

공간이미지를 향한 주시에 나타난 동공의 무의식적 반응 특성*

Unconscious Response Characteristics of Pupils in the Observation toward to Spatial Image

Author 김중하 Kim, Jong-Ha / 정회원, 동양대학교 건축소방안전학과 교수, 공학박사

Abstract The purpose of this study is to examined the unconscious response of the pupil in the observation toward the image in the eye-tracking experiments that target on a large complex cultural space. Twenty - five men participated in this experiment and the observation data were analyzed in seconds per minute on watching time. It could examine the unconscious response of information searching in the change of pupil size in the process of observing the space. The results could be defined as following several points. First, it was possible to outline the unconscious response characteristics of pupil by analyzing sudden changes in pupil size as total, cumulative, and individual. The response characteristics using frequency and time can be utilized as the analytical method to examine the degree of interest of spatial components according to the purpose of analysis in the future. Second, according to the over $\pm 5\%$ of cumulative variation rate on the pupil size change, during in the 60 seconds, the continuous pupil dilation was used 25.2 seconds in 8.8 rounds and the pupil reduction was used 18.0 seconds in 7.0 rounds. Third, when the variation rate of $\pm 5\%$ or more was regarded as the sudden changes on pupil size by individual variation , the pupil dilation was 7.2 rounds of 8.6 seconds and pupil reduction was 6.0 seconds in 5.0 rounds. This means that the pupil increases 9.3% in one expansion and decreases -8.5% in the reduction process. As regarding pupil changes as cumulative rate, it appeared high change rate on pupil reduction but it became higher on pupil dilation in individual.

Keywords 공간 이미지, 주시특성, 동공 크기, 무의식적 반응, 시선추적
Space Image, Primacy Effect, Pupil Size, Unconscious Response, Eye-tracking

1. 서론

1.1. 연구의 배경과 목적

4차 산업혁명의 물결 속에 건축분야에서도 사물인터넷을 기반으로 한 플랫폼 서비스를 도입하려는 움직임에 있다. 공간과 활동, 장소를 인간과 연결시키는 새로운 패러다임은 스마트빌딩과 스마트건설을 통해서 일부 성과를 거두고 있다. 하지만 급격한 기술발달과는 대조적으로 인간의 감성을 어떻게 플랫폼 서비스 기술에 적용시킬 것인가에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 기존 연구에서는 사람과 공간의 접촉방법을 밝히기 위해 사용자의 잠재적인 반응들을 측정하고, 주관적 경험을 객관적으로 평가하기 위한 방법으로 설문조사나 현장평가를 진행해 왔다. 하지만 사후평가나 관찰평가가 갖는 한계로 인해

비(非)의식적인 심리상태를 추론하는데 머물렀다. 공간과 사람과의 관계를 과학적인 방법을 통해 밝히기 위한 연구로 시선추적이나 뇌파, fMRI분석법의 병행 분석을 통해 뉴로디자인에 대한 접근 시도도 있었다(김상희 외 ; 2016, 성기원 외 ; 2004). 공간을 디자인하고 인간의 감성을 연구하려면 사용자와 공간의 상호작용을 이해하는 것은 물론 공간의 디자인에 사용자의 행태나 사고를 객관적으로 분석하여 제시할 필요가 있다. 하지만 현재까지의 연구경향은 인간의 공간에 대해 갖는 “본질”보다는 표층이라고 할 수 있는 “현상”에 초점이 맞춰진 경향이 있다. 이것은 “본질”을 규명하기 위한 기술적인 접근 방법을 갖지 못해서 원인을 찾을 수 있다. 본 연구는 시선추적(Eye Tracking)에 나타난 시행태에 초점을 맞추고 있다. 시선추적을 이용한 연구는 과거의 조사방법으로 파악하기 힘들었던 관찰자의 감정 및 무의식의 영역까지도 파악하고 실시간으로 측정하고 기록할 수 있는 장점이 있다. 최근 IT기술의 발달로 정밀도가 높은 데이터를

* 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2016R1D1A3B03930114)

측정하고 기록하는 것이 가능하게 되었는데 그 중 하나가 동공지표이다. 동공은 눈의 생리적 반응 외에 외부 자극에 대한 반응을 살펴볼 수 있는 지표로 이용이 가능한데 주로 동공 지름에 대한 변화를 측정하게 된다. 동공의 확장과 축소 변화는 정보처리과정(인지적 처리과정)에 혹은 감정적 처리과정에 투여되는 뇌의 활동을 반영한다(Granholm & Steinhauer; 2004). 동공의 크기 변화를 추적하여 공간에 대한 탐색반응을 계량적으로 수치화하여 시각화 시킬 수 있다면 공간디자인이나 사용자의 반응 평가에 유용한 지표로 활용할 수 있다.

한편 동공지표를 공간정보와 연계시켜 분석하고자 하는 연구가 최근 시도되고 있지만(고의석 외; 2017) 어떤 분석기법을 이용하여 어떻게 동공변화를 분석하는 것이 주관적 경험을 객관화 시키면서 인간의 감성을 측정할 수 있을 것인가에 대한 연구가 필요한 실정이다. 즉 시선추적장치를 이용하면 “보는 것의 의미”를 과학적으로 해석하는 것이 가능한데 여기에 동공지표가 갖는 의미를 추가함으로써 무의식 속에 나타난 공간과 구성요소에 대한 반응을 살펴보았다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

시선추적 실험 상황을 보면, 피험자가 설명을 들은 후 모니터 앞에 앉아서 전면에 있는 모니터의 이미지를 보는 과정을 시선추적 장치를 이용하여 주시데이터를 저장하는 방법으로 진행된다. 얼마 동안의 시선추적 실험을 하는 것이 가장 유효한 데이터를 얻을 수 있는가 하는 것은 실험목적에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 시선추적을 통해 획득한 실험시간은 2분 10초이지만, 초기 주시에 사용된 1분을 분석대상으로 하였다. 시선추적 장치를 이용하게 되면 어느 곳을 얼마만큼 주시했는지를 알 수 있지만 오래 혹은 자주 주시했다고 해서 주시한 대상에 관심이거나 흥미를 많이 가졌다고 볼 수 있는 근거는 약하다. 왜냐하면 주시행태에서 특정 대상에 시선이 멈춘다는 것은 어떤 원인이 있었기 때문이지만, 멈추게 한 원인과 시선추적 실험 결과를 연계시켜 분석하는 기법은 아직 초보적인 수준에 머물러 있기 때문이다.

