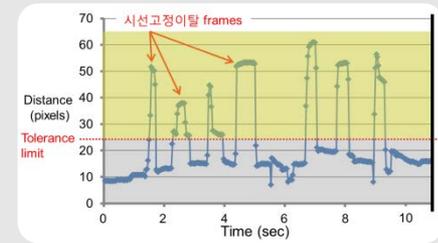
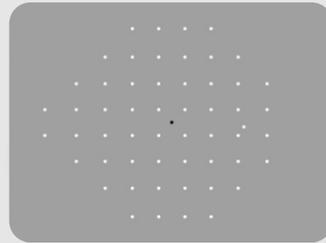


효과적인 시야검사를 위한 인간공학적 시선고정 방법 개발 및 평가



2012. 11. 1

이지형¹, 이백희¹, 김연아¹, 박현지¹, 강자현³, 유희천^{1,2}

¹포항공과대학교 산업경영공학과
²포항공과대학교 창의 IT 융합공학과
³강동경희대학교 병원 안과

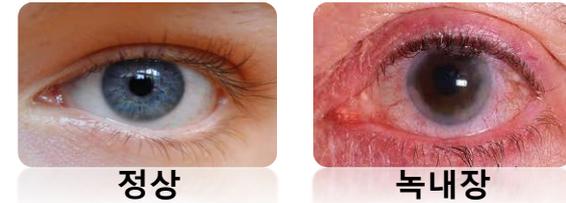
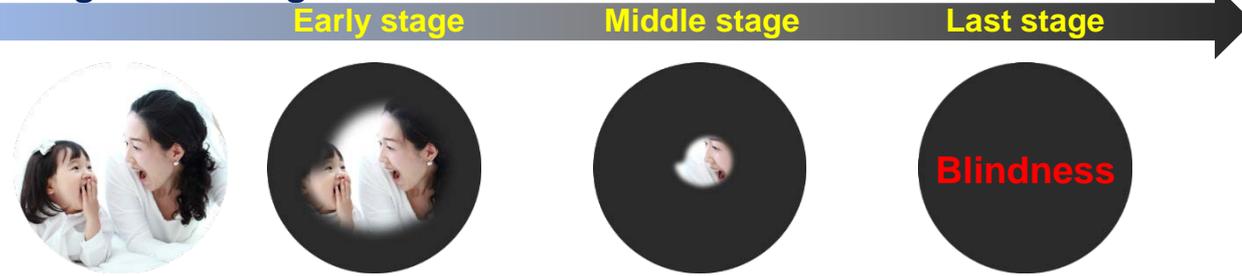
AGENDA

- 연구배경
 - ✓ 녹내장 및 시야검사의 중요성
 - ✓ 기존 시선고정 방법의 한계
 - ✓ 연구목표
- 연구방법
 - ✓ 연구절차 및 분석방법
 - ✓ 시선고정용 시표
- 결과
- 토의 및 추후 연구

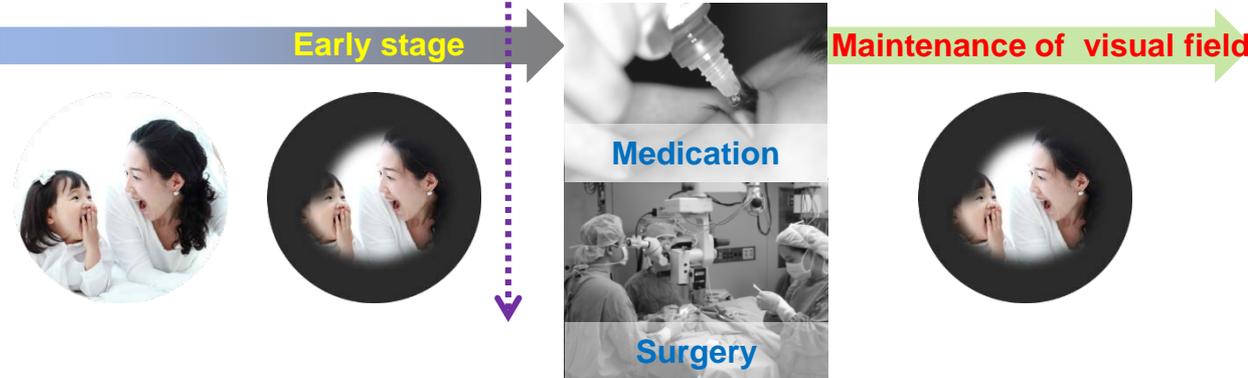
녹내장 검사의 중요성

- ❑ 녹내장(glaucoma): 시신경 손상에 의해 발생된 시야결손이 진행되어 결국 실명에 이르는 안과 질환(Mozaffarieh, 2008)
- ❑ 2020년 세계 녹내장 환자 수: 8천 만명(추정; Qugley, 2005)

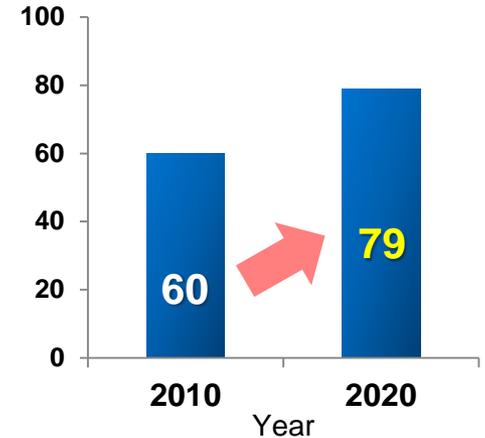
Progression of glaucoma



Early detection of glaucoma



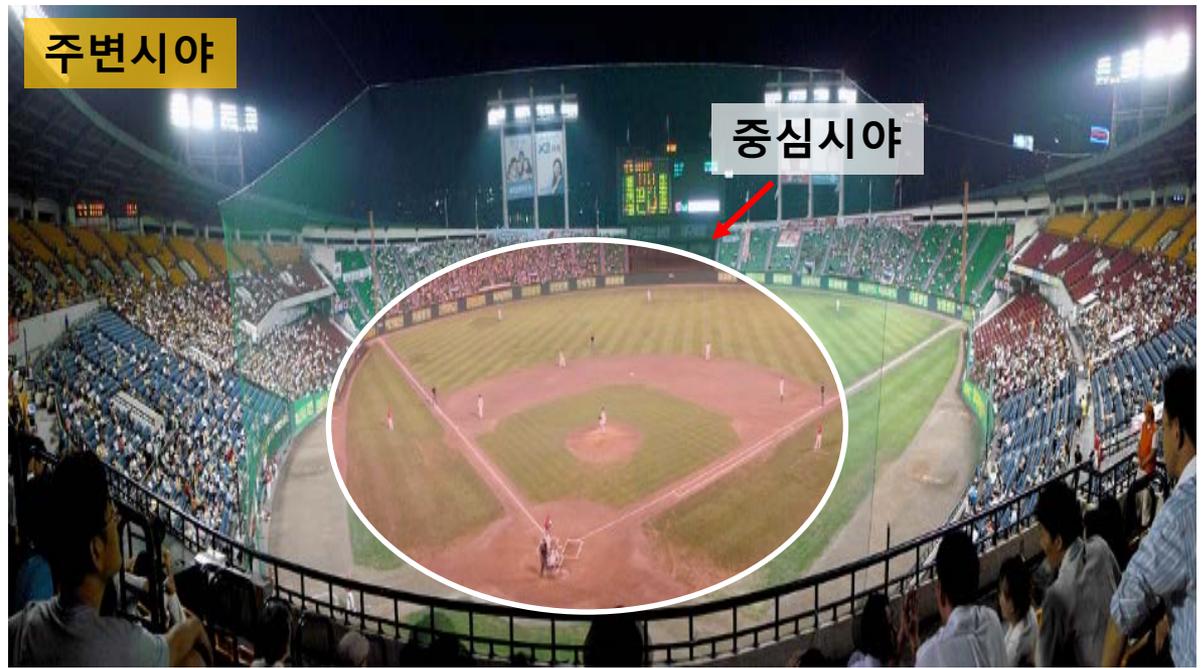
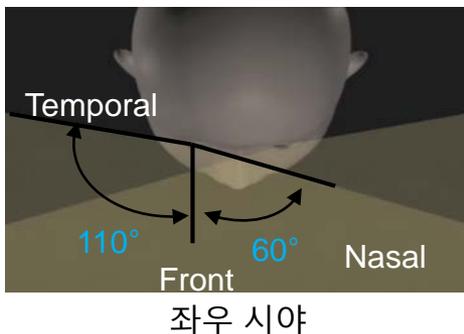
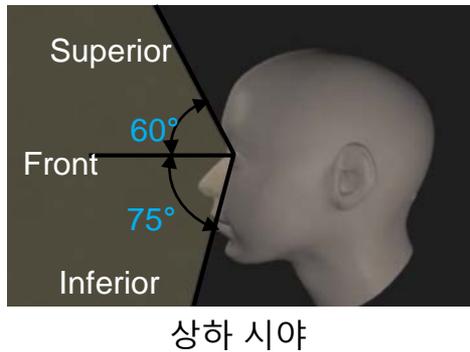
Glaucoma patients (million)



⇒ 손상된 시신경 세포를 재생시키는 **치료방법이 없기 때문에**, 녹내장 진행을 지연시키기 위해서는 **조기 진단을 통한 실명예방이 중요**

녹내장 검사 방법: 시야(Visual Field)

- 눈이 어떤 한 점을 주시할 때, 시각이 형성되는 전체적인 공간적 범위(Dersu et al., 2006)
 - ✓ 중심시야(central vision): 시선방향 안에서 뚜렷하게 보이는 범위
 - ✓ 주변시야(peripheral vision): 시선방향의 주변영역으로 뚜렷하지는 않으나 그 존재를 알 수 있는 범위



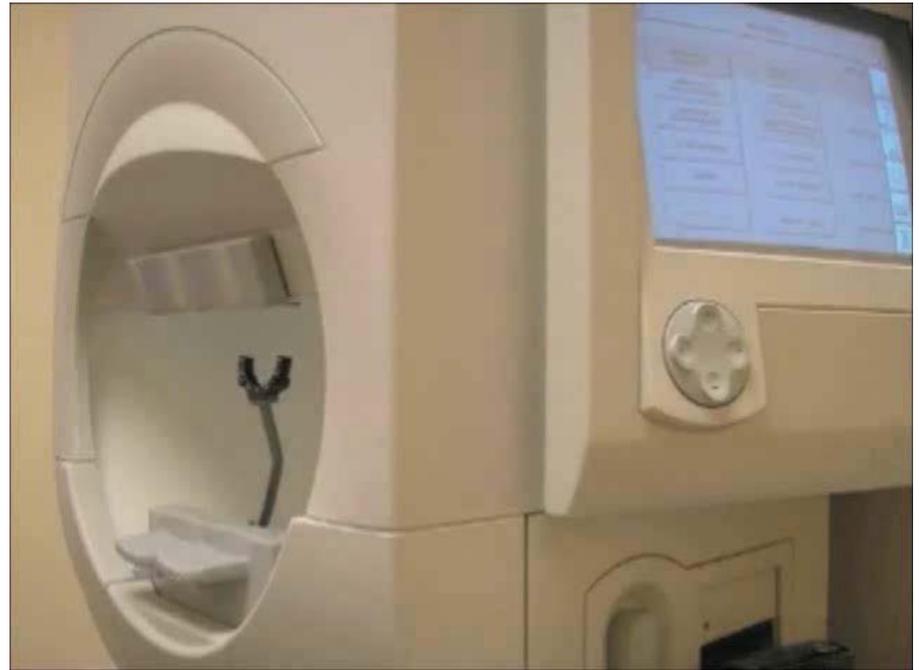
야구 경기를 관람하는 관중의 시야

녹내장 검사 방법: 자동시야검사기

- ❑ Gold standard 장비: Humphrey® Field Analyzer (Carl Zeiss Meditec Inc., USA)
- ❑ 검사 절차: 검사 화면의 중앙에 시선 고정 ⇒ 시야 영역에 제시되는 시표 확인
⇒ 버튼 click



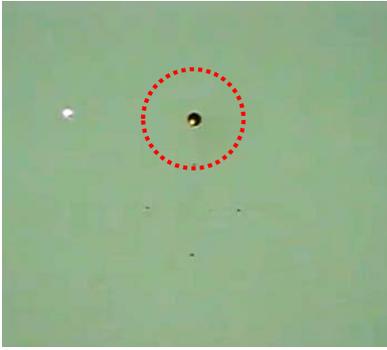
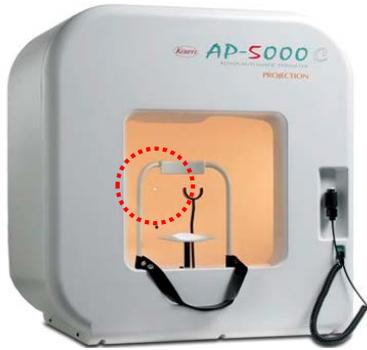
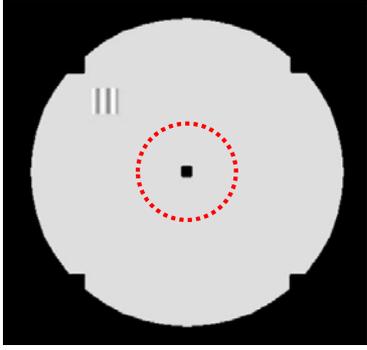
시야 측정(평균 검사 시간 5분)



시표 제시 동영상(오른쪽 눈) - 매초 1개 시표 제시

⇒ 정확한 시야 검사를 위해서 시선고정용 시표에 시선고정이 중요

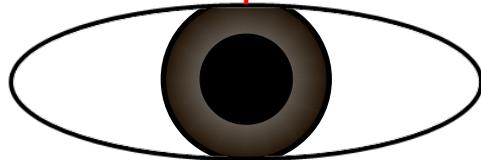
기존 시야검사기의 시선고정 방법의 한계

시선고정용 시표의 형태와 색깔	Yellow dot	White dot	Black dot
사진			
Model	HVf i-II series	AP-5000	Humphrey® Matrix™
사진			
Model	M700	Easy field	

⇒ 기존 시야검사기에는 시선고정용 시표에 시선고정을 유도하는 기능 부재

시선고정과 안구운동의 관계

- 인간의 안구운동 특성에 의해 시선고정이 어려움
- 안구운동 특성: 대상 물체의 움직임은 속도에 의해 세 가지 운동으로 분류
 - ✓ 미세운동(fine movement): 한 곳을 응시한 상태에서 미세하게 움직이는 안구운동
 - ✓ 추적운동(pursuit movement): 5°/sec 이하의 속도로 움직이는 대상을 추적하는 운동
 - ✓ 도약운동(saccadic movement): 5°/sec 이상의 속도로 움직이는 대상을 추적하는 운동

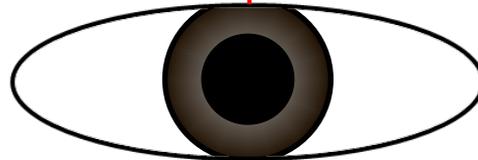


미세운동



시야
검사

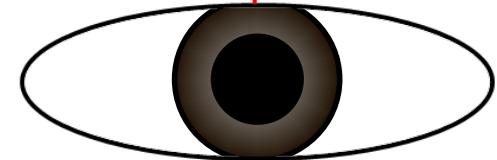
시선고정 상태



추적운동



중심에서 3° 위치에
시표가 제시될 때

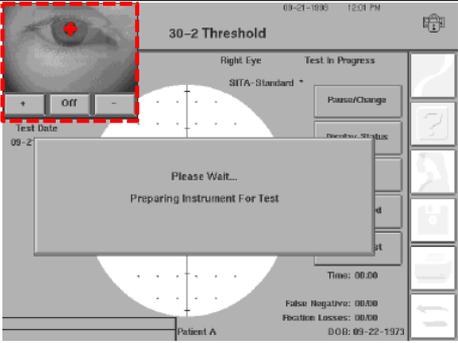
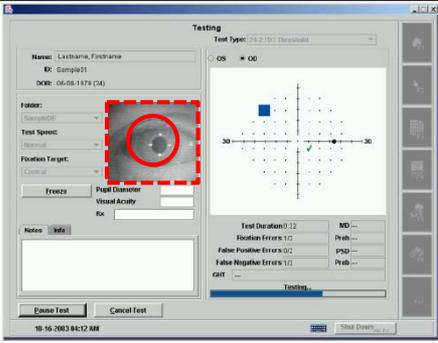
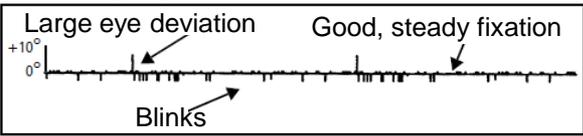


도약운동



중심에서 6° 이상 떨어진
위치에 시표가 제시될 때

기존 시야검사장비의 시선고정 측정방법의 한계

Name		Humphery® Field Analyzer	Humphery® Matrix™
Method		<ul style="list-style-type: none"> Gaze tracking: 검사 시작 시 동공의 위치로 부터 동공이 떨어진 정도가 자동적으로 추적되어 graph로 나타내는 방법 	<ul style="list-style-type: none"> Eye monitoring: 환자의 동공이 장비 화면에 그려진 특정 크기의 원을 벗어나는지 모니터링 하는 방법
Test screen			
Result		<p>Gaze graph</p> 	없음
Fixation control function	Video eye monitor (=Eye monitoring)	○	○
	Gaze tracking	○	X