본 연구는 동공의 무의식적 반응에 초점을 맞춰 동공크기 변화를 적하였다. 동공의 크기 변화는 주시를 통해 획득되는 정보의 내용에 따라 달라질 것이 예상된다. 시환경을 최대한 자극하고 많은 정보가 담긴 공간을 실험이미지로 선정하고 시선추적 실험을 통해 나타난 주시데이터를 초 단위로 정리하였다. 동공크기의 기준을 정하고, 매 시간(초)에 나타난 동공크기 변화를 증감율을 통해 살펴 보았다. 동공크기는 확장과 축소를 반복하게 되는데 동공크기 변화를 기준으로 빈도와 주시개수의 변화를 통해 동공크기 분석기법과 공간정보 획득 특성을 정리하였다.

2. 이론적 고찰과 시선추적 실험

2.1. 이론적 고찰

동공의 확장·축소는 눈이 ‘잘 보기 위해’ 망막에 도달하는 빛의 양을 조절하는 역할에 있다. 동공크기는 환경과 연령, 인종 등에 따라서도 다르지만, 정상적인 동공의 직경이 평균 3~4mm이다. 물론 조도나 질환에 따라 그 직경의 크기가 변하며 또한 렌즈 착용상태와 실내·실외 등의 조건도 크기에 영향을 끼친다(Ryou et al; 1996). 암순응상태의 동공크기는 연령에 따라서도 변하는데 동공의 직경 변화는 사고과정에 대한 유용한 지표이고 흥분상태에서 확장하고 불쾌한 상태에서 수축한다(Hess & Polt; 1960, Hess; 1965). 동공크기의 변화율은 작업의 곤란도와 관련이 있고(Daniel & Jackson; 1966) 문제를 해결하는 동안 문제의 곤란도에 따라 동공의 평균크기도 변한다(신원섭 외; 2013).

주시한 곳의 의미를 관심과 흥미와 연계시키기 위해 뇌파를 이용한 경우도 있었지만 기존의 시선추적과 관련 연구에서는 시행태 중에서 시선이 멈춘 시간과 빈도 특성에 초점을 맞춘 경우가 많았다. 본능적 시선탐색과정에서 나타나는 주시특성과 주사경로 알고리즘을 분석하거나(김종하 외; 2014), 기존의 주시빈도 분석의 한계를 벗어나 선택적 주의집중 정도를 분석하는 주시데이터 추출방법을 제안하기도 했다(김종하 외; 2015). 하지만 시선추적 실험결과를 주시특성으로 분석하면 주시시간과 주시한 요소는 알 수 있지만 어떤 감정과 집중정도를 가졌는지는 알 수 없다는 한계가 있다. 이에 대해 시선의 고정과 도약 과정에 나타난 동공지표에 나타난 성별 주시특성을 통해 정보획득에 적정한 주시시간을 살펴본 연구도 있다(이정호 외; 2018). 동공크기의 변화를 살펴본다는 것은 시환경에 대한 반응을 살펴보는 것이 되므로 동공크기가 변하는 특성을 분석한다면 눈을 통해 획득되는 인지적 정보를 처리하는 과정을 살펴볼 수 있다.

2.2. 공간 이미지 선정과 시선추적 실험

(1) 공간이미지 선정

본 연구에서 사용된 이미지는 <그림 1>의 대형복합문화공간은 독서는 물론 복합적인 휴식과 문화체험이 가능한 공간으로 2017년 개관하였다. 공간 구성으로는 높이 13m의 대형서가 3개와 5만 여권에 달하는 책, 국내 최대 규모의 잡지 코너, 해외 잡지, 최신 e-book 시스템도 갖추고 있다. 예비조사와 본 조사를 통해 촬영 위치는 진입로에서 해당 시설의 로고가 보이는 위치를 선정하여 사람의 왕래가 적은 아침 개관 시간에 촬영하였다.¹⁾

1) 예비조사는 2017.06.27. 실시하였으며 본 조사 및 촬영은 2017.07.06. 일 실시 함

Nikon D500 카메라를 사용하였으며 28mm(화각 75°) 렌즈에 높이 1.6m에서 촬영하였다.²⁾



<그림 1> 실험대상 공간(좌)과 촬영 위치(우)

(2) 시선추적 실험

시선추적기는 SMI사의 SMI REDn Scientific를 사용하였으며, 실험은 대학교 일반학과에 재학 중인 남학생 25명이 참여하여 2017.07.13.-19일 동안 실시하였다. 실험 데이터는 1초에 30Hz의 주시데이터로 저장하였다. 실험은 피험자 눈높이를 화면 중앙에 맞추고 모니터와의 거리는 약 65cm로 설정한 상태에서 실험을 하였다. 눈의 초점을 측정 장치에 맞추는 교정과정을 거치게 되는데 5개 주시점을 대상으로 실시하였으며, 교정에 실패한 경우 1회 재시도 기회를 부여고 2회 재시도가 생기는 피험자는 실험에서 제외하였다. 교정 후에 보정타당도(validation) 검사를 하게 되는데 피험자 동공의 X, Y축 최대 편차(deviation)가 0.5° 이하가 되도록 하였다.

교정 후에 본 실험을 하게 되는데, 주시실험에 대한 목적과 주시 실험 후 설문을 실시한다는 내용에 대한 안내가 실험 모니터에 제시되었다. 실험용 모니터의 크기는 51.0×28.7cm(1920×1080 pixel)이며 피험자에게 주어진 이미지 주시실험 분석을 위한 목표시간은 1분이지만 실제 실험은 2분 10초이다. 실험 후 실시한 설문은 피험자의 실험에 대한 집중도를 높이기 위한 장치로 분석에는 사용하지 않았다.

2.3. 분석의 틀 설정

(1) 무의식적 동공크기 변화의 분석범위

실험에 참여한 피험자는 모니터에 제시된 이미지를 주시하게 되는데, 이때 주시데이터가 저장된다. 저장된 데이터는 어떤 곳을 주시했는지를 알 수 있는 좌표 데이터가 저장되는데, 시지각 정보획득을 알 수 있는 유효데이터로 고정(이하 Fixation으로 함)과 이동(이하 Saccade으로 함)데이터, 그리고 눈 깜빡임이나 시선이 실험용 모니터를 벗어난 불용데이터로 나뉜다. 주시데이터는 1초에 30개가 저장되는데 이때 동공의 크기도 같이 저장된다. 동공의 크기 변화는 순간적으로 일어나는 눈의 생리적 반응이므로 해당 공간을 주시하는 과정에서 관심과 주의

집중 정도를 알 수 있는 지표가 될 수 있다.