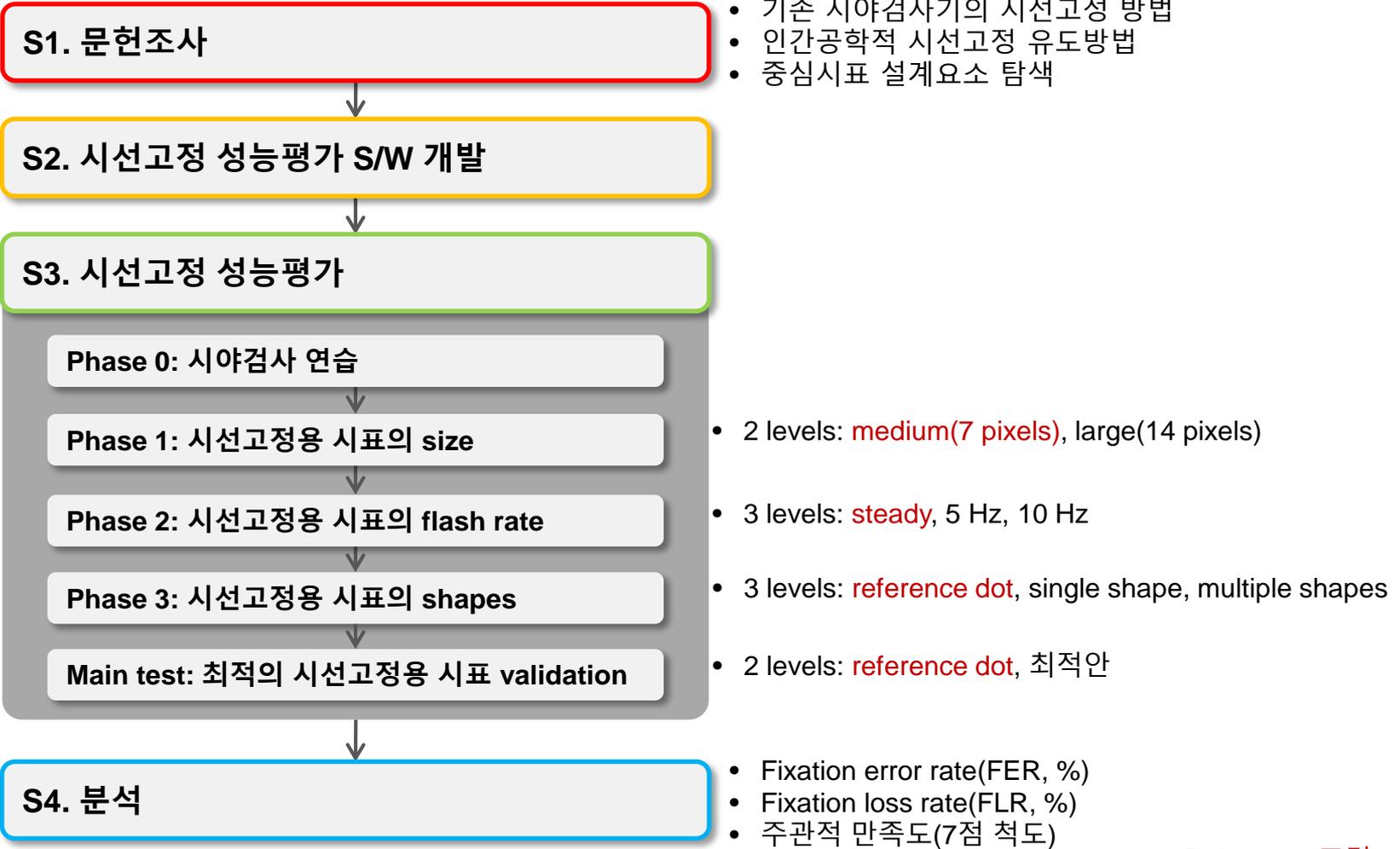
⇒ 기존 시야검사는 시선고정 모니터링 또는 시선고정 측정 기능만 보유

⇒ 시선고정을 유도할 수 있는 방법의 개발 필요

효과적인 시야검사를 위한 인간공학적 시선 고정 방법 개발 및 평가

- 시각적 자극 요소를 활용하여 시선을 유도할 수 있는 시선고정용 시표 개발
 - ✓ 문헌 조사
 - ✓ 시선고정용 시표 개발: 크기(size), 점멸 속도(flash rate), 형태(shape)
- 시선고정 유도방법에 따른 시선고정 성능 및 주관적 만족도 평가
 - ✓ 시선고정 유도방법에 따른 정량적 성능 평가
 - ✓ 시선고정 성능평가를 통한 최적의 시선고정용 시표 도출
- 시야검사 시 시선고정 유도방법에 따른 안구운동 특성 파악
 - ✓ 시야검사 동안 시선 위치의 history파악
 - ✓ 시야 측정용 시표가 제시되지 않는 동안의 시선의 위치

연구절차



S1. 문헌 조사: 시각적 코드화 방법

□ 조사 방법

- ✓ 검색 keywords: eye, gaze, fixation, attention, conspicuity, flash rate, induction 등
- ✓ 검색방법: 검색엔진(Pubmed, ScienceDirect, 구글 학술 검색 등) 및 참고서적 사용

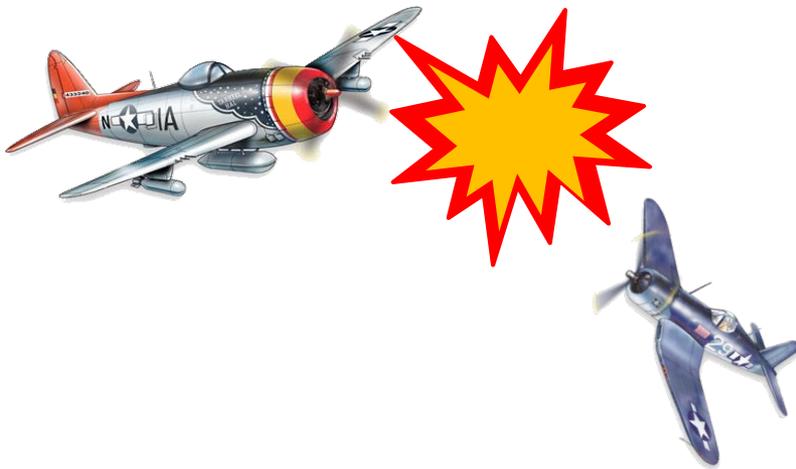
□ 시각적 코드화 방법 중 중심시표 설계에 적용가능한 요소 선별

Table. Summary of certain visual coding methods (Sanders and McCormick,1992)

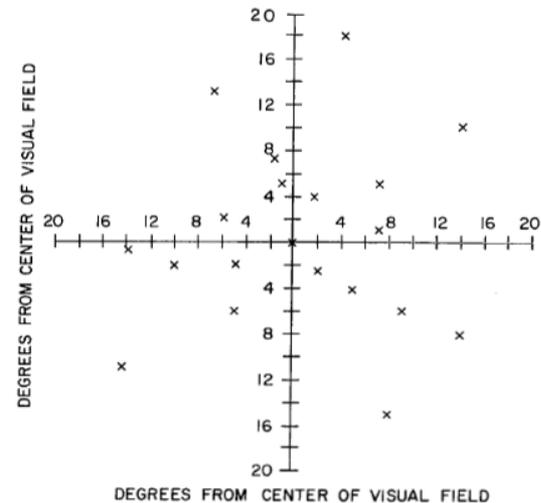
Factors	Attributes	Number of levels	Preferable limit
Geometric shapes	<ul style="list-style-type: none"> • Good for CRTs • Shapes used together need to be discriminable 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 or more 	5
Angle of inclination	<ul style="list-style-type: none"> • Generally satisfactory for special purposes such as indication direction, angle, or position on round instruments 	<ul style="list-style-type: none"> • 24 	12
Size of forms	<ul style="list-style-type: none"> • Use only when specifically appropriate 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 or 6 	3
Brightness of lights	<ul style="list-style-type: none"> • Weaker signals may be masked 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 – 4 	2
Flash rate of lights	<ul style="list-style-type: none"> • Possible use in combination with controlled time interval • Use to attract attention to specific areas 	<ul style="list-style-type: none"> • Flash rate 	2

S1. 문헌 조사: 점멸 속도(Flash Rate)

- 3 ~ 10 Hz 속도로 점멸하는 점멸등 사용은 사람의 주의 유도(Woodson and Conover, 1964)
- NASA의 항공기 충돌방지시스템 개발 기술 보고서(Connors, 1975)
 - ✓ 실험: 점멸 속도가 다른 시표가 제시되는 가상시스템을 사용한 평가
 - ✓ 효과: 조종사의 시선을 유도하여 인접 항공기의 정확하고 빠른 검출을 통해 항공기 충돌 방지효과 확인