본 연구에서는 주시 대상에 대한 주의집중을 분석하기 위해 저장된 주시데이터를 1초 단위로 분절하여 분석하였다. 한편 사람에 따라서 동공 크기가 다르기 때문에 동공크기를 어떻게 상호 비교하기 위한 기준이 필요하다. 본 연구에서는 실험 시간 전체에 나타난 피험자별 전체 동공크기 평균을 기준으로 시간(초)별 상대적 동공의 크기변화를 살펴보았다. 분석은 시간범위별 동공의 변화를 특성을 전체, 누계, 개별로 나누어 각 유형에 나타난 주시 빈도와 시간을 분석하였다.

(2) 상대적 동공크기의 정의

유효데이터 중에서 Fixation된 시간동안 해당 눈이 정보를 획득하게 되므로, 분석은 Fixation 데이터의 동공크기 변화이다. 동공크기는 주시시간의 변화에 따라 증감을 하게 되는데, 상대적인 증감을 산출을 통해 동공의 무의식적 반응을 추출할 수 있다.

예를 들어 1번 피험자의 Fixation데이터 전체 동공크기가 3.09mm이고, 1초 시간범위에 나타난 Fixation 동공크기가 2.61mm이면 상대적으로 동공크기가 -0.48mm 작아진 것이다. 따라서 전체 동공크기가 3.09mm일 때 1초 시간범위의 동공크기가 2.61mm이고, 2초 시간범위의 동공크기가 2.89mm이면, 주시시간이 1초 범위에서 2초 범위로 바뀌면서 동공크기는 [2.61mm→2.89mm]로 변한 것이다. 이것을 기준이 되는 전체 동공크기 3.09mm에서 본다면 -0.48mm, -0.2mm가 되므로 [1초→2초]에서 +0.28mm 커진 것이 된다. 따라서 증감율로 본다면 2초 시간범위는 1초 시간범위에 비해 10.7% 증가한 동공 값을 가진 것이다.

(3) 동공크기의 변화율에 따른 분석 기준 설정

주시시간의 변화에 따라 동공크기는 증감을 반복하게 되는데, 증감율의 범위를 어떻게 설정할 것인가에 따라 분석결과가 달라질 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 동공크기의 변화를 i)점진적인 증감과 ii)비약적인 증감으로 구분하고, 증감의 변화를 대상으로 a)전체, b)누계, c)개별로 나누어 분석하였다. i)점진적인 증감은 <그림 2>와 같이 증감을 반복하는 구간을 의미하며, ii) 비약적인 증감은 각 시간단위에서 크게 증감이 일어난 구간으로 그 기준을 ±5%로 설정하였다.

동공의 확장과 축소 특성을 분석하는 방법에서 a)전체는 동공의 확장 혹은 축소 상태의 전체를 분석하는 방법이며, b)누계는 ±5% 이상의 변화율을 가진 점진적인 증감과 비약적인 증감을 보인 동공변화를, c)개별은 각 시간단위(초)에서 ±5%이상의 변화를 보인 비약적 증가 구간의 주시데이터만을 추출하여 정리하는 방법이다.

2) 본 연구는 이정호, 김종하, 시선의 고정과 도약 동공지표에 나타난 성별 주시시간 특성, 한국실내디자인학회논문집, 27권, 1호, 2018, pp.29-38과 동일한 이미지와 실험 데이터의 일부를 이용한 논문임



<그림 2> 동공크기 증감 변화도

(4) 분석 데이터의 범위

주시실험을 통해 얻은 전체 2분 10초(3,600개)의 데이터 중에서 분석대상이 된 1분(1,800개)의 데이터가 차지하는 비중을 살펴본 결과 Fixation데이터는 49.9%로 전체 데이터의 50%에 가까운 것을 알 수 있다. 하지만 Saccade는 54.9%로 분석대상데이터가 높고, 불용데이터는 43.3%로 낮은 것이 특징이다. 즉 Fixation은 전체 실험시간의 1/2에 해당하는 데이터를 얻을 수 있었지만 Saccade와 불용데이터는 전체데이터와 차이가 있었다.

<표 1> 전체 주시데이터와 분석범위 데이터 비교

	데이터 수			소계	동공크기	
	유효데이터		불용데이터		Fixation	Saccade
	Fixation	Saccade				
전체	2761.4	511.09	327.5	3600	3.37	3.36
분석대상	1377.8	280.6	141.7	1800	3.38	3.37
비중(%)	49.9	54.9	43.3	50.0	-	-

3. 주시데이터에서 동공크기 분석

3.1. 동공크기의 변화

(1) 시간변화에 따른 동공크기 변화

<표 2>는 1번 피험자를 대상으로 분석 대상이 된 1분(60초)동안의 주시데이터를 정리한 결과이다. 시간범위1에 Fixation이 26개, Saccade가 4개, 불용데이터가 0개이며, 동공크기가 Fixation에서 2.61mm, Saccade에서 2.52mm이다. 전체 60초 동안의 평균을 보면 Fixation이 27.4개, Saccade이 2.3개에 불용데이터가 0.3개이며, 동공크기는 Fixation에서 3.08mm, Saccade에서 2.83mm이다.

분석에 사용된 데이터는 각 피험자별 기준이 된 전체 동공크기의 Fixation과 시간범위별 Fixation 동공크기이다. 데이터는 1초에 30개가 저장되므로 각 데이터 1개는 0.033...초의 시간으로 환산하는 것도 가능하다.

<표 2> 시간범위 변화에 따른 주시데이터와 동공크기

시간 범위 (초)		유효 데이터		불용데이터	합계
		Fixation	Saccade		
	전체 동공크기	3.09	3.09	-	-
1	횃수	26	4	0	30
	동공크기	2.61	2.52	-	-
2	횃수	27	3	0	30
	동공크기	2.89	2.92	-	-
..(생략)..					
59	횃수	29	1	0	30
	동공크기	3.35	3.37	-	-
60	횃수	27	3	0	30
	동공크기	3.17	3.16	-	-
평균	횃수	27.4	2.3	0.3	30
	동공크기	3.08	2.83	-	-

(2) 시간변화에 따른 동공크기의 개별 변화

주시시간의 변화에 따라 동공크기는 변한다. 1번 피험자의 시간범위에 따른 개별 증감율을 정리한 것이 <표 3>이다. 시간범위가 [1초→2초]로 이동하면서 기준 동공크기에 비해 상대적 동공크기가 [-0.48→-0.2]로 커진 것이 되므로 증감율은 +10.7%이다. 또한 [2초→3초]시간범위는 [-0.2→-0.05]이므로 동공크기는 상대적으로 +5.2% 증가했다. 이렇게 정리할 경우, <표 3>에 국한하여 정리하면 ±5% 이상 급격한 증가가 발생한 시간범위는 [1초→2초, 2초→3초]구간이며 [16초→17초]구간에서는 -6.7% 급격한 감소가 일어난 구간으로 볼 수 있다. 그 외 구간은 점진적인 증감 구간이다.