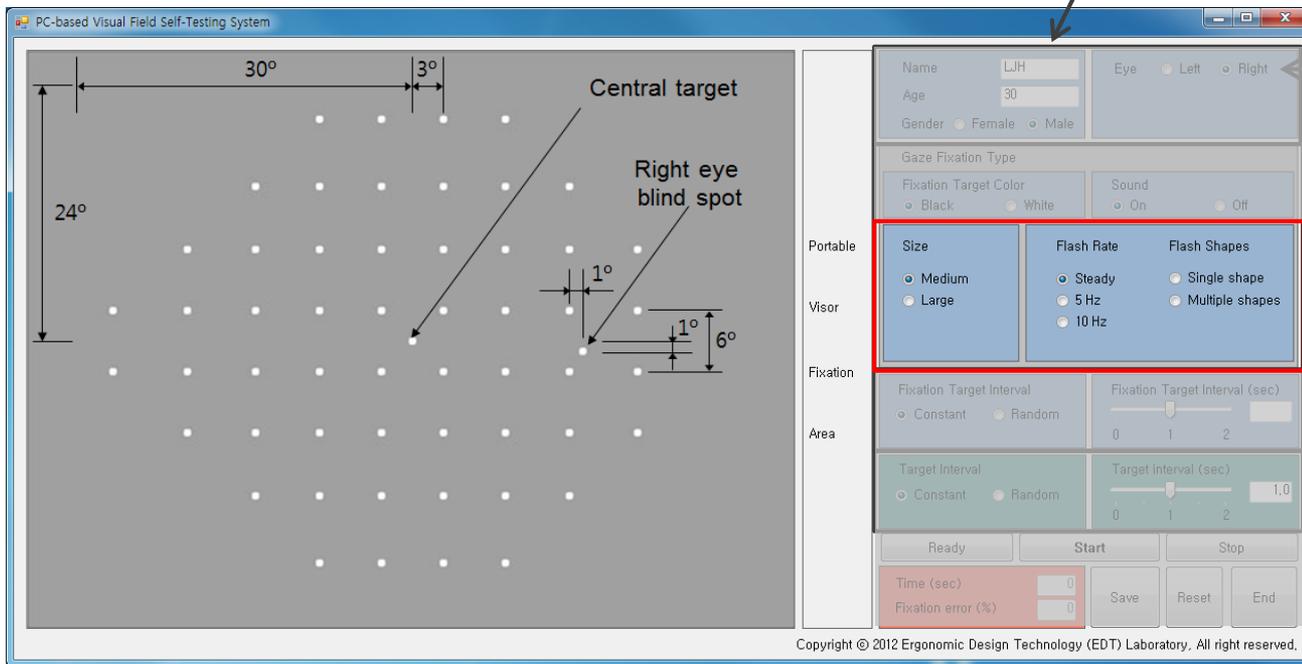
항공기 충돌 상황



가상평가시스템 시표의 위치

S2. 시선고정 성능평가 S/W 개발

- ❑ Visual field testing system: 평균 시야검사 시간(5분) 적용
 - ✓ 프로그램 tool: Microsoft Visual C# 2010
 - ✓ 시표 제시 횟수: 320 회(시야측정 시표 270회, 맹점 시표 50회)
 - ✓ 시표 유지 시간: 0.2초



기본 정보 입력
(이름, 나이, 성별)

눈 선택(좌안, 우안)

시선고정용 시표 유형
선택
(색깔, 소리제공, 형태)

시선고정용 시표 제시
방법 및 간격 선택
(추후 적용 예정)

시야검사용 시표 제시
방법 및 간격 선택
(0.5 ~ 2.0초)

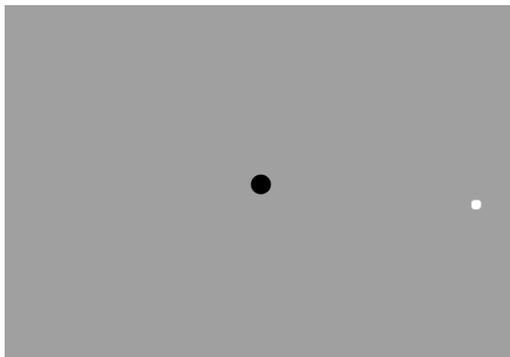
Visual field testing system (right eye)

Fixation Target: Size

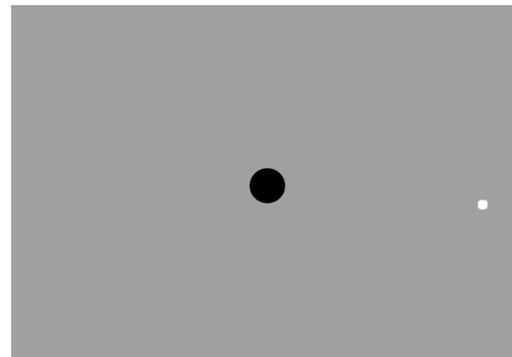
Size	Flash Rate	Flash Shapes
<input type="radio"/> Medium <input type="radio"/> Large	<input type="radio"/> Steady <input type="radio"/> 5 Hz <input type="radio"/> 10 Hz	<input type="radio"/> Single shape <input type="radio"/> Multiple shapes

❑ HFA i-II series 시표 크기를 19 inch 모니터에서 구현할 수 있도록 pixel 단위로 변환

Stimulus Size	Angular subtense (degree)	Stimulus area (30 cm bowl, mm ²)	19 inch monitor (distance = 160 mm) pixel pitch = 0.294, pixel)
Size I	0.11	0.25	2
Size II	0.22	1	3
Size III (medium)	0.43	4	7
Size IV (large)	0.86	16	14
Size V	1.72	64	27



Medium dot

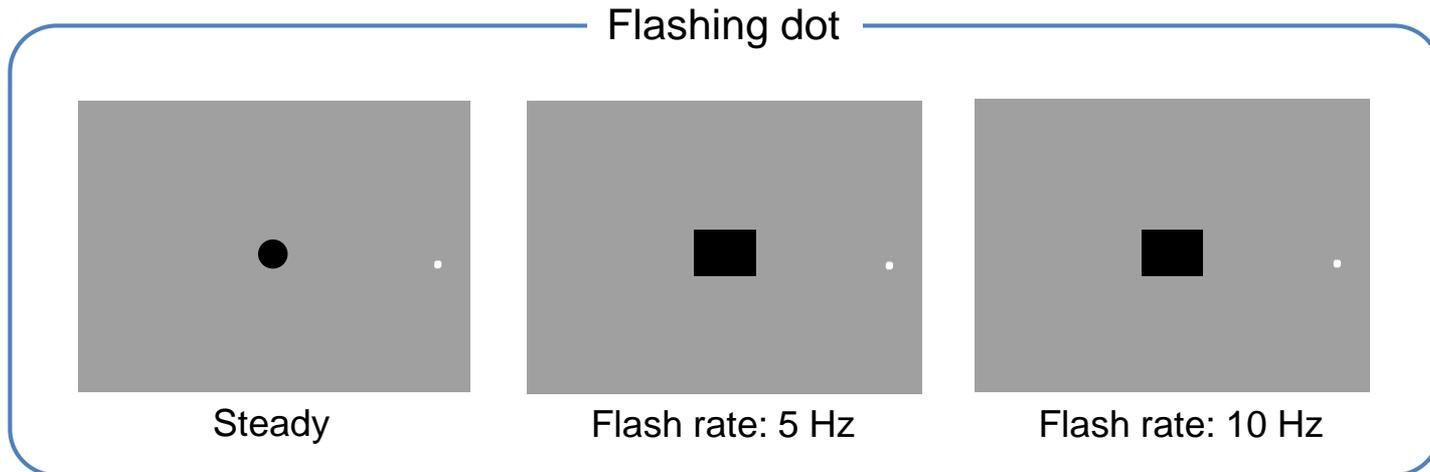


Large dot

Fixation Target: Flash Rate

Size	Flash Rate	Flash Shapes
<input type="radio"/> Medium	<input type="radio"/> Steady	<input type="radio"/> Single shape
<input type="radio"/> Large	<input type="radio"/> 5 Hz	<input type="radio"/> Multiple shapes
	<input type="radio"/> 10 Hz	

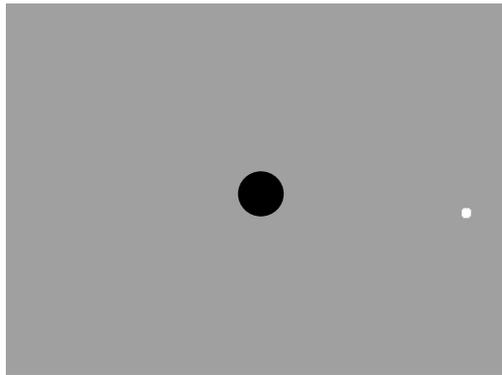
- ❑ 점멸등의 점멸속도는 정상광으로 보이는 속도(점멸-융합빈도, flicker-fusion frequency, 약 30 Hz)보다 느려야 함
 - ✓ 주의를 끌려면 점멸속도 3~10 Hz(최소 지속시간 0.05 sec) 정도가 좋음 (Woodson and Conover, 1964)
- ❑ 시선고정용 시표 유형: 점멸 속도에 따라 점 또는 기호가 깜박이는 유형



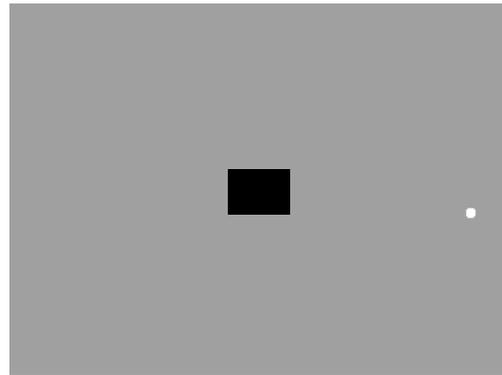
Fixation Target: Shape

Size	Flash Rate	Flash Shapes
<input type="radio"/> Medium	<input type="radio"/> Steady	<input type="radio"/> Single shape
<input type="radio"/> Large	<input type="radio"/> 5 Hz	<input type="radio"/> Multiple shapes
	<input type="radio"/> 10 Hz	

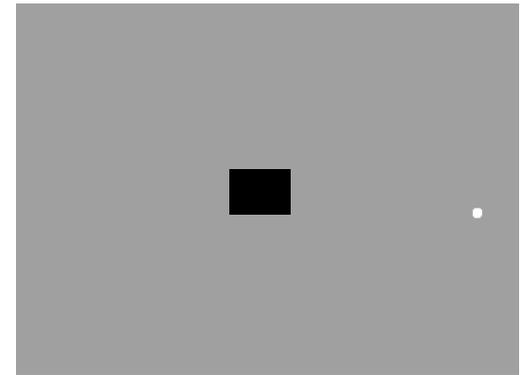
- 기본 점(Reference dot), phase 2 실험에서 결정된 flash rate로 점멸되는 점(dot), 도형들(multiple shapes)



Reference dot



10 Hz flashing dot



10 Hz flashing shape

S3. 시선고정 성능평가: 실험 절차(Total)

연습 test 목적:
선호 조건 결정

Phase별 test 목적:
시선고정용 시표의 유도 요소별 성능평가를 통한 최적 성능 조합 도출

Main test 목적:
성능 & 주관적 만족도

1st day

Phase 0: 연습

- Reference

✓ 시야 검사
영역 및 시표
위치 파악

✓ 시야 검사
숙련

✓ 선호 시표
제시속도 결정

2nd day

Phase 1: size (10명)

- Medium (7 pixels),
large (14 pixels)

실험참여자 수: 실험 조건의 counter balance를 맞춤
예)

3rd day

Phase 2: flash rate (10명)

- 5 Hz, 10 Hz

4th day

Phase 3: shape (10명)

- Multiple shapes

5th day

Validation (20명)

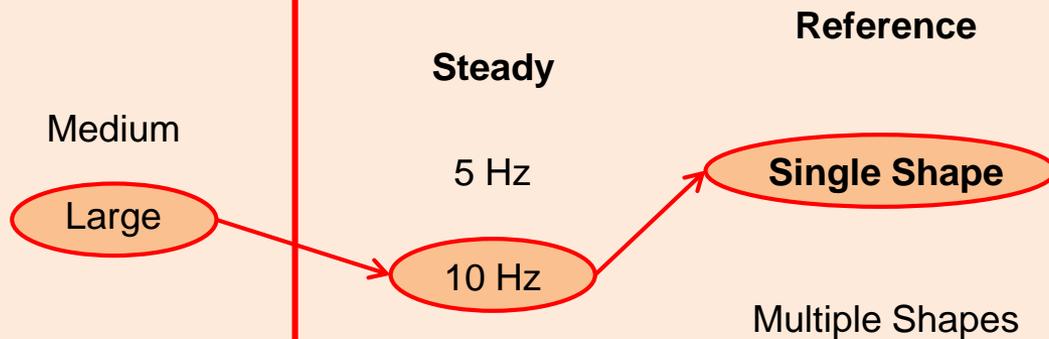
- Reference, new

기존 시선고정용 시표

Size = medium
Flash rate = steady
Single Shape = dot

새로운
시선고정용 시표

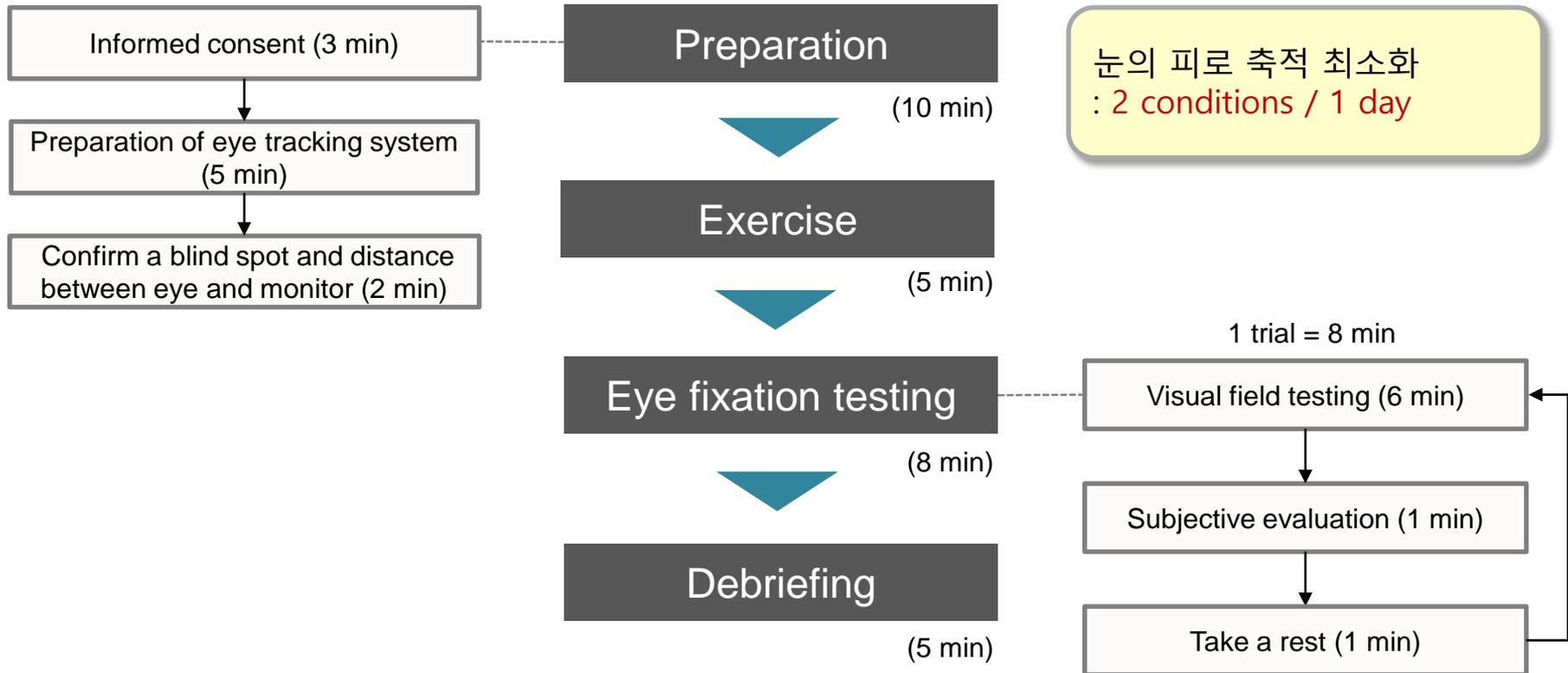
Size = large
Flash rate = 10 Hz
Single Shape = dot



⇒ 각 요소별 실험에서 중복되는 요소를 제외한 실험수행

※Steady, reference, 그리고 single shape의 시선고정용 시표 형태는 dot(●)을 사용

S3. 시선고정 성능평가: 실험 절차(Individual)

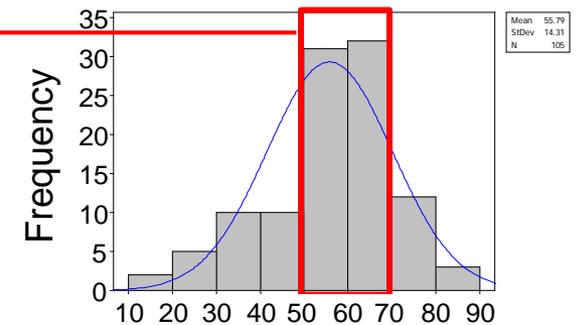


S3. 시선고정 성능평가: 실험참여자

□ 선정기준

- ✓ 녹내장성 시야 손상 및 백내장 진단을 받지 않은 정상인
- ✓ 나안 시력 ≥ 0.8 인 우(右)안만 검사(eye tracker 장비에서 측정이 가능한 눈)

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Main test		
Age group	-	-	-	50대 미만	50대 이상	Total
Gender						
Female	4	5	5	5	5	25
Male	1	5	5	5	5	25



강동경희대학교 병원
녹내장 환자 연령분포
(2008.02 ~ 2010.04)

⇒ Main test에서는 임상에서 녹내장 검사 빈도가 높아지는 50대를 기준으로 연령대 분류

S3. 시선고정 성능평가: 실험 장비(H/W)

- ❑ i-care chin supporter: 검사안의 위치 고정 및 편안한 자세 유지
- ❑ Eye tracking system: 검사안의 움직임 및 위치 추적



Chin support



Mobile Eye-XG

(Applied Science Laboratories Co., USA)