<표 3> 시간범위별 동공크기와 증감율

시간범위 (초)	기준 동공크기	시간범위별 동공크기	차이	증감율(%)	비고*
1	3.09	2.61	-0.48	-	-
2		2.89	-0.2	10.7	↑
3		3.04	-0.05	5.2	↑
4		2.92	-0.17	-3.9	↓
..(생략)..					
16	3.09	0.05	-0.15	3.0	↑
17		-0.16	-0.26	-6.7	↓
18		-0.24	-0.14	-2.7	↓
..(생략)..					

■ : 증감율 ±5% 이상 [급격한 동공변화]
비고*: ↑: 확장, ↓: 축소, ↑: 급확장, ↓: 급축소

(3) 시간변화에 따른 동공크기의 분석 기법

한편 시선추적 실험과정에서 피험자는 제시된 이미지를 실험시간 동안 계속적으로 주시하게 되며, 주시데이터도 연속적으로 기록된다. 동공크기를 분석함에 있어 어떻게 분석하는 것이 적합한가에 대한 기준은 분석 목적에 따라 달라질 수 있겠지만, 2.3절 (3)항의 「a)전체」를 대상으로 분석하는 방법 외에 <표 4>처럼 ii)연속적 측면에서 「b)누계」 변화율 혹은 <표 3>처럼 「c)개별」 시간범위의 급격한 증감율을 살펴볼 것인가에 대한 정리가 필요하다.

1번 피험자를 대상으로 확장과 축소의 「b)누계」 변화를 통해 증감을 정리한 <표 4>와 <그림 2>의 내용에

중첩한 것이 <그림 3>이다. 시간범위 [1초→2초(10.7%) 구간]의 「c)개별」 증가가 ①, [2초→3초(5.2%)]를 ②로 볼 경우, ①과 ②를 합친 ③은 15.9%는 「b)누계」 상승률로 평균 8.0%를 보인 구간으로 정리할 수 있다. 즉 어떻게 동공크기 변화를 정리하는가에 따라 동공변화율이 달라짐을 의미한다.



<그림 3> 동공크기의 변화(일부)

<표 4> 시간이동구간의 [1번 피험자]

시간 이동 구간 (초)	개별		누계	
	상승률	비고*	상승률	비고*
1 → 2	10.7	↑		↑
2 → 3	5.2	↑	15.9	
3 → 4	-3.9	↓		↓
4 → 5	-4.8	↓	-8.7	
5 → 6	1.1	↑		
6 → 7	1.8	↑		↑
7 → 8	7.3	↑		
8 → 9	5.2	↑	15.4	
9 → 10	-5.3	↓		↓
10 → 11	-1.0	↓	-6.2	
11 → 12	1.0	↑	1.0	↑
12 → 13	-0.3	↓		↓
13 → 14	-2.6	↓	-2.9	
14 → 15	2.7	↑		↑
15 → 16	3.0	↑	5.6	
16 → 17	-6.7	↓		↓
17 → 18	-2.7	↓	-9.4	

..(생략)..
비고*: ↑: 확장, ↓: 축소, ↑: 급확장, ↓: 급축소

급격한 동공변화의 크기를 얼마나 설정할 것인가와 더불어 어떻게 연속성을 살펴볼 것인가 하는 것은 공간 이미지를 향한 주시에 나타난 동공의 무의식적 반응을 살펴보는 과정에서 중요한 분석 기준이 될 것이다. 이렇게 볼 경우 <표 4>에서 [1초→2초(10.7%)]와 [2초→3초(5.2%)]는 개별적으로도 급확장[↑]한 구간인 동시에 15.9%의 누계 상승률을 가지므로 전체적으로도 급확장[↑]한 구간으로 정리가 가능하다. [5초→9초]구간을 보면 [5초→7초]구간은 1.1%와 1.8%의 상승률을 보여서 점진적 확장[↑]에 속하지만 연속적인 확장을 9초까지 이어진 결과 누계 상승률로 15.4%를 보이므로 이 구간도 급확장[↑]한 구간이 된다. 하지만 [12초→13초]구간은 누계가 -2.9%에 불과하여 급확장·축소가 일어나지 않은 구간으로 정의될 수 있다.

3.2. 동공크기 변화 특성

(1) 피험자별 동공크기

실험에 참여한 피험자별 분석주시시간(60초)을 대상으로 초당 평균 주시데이터를 정리한 것이 <표 5>이다. 초당 평균 23.0개(76.5%)의 Fixation과 4.7개(15.6%)의 Saccade에 불용데이터가 2.3개(7.9%) 발생한 것을 알 수 있다. 분석 대상이 된 데이터의 동공크기는 3.36mm이다.

<표 5> 피험자별 주시데이터와 동공크기

피험자	유효데이터		불용 데이터	소계	동공크기 (Fixation)
	Fixation	Saccade			
1	27.4	2.3	0.3	30	3.08
2	19.4	5.5	5.1	30	2.99
3	22.6	5.0	2.4	30	3.95
..(생략)..					
24	24.5	4.2	1.3	30	3.00
25	23.8	4.7	1.5	30	3.57
평균	23.0	4.7	2.3	30	3.36
비율	76.5	15.6	7.9	100	-

(2) 피험자별 동공크기 변화특성

동공크기는 피험자별로 크기가 달랐으며 전체 데이터의 동공크기와 분석대상이 된 데이터의 동공크기도 약간 다르게 나타났다. 동공크기 변화율을 보면 증가는 8명, 감소가 12명에 변화가 없었던 피험자가 3명이었다. <표 6>의 전체 데이터에서 분석대상 데이터로 한정하는 과정에서 동공크기가 8명에서 0.91%증가하고, 12명에서 -1.31% 감소한 경향이 있었음을 알 수 있다. 증감변화가 있었다는 것은 분석대상 데이터로 한정된 실험시간동안의 동공 주시특성을 나타내는 것으로 0.91~1.31% 정도의 변화율 폭이 있었음을 알 수 있다.