시선고정

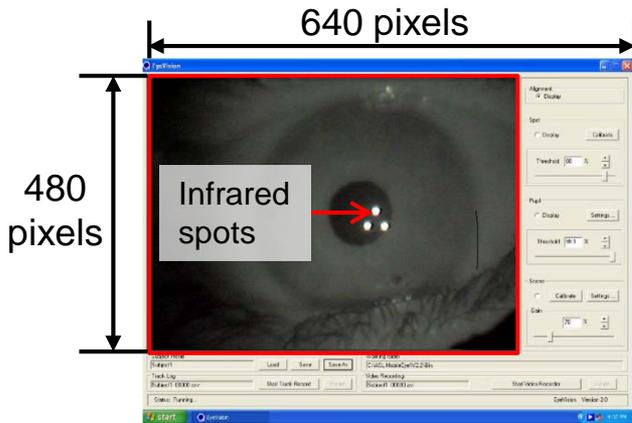


시표확인
입력장치

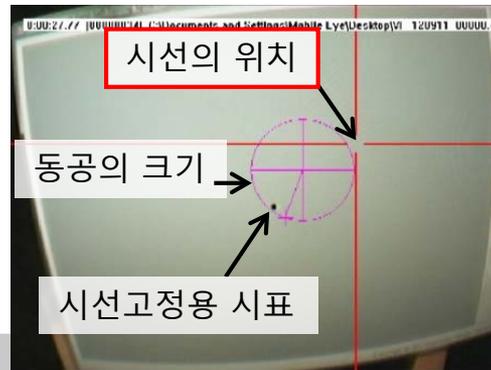
시야검사 실험

S3. 시선고정 성능평가: Eye Tracking System

- ❑ 적외선 센서와 eye camera를 통해 동공의 위치를 frame 별 x, y 좌표값으로 기록하는 시스템
 - ✓ 측정 요소: 동공의 위치, 동공의 반경
 - ✓ Sampling rate: 30 frames/sec



Eye image



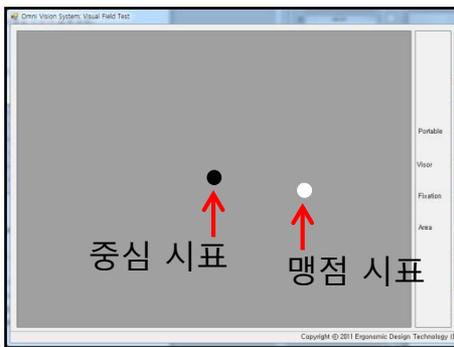
Scene image

LH eye tracking		동공 중심의 위치 (pixel)	
Avi Time Stamp	Frame	Pupil x	Pupil y
0:00:22.36	671	353.64	300.36
0:00:22.40	672	349.3	297.19
0:00:22.43	673	349.6	296.95
0:00:22.46	674	346.03	294.11
0:00:22.50	675	338.72	288.66
0:00:22.53	676	328.46	284.47
0:00:22.56	677	310.15	276.96
0:00:22.60	678	311.14	277.12
0:00:22.63	679	311.63	277.25
0:00:22.66	680	311.88	277.2
0:00:22.70	681	316.7	279.53
0:00:22.73	682	348.24	297.17
0:00:22.76	683	349.79	297.8
0:00:22.80	684	349.95	297.95
0:00:22.83	685	350.55	297.73
0:00:22.36	671	353.64	300.36

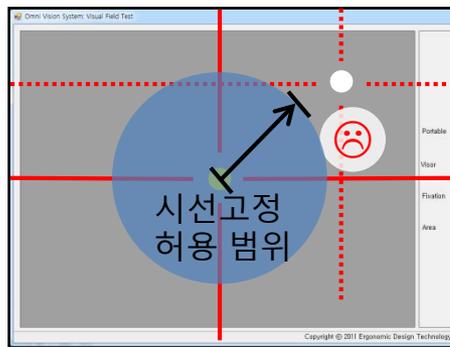
측정된 data

S3. 시선고정 성능평가: 실험 설계

변수	구성 요소
독립변수	<ul style="list-style-type: none"> 시선고정용 시표 형태(w-s-f) <ul style="list-style-type: none"> ✓ Size: medium, large ✓ Flash rate: steady, 5 Hz, 10Hz ✓ Shape: single, multiple
종속변수	<ul style="list-style-type: none"> 시선고정 오류율(fixation error rate, FER) 시선고정 이탈율(fixation loss rate, FLR) 주관적 만족도(시선고정 용이성, 검사 집중도, 눈 피로도, 전반적 만족도; 7점 척도)



$$FER(\%) = \frac{N_E}{N_B} \times 100$$



$$FLR(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \times 100$$

시선고정 용이성

No.	중심 시표 형태	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
1	Medium(●)	①	②	③ ✓	④	⑤	⑥	⑦
	Large(●)	①	②	③	④ ✓	⑤	⑥	⑦
	⋮				⋮			

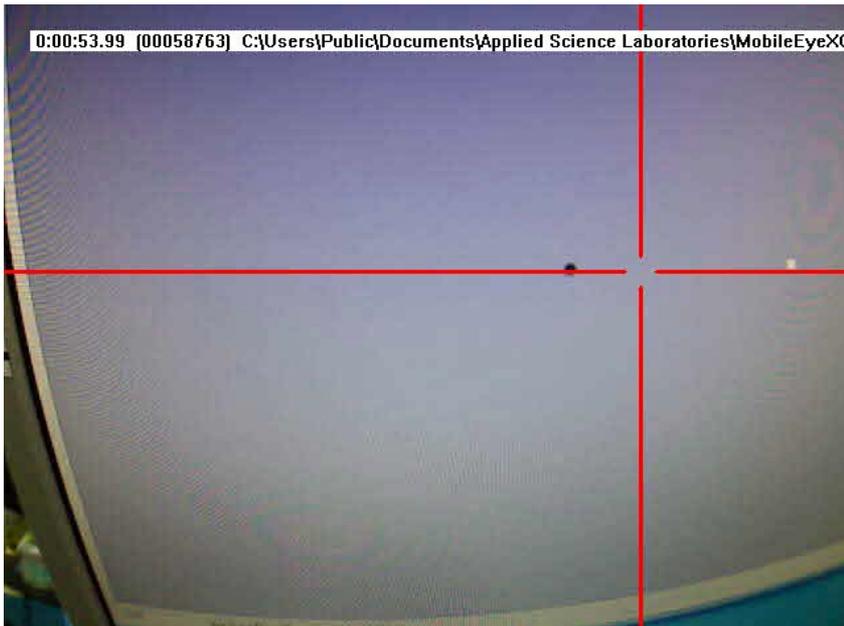
주관적 만족도 평가점수(7점 척도)

S4. 분석: 시선고정 오류율(Fixation Error Rate, FER)

- FER: 시선고정 성능평가 실험이 진행되는 동안 총 50번 맹점이 제시될 동안 시야검사자가 제시된 맹점 시표에 반응한 횟수의 비율

$$FER(\%) = \frac{N_E}{N_B} \times 100$$

N_E = # of the responded blind spot
 N_B = total # of the presented blind spot



시선고정 오류



실험참여자 반응

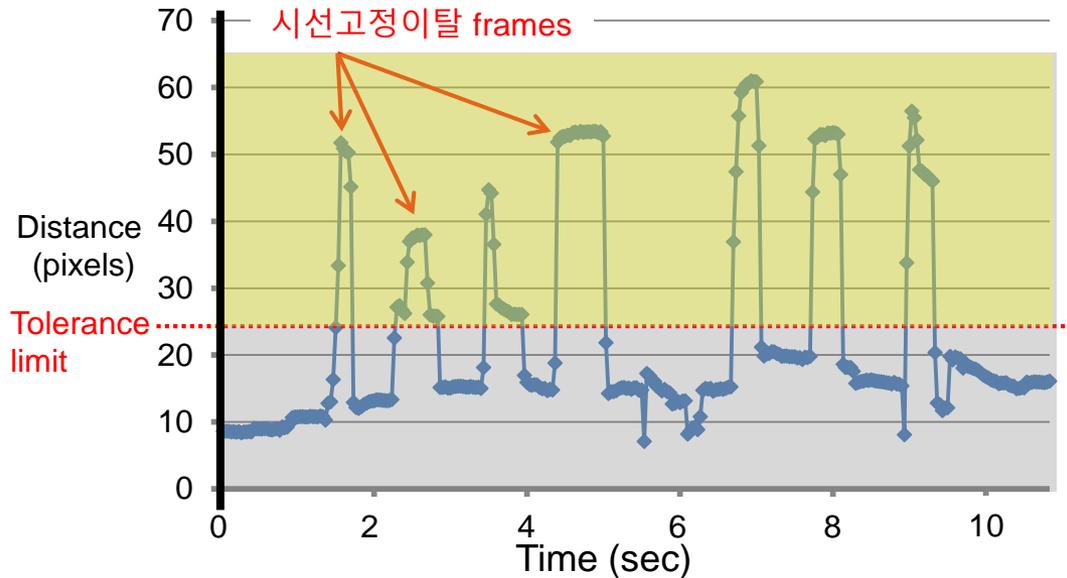
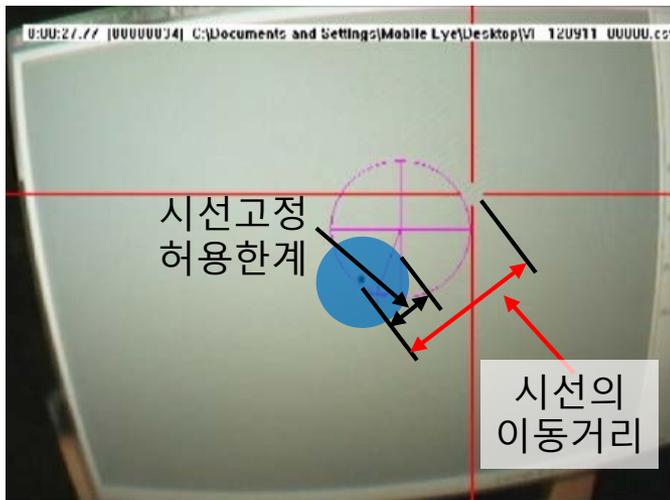
S4. 분석: 시선고정 이탈율(Fixation Loss Rate, FLR)

- 시야 검사 동안 중심시표에 고정된 시선의 이동이 **시선고정 허용한계(tolerance limit)**를 **초과**한 비율

$$FLR (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n} \times 100$$

$$L_i = \begin{cases} 1, & \text{distance (Euclidean distance between eye location of frame } i \\ & \text{and center of the screen)} > \text{tolerance limit} \\ 0, & \text{o/w} \end{cases}$$

$$i = 1, \dots, n$$



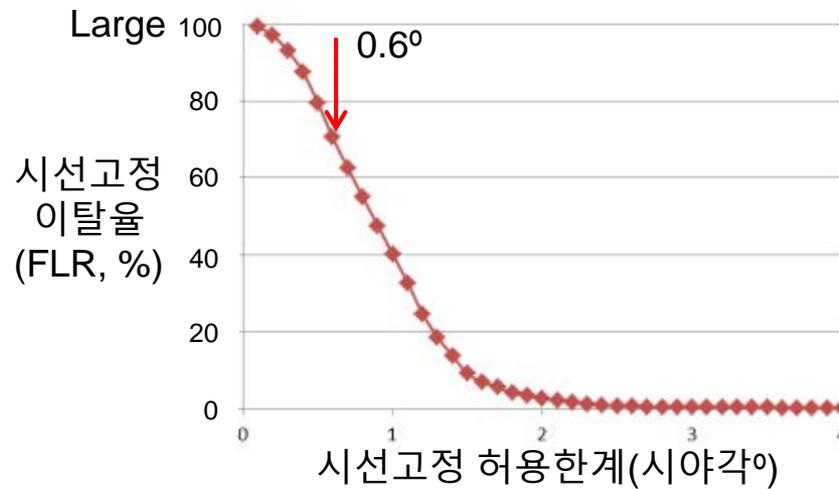
⇒ 안구의 미세운동을 고려한 시선고정 허용한계 설정 필요

시선고정 허용한계(Tolerance Limit)

(1/2)

- ❑ 시선고정 허용한계 범위를 $0.1^\circ \sim 4.0^\circ$ 까지 0.1° 간격으로 증가시키면서 시선고정 이탈율 분석
- ❑ FLR 변동차가 가장 큰 시야각을 시선고정 허용한계 범위로 결정
- ✓ Range = $0.6^\circ \sim 1.7^\circ$; mean = 1.1° ; SD = 0.4°

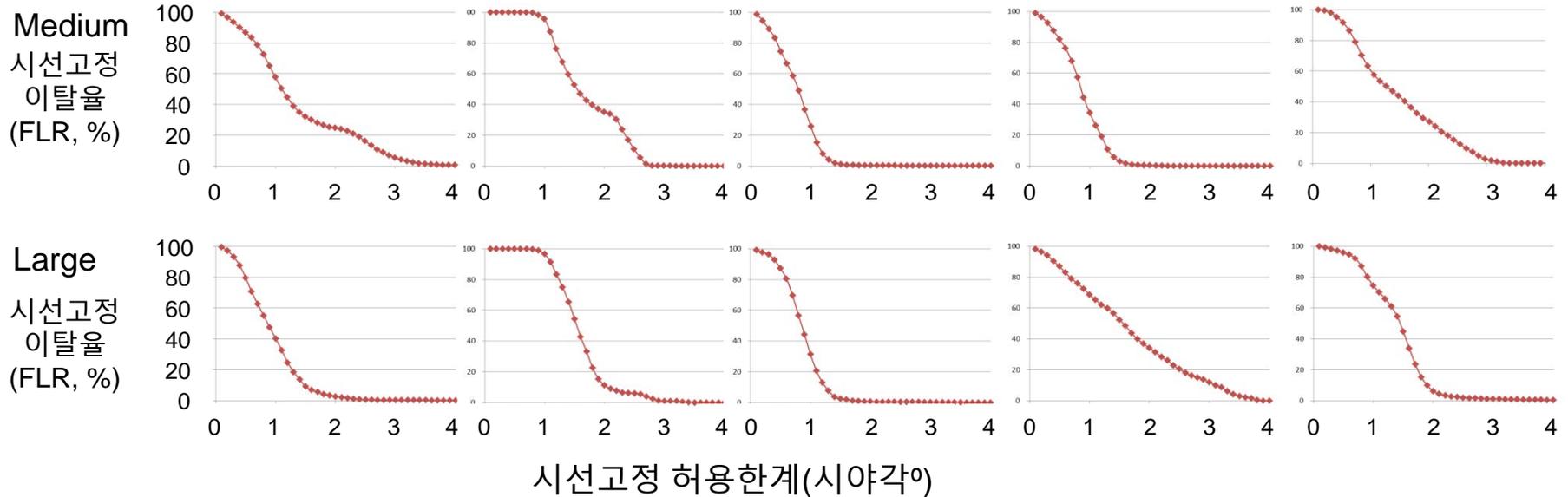
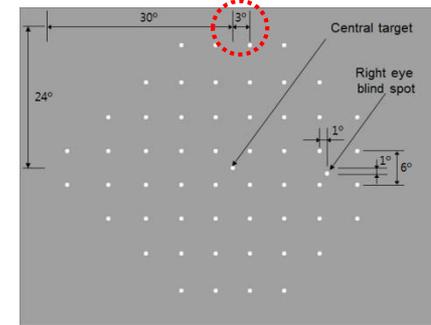
Angle($^\circ$)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	...	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4
Tolerance (pixel)	1.06	2.12	3.17	4.23	5.29	6.35	7.40	8.46	9.52	10.58	11.64	...	32.82	33.88	34.95	36.01	37.07	38.13	39.19	40.25	41.32	42.38
# of FL frames	9035	8817	8462	7962	7233	6413	5690	5006	4328	3654	2980	...	35	33	30	30	30	25	23	22	21	20
# of total frames	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	...	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086	9086
FLR(%)	99.4	97.0	93.1	87.6	79.6	70.6	62.6	55.1	47.6	40.2	32.8	...	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
변동차		2.4	3.9	5.5	8.0	9.0	8.0	7.5	7.5	7.4	7.4	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	



시선고정 허용한계(Tolerance Limit)

(2/2)

□ Range = $0.6^\circ \sim 1.7^\circ$; mean = 1.1° ; SD = 0.4°



⇒ 시선고정용 시표에 가장 근접한 시표 제시 위치(3°)와 시선 고정 이탈율 변동차이를 고려한 시선고정 허용한계를 1.5° 로 결정

S4. 분석: 주관적 만족도 평가(설문지)

□ 설문지 구성

- ✓ 기본 정보: 이름, 나이, 성별, 시력(좌/우)
- ✓ 주관적 만족도 평가(7점 척도): 시선 고정 용이성, 검사 집중도, 눈 피로도, 전반적 만족도

(예시) 시선고정 용이성 매우 어려움 어려움 약간 어려움 보통 약간 쉬움 쉬움 매우 쉬움

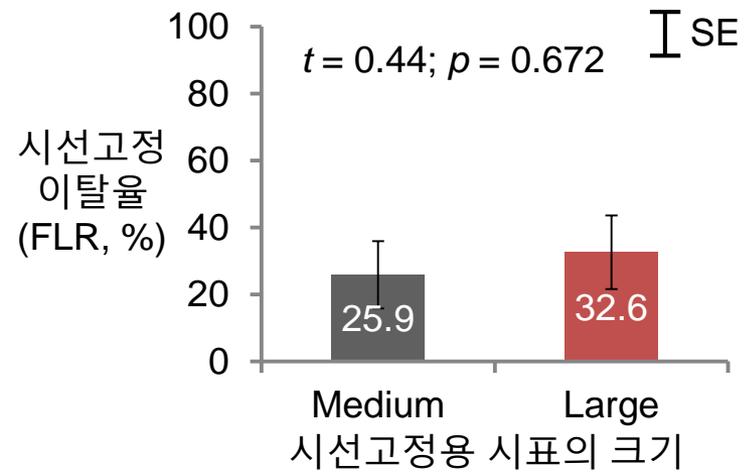
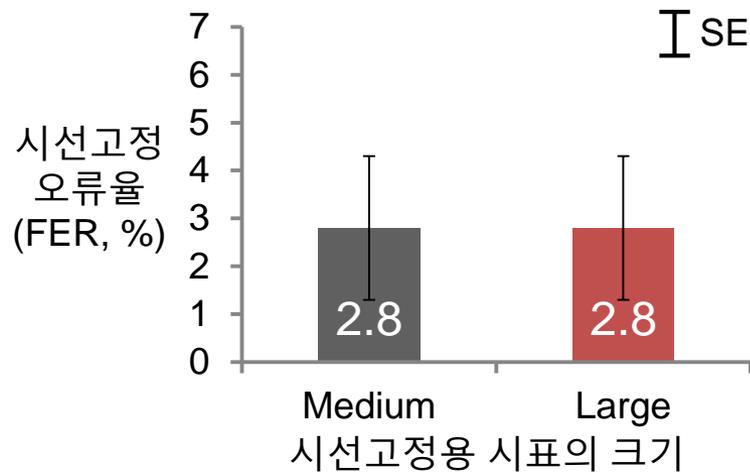
No.	중심 시표 형태								
1	Size	Medium	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
		Large	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
2	⋮					⋮			