<표 6> 피험자별 주시데이터와 동공크기

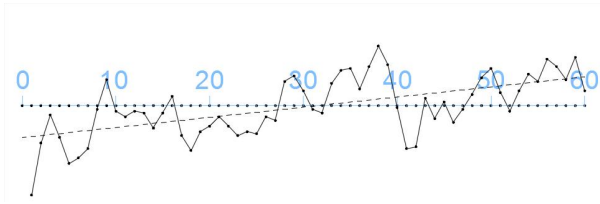
피험자	동공크기(Fixation)		변화율***		
	전체*	대상**	증가	(변화 없음)	감소
1	3.09	3.08	0.32		
2	3.02	2.99	0.99		
3	3.91	3.95			-1.02
..(생략)..					
24	2.99	3.00			-0.33
25	3.45	3.57			-3.48
평균	3.37	3.36	0.91	0	-1.31

전체*: 실험시간 120초 평균, 대상**: 분석대상이 된 60초 평균
변화율***: 전체를 기준으로 한 변화율(%)

3.3. 분석기준에 따른 동공크기 변화 특성

(1) 분석 시간범위 전체 동공크기 특성

동공의 크기는 주시시간의 변화에 따라 증감을 반복하면서 나타났는데 1번 피험자를 대상으로 분석 기준에 따른 동공크기의 전체 Fixation 변화특성에 선형추세선(고정)을 정리한 것이 <그림 4>이다. 시선추적을 개시한 시점은 낮은 동공크기를 가지지만 증감을 반복하면서 전체적으로는 동공이 확장한 것을 알 수 있다.



... : 선형 추세선(고정)
 <그림 4> 동공크기의 「전체 흐름」 변화

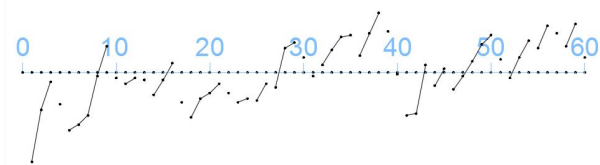
(2) 동공크기 변화의 「a)전체」 특성

주시과정에서 동공크기는 상대적인 확장과 축소를 반복한다. 예를 들어 주시 시작 초기의 [1초→3초]구간은 개별과 누계에서 모두 비약적 확장 구간인 동시에 연속된 확장이므로 1회 빈도에 2개의 상승물을 가진 구간이며 [11초→12초(1.0%)]의 경우에는 [10초→11초(-1.0%)]와 [12초→13초(-0.3%)]의 사이에 있으므로 이 경우에는 연속성을 갖지 못하지만 1회 빈도에 1개의 점진적 증가 상승물을 가진 구간이다. 여기에서 빈도는 연속성을 가진 확장 혹은 축소 변화를 의미하며, 개수는 연속적 움직임 속에 포함된 시간(초)별 주시점의 개수를 의미한다.

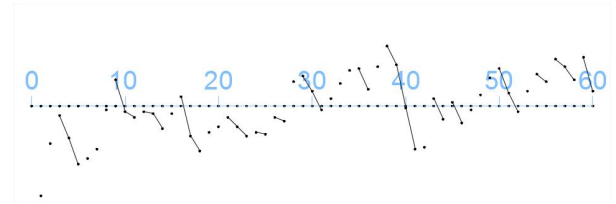
1회 빈도에는 몇 개의 개수가 포함될 수 있으며 개수를 시간으로 환산하는 것도 가능하다. 예를 들어, <표 7>의 확장에서 빈도 16은 전체 시간 60초 동안 16회의 빈도에 33회의 개수로 확장이 발생한 것을 의미하므로, 동공 확장은 16회에 33초 동안 일어난 것을 알 수 있다. 반대로 축소는 16회에 26초 동안 일어났다. 동공은 평균 3.2% 확장을 보인 반면, -3.1%의 변화율로 축소된 것을 알 수 있다. 확장과 축소 빈도는 동일했으나 개수(시간)으로 보면 확장이 많았으며 평균 확장폭도 축소에 비해 0.1% 높았다. 전체적으로 확장했다는 것은 <그림 4>에서도 알 수 있었는데 <표 7>을 보면 빈도는 같지만 내부적으로는 확장 개수(시간)을 많이 가진 형태로 주시가 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 참고로 개수는 초간 사이를 이동한 개수에 해당하므로 확장은 33초, 축소는 26초 동안 동공이 확장과 축소를 했지만 점진적으로 오랜 시간동안 확장 기조를 유지하면서 해당 이미지를 주시한 것으로 보인다.

<표 7> 동공크기변화 전체 특성

	빈도	개수(초)	평균 변화율
확장	16	33	3.2
축소	16	26	-3.1



<그림 5> 동공크기의 「확장」 변화



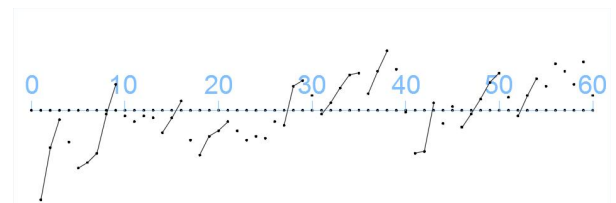
<그림 6> 동공크기의 「축소」 변화

(3) 동공크기 변화의 「b)누계」 특성

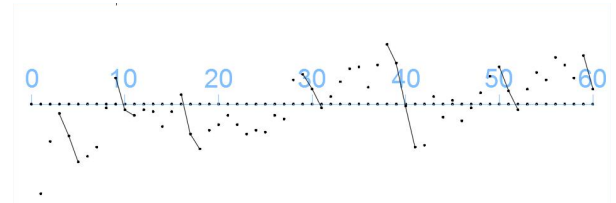
한편 동공크기가 작게 변화한 시간범위를 제외한 상태에서 누계를 기준으로 살펴본 것이 <그림 7, 8>이다. 즉 단독과 연속변화를 포함하여 동공크기가 비약적 증감(±5% 이상)을 보인 경우에 해당된다. 동공크기가 확장한 빈도는 10회(개수 27개)에 평균 9.0%, 축소는 6회(16회)에 평균 -8.5%이다. 여러 번의 빈도 확장과 개수를 통해 동공확장이 이루어진 것을 확인할 수 있다. <표 7>과 비교해 보면 빈도는 37.5%·62.5% 감소하고 개수는 18.2%·38.5% 감소한 특징이 있다. 누계에 의한 증감율을 정리할 경우 전체 동공크기(표 7)에서 축소하는 비율이 큰 것이 특징이다. 따라서 누계로 정리할 경우 전체적으로 빈도와 개수는 감소하며, 특히 축소하는 경우가 많은 것이 특징이다. 동공크기의 평균 변화율은 9%와 -8.5%로 <표 7>에 비해 매우 큰 값의 변화율을 가진 것으로 정리가 가능하다.

<표 8> 동공크기변화 누계 특성

	빈도	개수(초)	평균 변화율
확장	10	27	9.0
축소	6	16	-8.5



<그림 7> 동공크기의 「누계 5% 이상 확장」 변화



<그림 8> 동공크기의 「누계 -5% 이상 축소」 변화

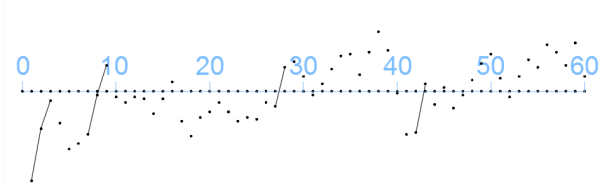
(4) 동공크기 변화의 「c)개별」 특성

개별 시간(초) 단위에서 비약적 증감변화가 일어난 구간만을 정리한 것이 <표 9>이다. 빈도는 확장과 축소가 동일하게 4회이지만 개수로는 확장이 6회로 많았으며 평균 변화율에서는 확장이 7.4%, 축소가 -6.3%였다. <표 7, 8>과 비교하면 빈도와 개수에서 확연한 감소가 나타나고 있다. 예를 들어 확장을 대상으로 변화를 살펴보면,

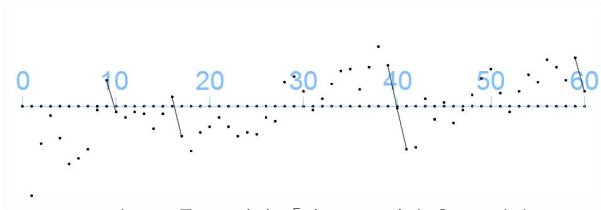
빈도는 16→10(-37.5%)→4(-60%)회로 감소하고 개수도 33→27(-18.2%)→6(77.8%)회로 감소했다. 이에 비해 동공 크기는 3.2→9.0(+181.3%)→7.4(-17.8%)의 증감 변화를 보이고 있다.

<표 9> 동공크기변화 개별 특성

	빈도	개수(초)	평균 변화율
확장	4	6	7.4
축소	4	5	-6.3



<그림 9> 동공크기의 「단독 5% 이상 확장」 변화



<그림 10> 동공크기의 「단독 5% 이상 축소」 변화

4. 동공크기의 무의식적 변화 특성

4.1. 주시시간에 따른 동공크기 변화

(1) 동공크기 확장·축소의 「a」전체」 변화 특성

여기서는 전체 피험자를 대상으로 동공크기 변화 평균 값을 정리하였다. <표 10>의 전체 연속 변화를 보면, 확장에서 13.8회에 8.5% 확장 크기로 동공이 커진 것을 알 수 있으며, 13.8회의 빈도에는 32.1회의 주시 개수(시간)가 포함되므로 확장에 소요된 시간은 32.1초이다.

이에 비해 축소를 보면 13.3회에 26.0초의 시간동안 동공이 축소된 것을 알 수 있다. 나아가 1회 빈도 축소에 -6.7%씩의 동공변화를 보이고 있으며, 매 초마다 평균 -3.4%씩 동공이 축소된 것으로 볼 수 있다. 동공변화의 전체적인 흐름을 알 수 있다는 측면에서 전체를 본다는 것이 의미를 가질 수 있다.

분석대상이 된 60초 동안 동공은 확장과 축소를 반복 하면서 해당 공간 이미지로부터 공간정보를 획득하게 되는데, <표 10>의 결과를 재정리 요약하면 다음과 같다.

- ① 60초 동안 13.8회의 확장과 13.3회 축소하는 동공변화 빈도를 가짐
- ② 1회 빈도에 동공확장은 8.5%, 축소는 -6.7% 일어나고 있어 전체 시간으로 보면 점진적으로 동공이 1.8% 정도 확대된 경향을 읽을 수 있음
- ③ 개수는 시간을 의미하는데, 동공확장은 32.1초, 축소는 26.0초의 시간이 소요됨

④ 1초 단위로 보게 되면, 동공확장과과정에서는 1초에 3.6%의 동공확장이 평균적으로 일어난데 비해 축소과정에는 1초에 -3.4%의 변화율을 가지고 있음

<표 10> 동공크기변화 「a」전체」 변화 특성

피험자	확장				축소			
	빈도	평균(%)	개수(초)	평균(%)	빈도	평균(%)	개수(초)	평균(%)
1	16	6.6	33	3.2	16	-5.1	26	-3.1
2	14	7.0	29	3.4	14	-5.6	24	-3.2
3	13	10.3	35	3.8	13	-7.5	24	-4.1
..(생략)..								
24	15	7.0	32	3.3	14	-6.3	27	-3.3
25	15	10.3	31	5.0	15	-7.8	28	-4.2
평균	13.8	8.5	32.1	3.6	13.3	-6.7	26.0	-3.4

(2) 동공크기 확장·축소의 「b」누계」 변화 특성

동공크기 변화를 어떤 관점에서 분석하는 것이 가장 적합한 것인가는 분석대상과 목적에 따라 달라질 수 있다. 시간변화에 따른 동공크기 변화를 분석하는 과정에서 연속성 관점에서 누계 ±5% 이상의 변화율을 가진 개수(시간)만을 추출하여 정리한 것이 <표 11>이다.

<표 10>을 통해 정리된 전체 결과와 비교를 통해 분석하여 요약하면 다음과 같다.

- ① 60초 동안 8.8회의 확장과 7.0회 축소하는 동공변화 빈도를 가짐. 누계 ±5% 이상의 변화율을 기준으로 했기 때문에 약하게 동공이 확장과 축소를 한 것이 제외된 상태이므로 빈도가 대폭 감소된 것을 알 수 있음
- ② 1회 빈도에 동공확장은 11.9%, 축소는 -10.7% 일어나고 있는데 전체 데이터에 비해 변동율이 커진 것을 확인할 수 있음
- ③ 동공 확장에 사용된 시간은 25.2초, 동공 축소에는 18.0초임
- ④ 1초 단위로 증감 경향을 보면, 동공확장과과정에서는 1초에 4.1%의 동공확장이 평균적으로 일어난데 비해 축소과정에는 1초에 -4.2%의 변화율을 가지고 있음. 전체 변동율에서는 모든 데이터에서 동공 확장이 축소에 비해 높게 나타났는데 누계로 비교한 결과 1초 단위의 축소 변화가 높은 것이 특징임

<표 11> 동공크기변화 「b」누계」 ±5% 이상 변화 특성

피험자	확장				축소			
	빈도	평균(%)	개수(초)	평균(%)	빈도	평균(%)	개수(초)	평균(%)
1	10	9.0	27	3.3	6	-8.5	16	-3.9
2	9	9.6	22	3.9	5	-10.9	14	-3.9
3	9	13.2	29	4.1	10	-8.7	21	-4.1
..(생략)..								
24	9	10.4	23	4.1	9	-8.5	22	-3.5
25	11	12.9	27	5.3	8	-12.4	18	-5.5
평균	8.8	11.9	25.2	4.1	7.0	-10.7	18.0	-4.2

(3) 동공크기 확장·축소의 「c」개별」 변화 특성

본 항에서는 개별 초 단위에서 동공크기가 ±5% 이상의 변화율을 가진 데이터만을 정리하였다. 그 결과를 앞의 전체와 누계와 비교해서 정리하면 다음과 같다.

<표 12> 동공크기변화 「c」개별」 ±5% 이상 변화 특성

시험자	확장				축소			
	빈도(초)	평균(%)	개수(초)	평균(%)	빈도(초)	평균(%)	개수(초)	평균(%)
1	4	11.1	6	7.4	4	-7.9	5	-6.3
2	7	7.2	8	6.3	4	-6.1	4	-6.1
3	10	7.9	11	7.2	7	-6.3	7	-6.3
..(생략)..								
23	7	8.4	8	7.3	2	-6.5	2	-6.5
24	9	8.3	11	6.8	4	-8.2	5	-6.6
25	9	11.1	11	9.1	8	-8.9	9	-7.9
평균	7.2	9.3	8.6	7.6	5.0	-8.5	6.0	-7.1

- ① 60초 동안 7.2회의 확장과 5.0회 축소하는 동공변화 빈도를 가지는데 개별 ±5% 이상의 변화율을 기준으로 했기 때문에 개별로 약하게 동공이 변화한 시간과 누계에 포함되었던 약한 변화가 제외된 상태이므로 빈도가 급격하게 감소된 것을 알 수 있음
- ② 1회 빈도에 동공확장은 9.3%, 축소는 -8.5% 일어난. 전체 데이터에 비해 누계에서는 변동율이 커졌지만 개별비교에서는 변동율이 작아진 것을 확인할 수 있음
- ③ 동공확장에 사용된 시간은 8.6초, 축소는 6.0초임. 개별 ±5% 이상을 급격한 동공변화로 볼 경우, 8.6초와 6.0초는 초 단위에서 급격한 동공의 확장과 축소가 일어난 시간을 알 수 있는 근거자료가 됨
- ④ 1초 단위로 증감 경향을 보면, 동공확장과정에서는 1초에 7.6%의 동공확장이 평균적으로 일어난데 비해 축소과정에는 1초에 -7.1%의 변화율을 가지고 있음. 누계 변동율에서는 동공 축소의 경우가 변동율이 높았는데 개별로 할 경우 동공확장에 대한 변화율이 높음

4.2. 분석 틀에 따른 동공변화 특성

(1) 동공 확장에 나타난 주시특성

동공이 확장된 경우를 살펴보면 전체에서는 13.8회의 빈도가 누계와 개별로 분석할 경우 8.8개, 7.2개로 -36.2%, -18.2%의 감소를 보이고 있다. 빈도가 감소한 것은 ±5% 이상의 변화율을 분석 기점으로 설정한 상태에서 누계로 볼 것인가, 개별로 볼 것인가에 따라 달라진 것이다. 즉 전체로 본다면 주시 실험시간(1분) 동안 13.8회(32.1초)의 동공확장 빈도가 있었으나 누계로 정리하게 되면 8.8회(25.2초), 개별로 보면 7.2회(8.6초)로 변한 것을 알 수 있다. 빈도의 감소율에 비해 개수(초)의 감소율이 큰 것이 특징이다.

<표 13> 분석 틀에 따른 주시특성

분석 틀	전체	누계	개별
빈도(초)	13.8	8.8	7.2
변동율(%)	-36.2		-18.2
개수(초)	32.1	25.2	8.6
변동율(%)	-21.5		-65.9

(2) 동공 축소에 나타난 주시특성

동공 축소를 보면 전체에서 13.3회의 빈도가 누계→개

별에서 7.0개, 5.0개로 변하면서 -47.4%, -28.6% 감소한 것을 알 수 있다. 이에 비해 시간으로 해석될 수 있는 개수를 보면 26.0개, 18.0개, 6.0개로 30.8%와 66.7%의 감소율을 보이고 있다. 전체→누계→개별로 분석 틀이 바뀔 때 따른 동공 축소에 따른 빈도와 개수(초)의 변화경향을 알 수 있다.

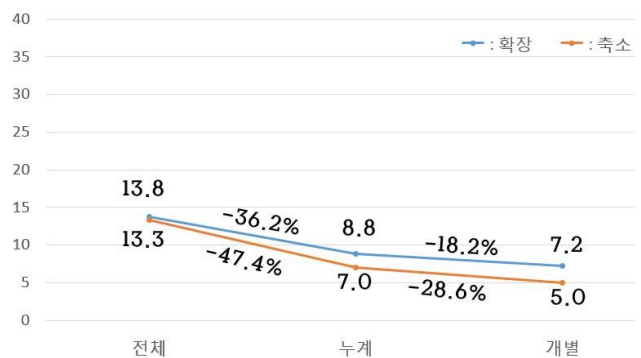
<표 14> 분석 틀에 따른 주시특성

분석 틀	전체	누계	개별
빈도(초)	13.3	7.0	5.0
변동율(%)	-47.4		-28.6
개수(초)	26.0	7.0	5.0
변동율(%)	-30.8		-66.7

4.3. 빈도와 개수에 나타난 동공변화 특성

(1) 빈도를 기준으로 한 분석

동공 확장과 축소에 나타난 빈도를 기준으로 분석틀에 따른 변화경향을 정리한 것이 <그림 11>이다. 전체로 분석할 경우, 동공의 확장(13.8회)과 축소(13.3회)에 큰 차이는 없었으나, 누계→개별을 거치면서 동공 확장은 8.8회(-36.2%)와 7.2회(-18.2%)로 감소한 경향이 있다. 이에 비해 동공 축소는 7.0(-47.4%)회와 5.0(-28.6%)회로 감소했는데, 전체로 분석하는 경우에 비해 누계로 분석할 때 감소율이 컸으며, 개별로 분석하는 경우에도 감소 경향을 나타내고 있다. 전체와 개별을 비교하면 동공 확장은 13.8회에서 7.2회가 되므로 -91.7%로 감소하는데 비해, 동공 축소는 166.0% 감소된 경향이 있다. 전체적으로는 동공 축소의 감소율이 더 큰 것을 알 수 있는데, 이것은 공간이미지를 주시하는 과정에서 전체로 비교하는 것에 비해 개별로 비교하는 것이 동공의 확장과 축소 경향을 명확히 할 수 있음을 의미한다.



<그림 11> 분석 틀의 빈도 변화에 따른 주시특성

(2) 개수(초)를 기준으로 한 분석

한편 동공변화를 시간단위로 정리한 것이 개수의 특성인데 분석 틀에 따른 개수(초)변화를 정리한 것이 <그림 12>이다. 전체로 분석하는 경우에는 동공 확장에 사용된 시간은 32.1초인데 비해 누계→개별을 거치면서 25.2초, 8.6초로 변한 것을 확인할 수 있다. 이러한 변화경향은

동공 축소에서도 비슷하게 나타나는데, 특징적인 것은 누계→개별로 분석틀이 바뀌면서 급격한 시간 감소변화로 일어났다. 즉 동공 확장은 누계로 분석하면 25.2초로 정리할 수 있는 것이 8.6초로 바뀌며 -65.9%가 감소한 반면, 동공 축소는 18.0초가 6.0초로 바뀌면서 -66.7% 감소한 경향을 알 수 있다. 이러한 감소폭은 전체와 비교하면 더 급격한 변화가 일어난 것을 확인할 수 있는데 동공 확장은 273.3%, 동공 축소는 333.3% 감소했다.



<그림 12> 분석 틀의 개수 변화에 따른 주시특성

5. 결론

본 연구는 대형복합문화공간을 대상으로 남자 25명의 시선추적 실험을 실시하여 공간이미지를 향한 주시에 나타난 동공의 반응을 살펴보았다.

그 결과는 다음과 같이 몇 가지로 정리할 수 있다.

첫째, 급격한 동공 크기 변화를 전체, 누계, 개별로 나누어 분석하고 내용을 정리했는데 이를 통해 동공의 반응 특성을 빈도와 시간으로 정리하는 것이 가능했다.

둘째, 전체 피험자의 연속된 전체 동공크기 변화를 보면 확장 13.8회(+8.5%)에 32.1초, 축소 13.3회(-6.7%)에 26.0초의 시간동안 동공이 변한 것을 알 수 있다

셋째, 동공크기 변화를 누계 ±5% 이상의 변화율을 기준으로 보면 60초 동안 연속 동공확장은 8.8회에 25.2초, 동공축소는 7.0회에 18.0초의 시간을 사용했다.

넷째, ±5% 이상의 변화율을 비약적 동공크기가 변한 구간을 개별 변화로 볼 경우, 7.2회의 8.6초 동공확장과 5.0회에 6.0초의 동공축소가 있었다. 1회 확장에 동공이 9.3% 커지고, 축소과정에서는 -8.5% 작아진 것이 특징이다. 동공변화를 누계로 볼 경우에는 동공 축소에서 변동율이 높았는데 개별로 할 경우 동공확장에서 변동율이 높게 나타났다.

다섯째, 동공크기를 기준으로 주시특성을 분석하는 경우 어떤 기준으로 동공크기를 살펴 볼 것인가가 중요하다. 빈도로 분석하는 경우에는 상승폭이 큰 동공데이터만을 개별로 분석하는 것이 차이가 크게 나타났으며, 개

수(시간)을 기준으로 차이 특성을 분석하고자 하는 경우에는 전체 혹은 누계로 분석하는 것이 차이를 명확히 할 수 있었다. 주시 빈도와 시간을 이용한 동공의 반응특성 연구는 향후 공간 구성요소의 관심 정도를 살펴보기 위한 분석방법으로 활용될 수 있다.

참고문헌

1. Daniel K., & Jackson B., Pupil diameter and load on memory. Science, 1966
2. Hess, E. H., & Polt, J. M., Pupil size as related to interest value of visual stimuli. Science, 1960
3. 고의석, 송기현, 조수현, 김종하, 뉴로 스포츠 마케팅을 위한 동공 확장과 주시빈도 간의 관계:시그마 분석법을 적용하여, 감성과학(논문집), 20권, 3호, 2017
4. 김상희, 이정호, 카페 파사드의 선호도에 따른 시각적 주의집중 및 뇌파 주의집중도 분석, 한국실내디자인학회논문집, 25권, 3호, 2016
5. 김종하, 김주연, 공간사용자의 본능적 시선탐색활동에 나타난 주사경로 알고리즘 특성, 감성과학(논문집), 17권, 2호, 2014
6. 김종하, 김주연, 시각의 선택적 주의집중 분석을 위한 공간요소별 주시데이터 추출방법, 감성과학(논문집), 18권, 4호, 2015
7. 성기원, 이진표, 시선추적 분석을 위한 통합 해석 모델의 개발-사용자 인터페이스 디자인을 위한 휴리스틱 가이드라인의 도출을 중심으로-, 디자인학연구, 17권, 2호, 2004
8. 신원섭, 신동훈, 관찰 문제에서 초등학생의 과학 학습성취도에 따른 안구운동 분석, 한국초등과학교육학회 초등과학교육, 32권, 2호, 2013
9. 이정호, 김종하, 시선의 고정과 도약 동공지표에 나타난 성별 주시시간 특성, 한국실내디자인학회논문집, 27권, 1호, 2018
10. Daniel K., & Jackson B. Pupil diameter and load on memory. Science, 154, 1966
11. Granholm, E., & Steinhauer, S. R., Pupillometric measures of cognitive and emotional processes, International Journal of Psychophysiology, 52(1), 2004
12. Hess, E. H., Attitude and pupil size. Scientific American, 212(2), 1965
13. Ryou, J. H, Kim H. W, Park, M. G. & Park H. J., Pupil size in the dark in normal adults. J Korean Ophthalmol Soc. 37(10), 1996

[논문접수 : 2018. 05. 28]

[1차 심사 : 2018. 06. 19]

[2차 심사 : 2018. 06. 20]

[게재확정 : 2018. 06. 22]