✓ Debriefing

- PC 모니터 사용 시간(하루 평균)
- 시야검사 경험(검사 횟수, 검사주기)
- 시야검사 또는 시선 고정 실험의 불편사항 및 개선사항

Size 별 시선고정 성능평가 결과: FER & FLR

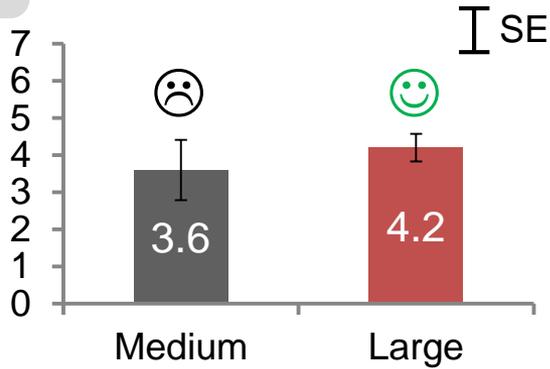
시선고정 허용한계: 1.5°



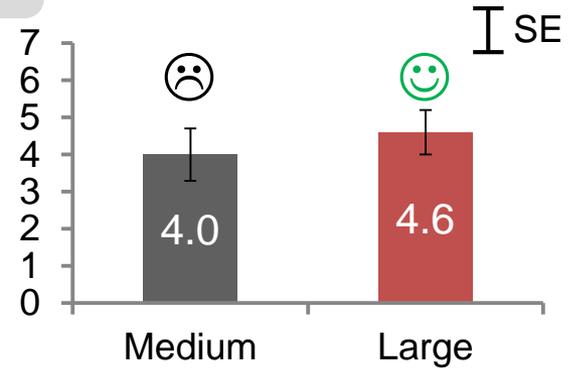
⇒ 시선고정용 시표의 크기에 따라 시선고정 오류율, 이탈율에 큰 차이가 없는 것으로 나타남

Size 별 시선고정 성능 평가 결과: 주관적 만족도

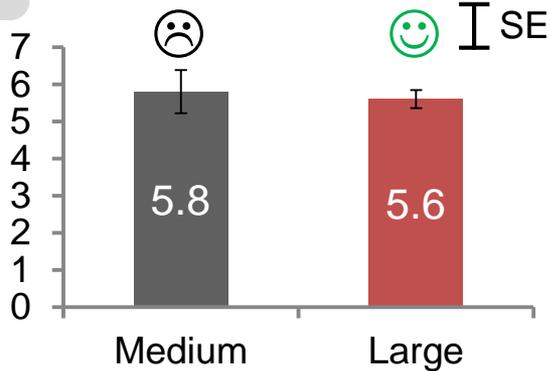
시선집중
용이성



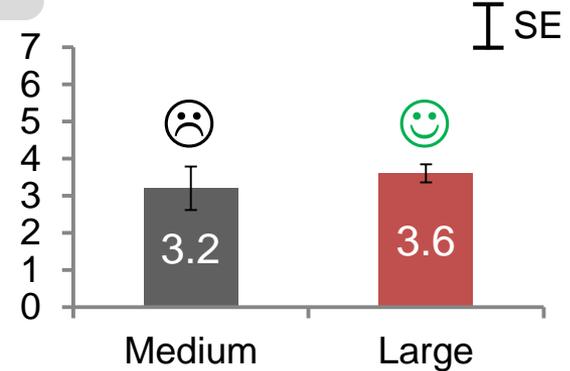
검사
집중도



눈
피로도

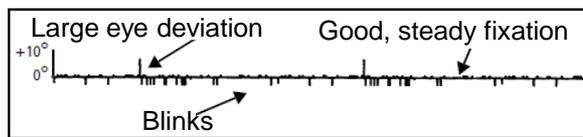


전반적
만족도

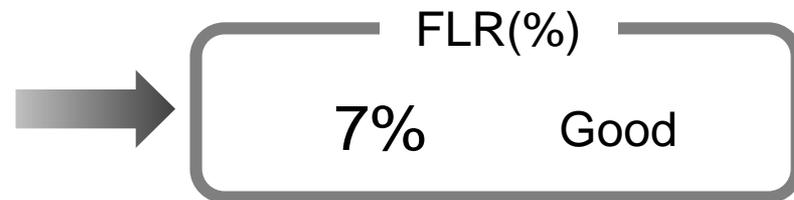


⇒ 시선고정용 시표의 크기가 **large**일 때, 주관적 만족도 평가가 **약 10% 높게** 나타남

- ❑ 자동시야검사기에 사용되는 **시선고정용 시표의 유형**에 따른 시선고정 성능 및 주관적 만족도 평가를 수행한 **최초 연구**
- ❑ 시선고정 성능평가를 위해 **discrete**한 방법(시선고정 오류율)과 **continuous**한 방법(시선고정 이탈율)을 동시에 사용한 연구
 - ✓ 시선고정 오류율과 시선고정 이탈율과의 **상관관계가 없는 것**으로 분석됨($r = -0.408$; $p = 0.242$)
 - ✓ **시선고정 오류율**은 시야검사 결과의 **신뢰도**($FER < 33\%$) 판단 **지표로써 한계가 있는 것**으로 파악됨
- ❑ 정성적 정보의 **정량화**를 통한 정확한 시야검사 결과 획득에 기여



기존 시야검사기의 gaze graph

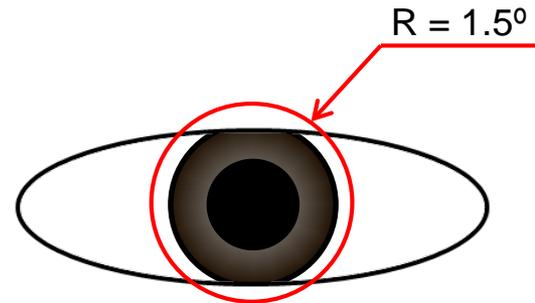


□ 활용 방안

- ✓ 분석된 안구의 미세운동 범위(시선고정 허용한계 범위): 시선고정 자동으로 모니터링 시스템의 시선고정 허용한계 값으로 활용 가능



Humphery® Matrix™ 시선고정 허용한계
(범위 설정 근거 부족)



시선고정 이탈을 분석결과가
적용된 시선고정 허용한계

□ 한계: 평균 5분의 시야검사 검사가 진행되는 동안 유발되는 시각적 피로 대한 고려 필요

- ✓ 기존 시야검사기의 단조로운 검사 환경은 단일한 배경색과 변화가 없는 시선고정용 시표로 인한 **passive fatigue** 유발 가능(May and Baldwin, 2009)
- ✓ 제시되는 시표확인을 위해 눈을 깜박이는 횟수 감소에 의한 안구 건조로 fatigue 유발 가능

추후 연구

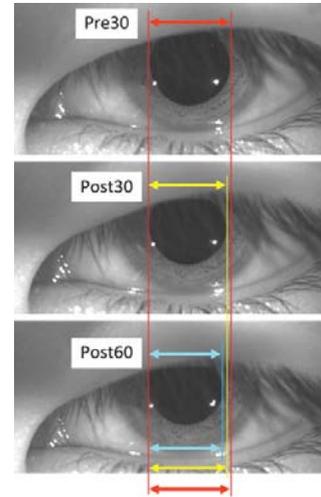
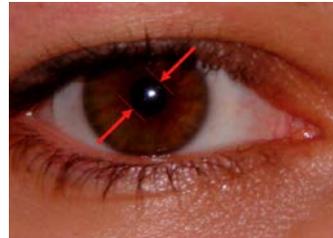
□ 시선고정용 시표에 따른 눈의 피로도 연구

- ✓ 눈의 피로도 측정 방법: electro-oculogram(EOG; Ohsuga et al, 2007), percentage closure of eyes(PERCLOS; Ji and Yang, 2002), 동공의 직경(pupil diameter; Taptagaporn and Saito, 1990) 등
- ✓ 시야검사 시 유발되는 눈 피로도의 정량적 평가 연구
- ✓ 시야검사자의 피로도를 고려한 적정 시야검사 시간 도출연구

EOG분석을 통한 피로도 측정



동공의 직경 분석을 통한 피로도 측정



동공의 직경 변화



SMI InSight™
Driver Monitoring
System



Tobii 1750

Q & A



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION