

Effect of Color and Color Temperature on the Attention in the Residential Space by the Analysis of EEG and ECG

Young Jung Kim · Doo Hwan Ji · Young Jae Ryu · Sung Hyun Kim
Sang Hyeok Seo · Seung Hyun Kwak · Jin Kyu Kang · Byung Chan Min[†]

Dept. of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

뇌파와 심전도 분석을 통한 색채와 색온도가 주거공간에서의 집중도에 미치는 영향

김영중 · 지두환 · 류영재 · 김성현 · 서상혁 · 곽승현 · 강진규 · 민병찬[†]

한밭대학교 산업경영공학과

This study is aimed to find out whether there is difference in the physiological change of a human body according to the illumination and color of interior space or not and to specify the effect of the condition of illumination and color, respectively on the attention. In order to do so, White and Green were selected for colors and 4,000k, 5,000k, and 6000k were done for color temperature, and then attention was identified. Examining the results, the more color temperature increased, the more attention improved ($P < 0.05$), and in the case of EEG, α wave decreased while performing the task of attention ($P < 0.01$), and β wave decreased more in Green than White in color condition, and it increased more in 4,000k than 5,000k and 6,000k ($p < 0.05$) in color temperature condition. To sum up, color condition didn't contribute to the attention much, in the case of color temperature, when it is 6,000k, it is judged that it helped to improve attention. It is considered that relaxation contributed to improving attention, as β wave and sympathetic nerve decreased in 6,000k ($p < 0.05$). It is judged that the relaxation of tensions which happened due to a beta wave and the reduction of sympathetic nervous system activity in 6,000k, a condition of high color temperature, contributed to the improvement of concentration. In further researches, it is intended that a test will be conducted for the subjects of different ages, and the correlation between color temperature and color stimulation and the influence of them on human body would be observed in subdivided, various test conditions through various color temperature and color stimulation.

Keywords : Attention Concentration, Intensity of Illumination, Color Temperature, EEG

1. 서 론

현대사회의 거주공간은 인간의 삶을 담는 기능을 수행할 뿐만 아니라 기능적인 측면에서 다양화되고 세분화되어 각각의 공간이 피실험자의 쾌적함에 대한 지원성을

갖는 밀착된 공간이다[13]. 예를 들면 거실이나 침실 등의 휴식 공간과 주방과 욕실 등의 위생 공간, 서재 및 공부방 등의 작업 공간 등이 있으며[16], 특히 작업 공간은 집중력을 향상시켜 생산성 증대가 요구되는 공간이라고 할 수 있다[8, 14]. 이러한 거주공간의 환경요소와 거주자의 심리적, 생리적 측면과 생산성에 미치는 영향에 대한 연구와 작업공간의 구성요소 중 조명과 주변공간 색채가 인체에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되고 있다.

Received 17 October 2016; Finally Revised 21 March 2016;

Accepted 22 March 2016

[†] Corresponding Author : bcmin@hanbat.ac.kr

먼저, 작업공간의 공간 색채에 관한 연구를 살펴보면, 홍근주 등[6]의 컬러테라피가 스트레스와 뇌파변화에 미치는 영향이나 공간 색채자극이 대뇌 활성화에 미치는 영향, 색자극이 인체의 생리·심리 변화에 미치는 연구 등, 공간 색채의 생리적인 효과에 관한 연구에 따르면, 파란색과 초록색의 색 자극은 이완과 함께 안정과 주의 집중을 유도하며, 알파파와 대뇌활성도를 증가시키는 것으로 확인되었고, 이진숙 등[12]의 청소년의 주의집중력에 따른 색 자극에서의 생리반응 연구에서는 주의집중력이 낮은 경우에 초록색이 상대적으로 주의집중력을 향상시키는데 도움을 주는 공간 색채임을 확인하였다. 그리고 차가운 색 계통에서 알파파의 상대 전력비가 증가하고, 자율신경계의 HF/LF의 비가 증가한다고 하였으며[2], 색상별 선호도와 뇌의 활성화의 상관관계는 색상에 대한 선호도가 높을수록 특정 주파수대의 뇌파가 활성화 되었다[9]. 또한 파란색이 파킨슨 환자의 대뇌활성을 증가시켰으며[5], 검정, 파랑, 초록이 알파파를 유도하여 이완과 함께 인식과 주의집중을 유도할 수 있다고 하였다[21]. 그 외 색자극으로 뇌파의 변화를 관찰한 연구는 꾸준히 진행되어 오고 있다[7, 19]. 이와 같이 색채는 중추신경계와 자율신경계의 변화를 가져오며, 이로 인해 주의집중력에 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다.

다음으로 조명과 관련된 연구를 살펴보면, 서은지 등[10]의 주의집중력에 적절한 조명환경 도출에 관한 연구에서 적절한 조명환경을 도출한 결과, 주의집중력이 높은 그룹은 색온도 6,000k, 600~800lx로 확인되었다. 이는 주의집중력의 정도와 학습유형의 특성에 따라 조명환경을 다르게 할 경우 학습력이 향상될 수 있음을 나타내주고 있다[16]. 그리고 이진숙, 김소연[11]의 사무공간에 LED 조명의 색온도, 조도에 따른 작업자의 피로도에 관한 연구에서 가장 낮은 피로를 느끼는 조명환경은 5,200k의 400lx로 나타났으며, 시간의 경과에 따른 피로도 증가 정도는 색온도 5,200k의 평균조도 600lx에서 증가율이 가장 낮게 관찰되었으며, 신지에 등[18]의 뇌파분석을 통한 LED 조명의 색온도와 조도가 집중도와 이완도에 미치는 영향 분석에서 업무와 같은 집중도가 요구되는 환경에서는 6,000k, 조도 800lx와 같이 높은 색온도 및 높은 조도가 일반 조명인 색온도 4,600k, 조도 530lx에 비하여 집중도가 증가하여 일반 조명 환경보다 적합한 것으로 확인되었다. 또한 출입 및 전반, 독서, 컴퓨터 작업 등의 행위에 따라 선호하는 조명방식에 대한 조사 결과, 출입 및 전반 행위에서는 전반조명, 독서 행위에서는 전반 및 국부조명의 혼용방식을 가장 선호하는 것으로 나타났다[15]. 그리고 높은 색온도가 낮은 색온도에 비해 더 밝게 느껴지는 것으로 관찰되었다[1, 3, 4, 20].

위와 같이 조명과 색채가 피실험자의 심리적 측면과

신체적 건강, 그리고 정신적, 행동적 특성에 주목한 연구가 끊임없이 연구되어 오고 있으나, 조명과 공간의 색채를 포괄적으로 다룬 연구 사례는 부재하며, 이로 인해 피실험자의 인체 생리가 조명과 색채의 변화간의 관련성에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 주의집중력이 요구되는 학습 환경에서 조명과 공간 색채에 따라 피실험자의 인체 생리변화에 차이가 나타나는지 알아보고, 각각의 조명과 공간 색채 조건에서 주의 집중도에 미치는 영향에 대해 규명하고자 한다.

2. 연구 방법

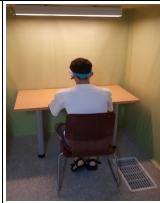


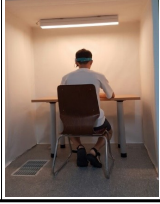

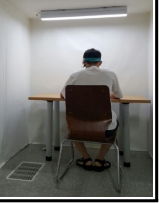
2.1 피실험자

본 연구의 피실험자는 H대학교의 신체 건강한 남학생 10명을 대상으로 실시하였다. 평균연령은 23±2.1세이고, 뇌 관련 질환이나 정신과적 병력 및 자율신경계의 이상으로 심장 질환, 당뇨병, 고혈압, 저혈압 등이 없었다. 피실험자들은 실험하기 24시간 전부터 자율신경계에 영향을 줄 수 있는 음주, 담배, 카페인인 함유된 청량음료의 섭취를 금지하도록 지시하였으며, 실험 전날 충분한 수면을 취하였는지를 확인하였다.

2.2 실험 환경

본 연구는 조명과 공간 색채 자극에 따른 집중도 및 뇌파 변화를 관찰하는 공간으로 외부 전자파를 차단할 수 있는 H대학교에 위치해 있는 실드룸(Shield Room)에서 진행하였으며, 내부 온도는 25±2.1°, 내부 습도는 36~40%를 유지하였다. 실험 조건은 <Table 1>과 같이 벽지 색채와 조명 색온도를 변경 가능하도록 구현하였다. 실험 공간은 1,500mm×

<Table 1> Floor Plan of the Experiment Room

	4,000k	5,000k	6,000k
Green			
White			

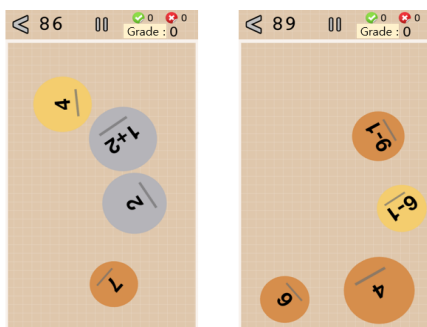
1,300mm×1,500mm의 2개의 공간으로 구획하여 각각 흰색(N9.5, S0500-N)과 초록색(7.5G 5/8, S2555-G)의 벽지로 마감되었으며. 조명은 100mm×20mm으로 d65표준광원과 400lx의 밝기에서 4,000K~6,000k의 색온도 조절이 가능하도록 구현하였다. 그리고 측정 시 실험을 방해하는 요인(소음, 빛)을 최소화하기 위해 실험 공간과 측정 공간을 분리하였다.

2.3 실험 방법

주의집중력테스트를 진행하기에 앞서 피실험자의 상태를 확인하는 기본 인적사항에 대한 설문을 실시하였다. 그리고 주의집중력테스트 방법에 대해 설명하고, 피실험자가 이해했는지를 확인한 후에 실험을 진행하였다. 뇌파 및 심전도 측정 시에는 먼저 각 실험이 진행되는 공간에 놓여져 있는 의자에 피실험자를 편안한 자세로 앉게 한 후 전극을 부착하였다. 공간에 대한 긴장감이나 불안감을 해소하기 위해서 약 5분정도 적응을 한 후 안정상태(Control)에 대한 5분을 측정하였으며, 그 다음 주의집중력테스트(test)에 대하여 5분을 진행하였다. 총 실험 조건은 벽지 2가지×색온도 3가지로 총 6회 랜덤하게 반복 실험을 진행하였다. 측정한 공간의 색채에 대한 잔상효과를 방지하기 위하여 다른 색으로 이동한 후에 충분한 휴식을 취하였다.

2.4 주의집중력 검사

집중력을 측정하기 위하여 사용한 측정도구는 <Figure 1>과 같이 “Nicolas Lehovetzki”에서 개발한 ‘AB 매스 엑스퍼트’ 프로그램을 사용하였다. 4가지의 물방울로 구성된 연산 결과물(덧셈, 뺄셈, 곱하기, 나누기 등)을 올림차순으로 방울을 클릭하는 것으로 시간제한이 설정되어 있어 계산 능력뿐만 아니라 속도와 집중력을 요구하는 과제 모델이다. 매스 엑스퍼트 검사는 한번 완수하는데 90초가 소요되며, 5분간 측정을 위하여 3번 연속 측정하여 그 값의 평균을 분석하였다.

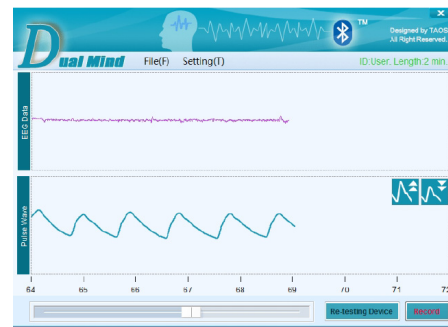


<Figure 1> AB Math Expert

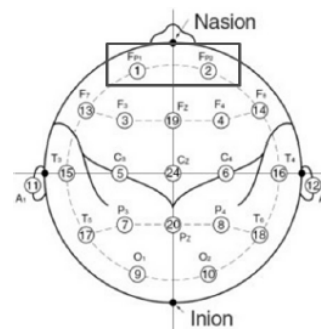
2.5 뇌파 및 자율신경계 측정기

본 연구에서는 피실험자의 뇌파와 심전도를 측정하기 위해서 <Figure 2>과 같이 ㈜TAOS의 소형 뇌파 및 심전도 측정계인 Dual Mind와 전용 프로그램을 이용하여 측정하였다.

뇌파 측정은 <Figure 3>와 같이 국제 10/20전극 배치법 [17]에 따라 전전두엽인 Fp1, Fp2에 전극을 부착하고, A2의 귀밑을 기준으로 한 단극유도법을 통해 측정하였다. 분석한 뇌파는 θ_1 (4~7Hz), α_1 (8~9Hz), α_2 (10~11.9Hz), β_1 (14~40Hz)이다. 소프트웨어를 통해 추출된 데이터는 “Alpha rate, Beta Rate, Alpha1 Advantage, Alpha2 advantage, Beta Advantage, Theta Advantage”이며, Advantage는 각각의 뇌파 유형별로 측정기간 동안 가장 우세하게 측정된 횟수를 초단위로 계산한 출현비율이다. 움직임으로 인한 노이즈를 최소화하기 위해 피실험자에게 행동영역범위와 움직임에 대한 주의를 주었다.



<Figure 2> Dual Mind System



<Figure 3> International 10/20 Electrode Batch Method and Electrode Position

2.6 데이터 분석

집중력 검사는 백지색채(흰색, 녹색)조건과 색온도(4,000k, 5,000k, 6,000k) 조건에서 각 피실험자의 수행능력 값을 계산하였다. 계산된 값의 차이를 관찰하기 위해 SPSS 18.0

를 사용하여 색채와 색온도를 독립변인으로 하는 (2×3) 이원배치 분산분석을 실시하였다.

뇌파(FSS, Alpha rate, Beta Rata, Alpha Advantage, Alpha2 advantage, Beta Advantage, Theta Advantage) 및 심전도(LF, HF, LF/HF)는 안정상태(control)와 집중력 검사(Test)구간에서 각각 5분을 측정하였으며, 각각의 측정 구간에서 30초, 60초, 90초 구간에 대하여 30초씩 추출하여 평균값을 구하였다. 구해진 값을 색채, 색온도, 집중력 검사유무, 측정 구간을 독립변수로 하는(2×2×3×3) 다원배치 분산분석을 실시하였다.

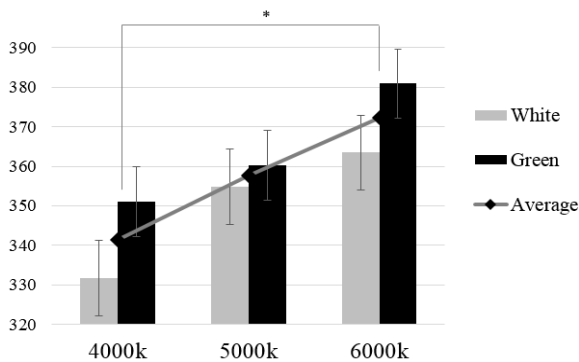
3. 실험 결과

3.1 주의집중력 검사 결과

색채(희색, 녹색)와 색온도(4,000k, 5,000k, 6,000k) 조건에 따른 주의집중력 수행능력을 살펴보았다. 주의집중력 수행 결과 값에 대한 이원배치분산분석은 <Table 2> 과 같이 통계적인 유의차($p < 0.05$)는 나타나지 않았지만, 색온도에서는 각 색온도 간에 경향이 관찰되었다($p < 0.1$). 색온도의 차이를 분석하기 위해 색온도를 독립변수로 하는 일원배치분산분석과 사후검정(LSD)을 실시하였고, 그 결과 <Figure 4>와 같이 6,000K가 4,000K보다 유의차($p < 0.05$)를 보이며 증가하였다. 이는 색 온도가 높을수록 집중력이 높아졌다고 볼 수 있다. 색채와 색온도 간의 상호작용효과는 관찰되지 않았다($p > 0.05$).

<Table 2> Results of ANOVA on Test

Source	Type III Sum of Squares	d.f	P
Color	2968.07	1	0.083
Kelvin	9525.23	2	0.055
Color×Kelvin	559.43	2	0.852



* $p < 0.05$.

<Figure 4> Results of ANOVA of LSD on Kelvin

3.2 뇌파 및 심전도 결과

뇌파 결과를 다원배치분산분석을 실시하였다. 그 결과 Alpha2 advantage, Beta Advantage에서 유의차($p < 0.05$)가 관찰되었다. 먼저 Alpha2 advantage는 <Table 3>과 같이 주의집중력 과제 수행 유무차이 간에 유의차($p < 0.01$)가 관찰되었으며, 과제수행 유무간의 차이를 확인하기 위해 사후검정(LSD) 결과, <Figure 5>와 같이 주의집중력 과제 수행 시 유의차($p < 0.01$)를 보이며 감소하는 것을 확인하였다.

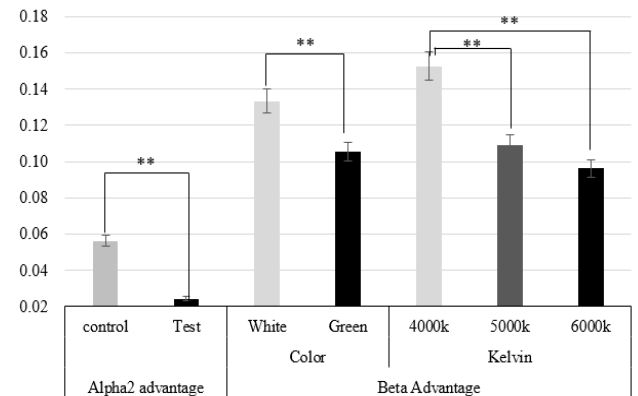
<Table 3> Results of ANOVA on EEG and ECG

	subordination variable	Source	P
EEG	Alpha2 advantage	Test	0.000***
		Color	0.046*
	Beta Advantage	Kelvin	0.003**
ECG	HF	Test	0.046*
	LF	Kelvin×Test	0.021*
	LF/HF	Kelvin×Test	0.032*

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

다음으로 Beta Advantage의 결과를 관찰한 결과 <Table 3>과 같이 벽지색채와 색온도에서 각각 유의차($p < 0.05$)가 관찰되었다. 각 요인간의 차이를 관찰하기 위해 색채와 색온도를 각각 사후검정(LSD) 실시한 결과, <Figure 5>와 같이 색채에서는 녹색이 흰색에 비해 유의차($p < 0.05$)를 보이며 감소하였고, 색온도는 5,000k와 6,000k에 비해 4,000k가 유의차($p < 0.01$)를 보이면서 증가하였다.

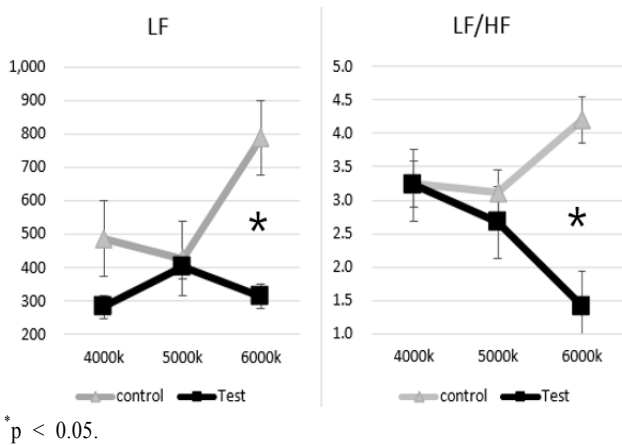
심전도는 <Table 3>과 같이 LF, HF, LF/HF에서 유의차가 관찰되었다. 먼저, HF는 Test(177.73)가 Control(134.22)에 비해 유의차($p < 0.05$)를 보이며 증가하였다. LF와 LF/



** $p < 0.01$

<Figure 5> Results of ANOVA of LSD on Alpha2 Advantage and Beta Advantage

HF는 색온도와 Test 간에 상호작용효과가 관찰되어 <Figure 6>과 같이 사후검증을 실시한 결과, 6,000k에서 LF와 LF/HF에서 Control이 Test보다 유의차($p < 0.05$)를 보이며 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 6,000k 환경에서 test가 교감신경계 활성화도가 감소했다라고 판단된다.



<Figure 6> Result of ANOVA of LSD on LF and LF/HF

4. 결론

본 연구의 목적은 작업공간에서 색온도(4,000k, 5,000k, 6,000k)와 공간의 적용 색채(녹색)에 따른 집중도와 뇌파, 심전도의 변화 양상을 집중력 테스트 자극에 따라 살펴보고, 이러한 반응이 각 조건별 집중력과 관련하여 어떠한 차이를 보이는지 알아보려고 하였다. 이를 위해 뇌파, 심전도 차이에 대한 평균값을 통계처리 하였으며, 결론은 다음과 같이 정리하였다.

분석결과에 따르면, 업무와 같은 집중도가 필요한 활동에서는 색온도 6,000k와 같이 높은 색온도가 일반 조명 색온도 4,000k에 비하여 집중도가 증가하여 일반 조명 환경보다 적합하다는 것을 알 수 있다. 이는 색온도 6,000k, 조도 800lx가 4,600k, 조도 530lx에 비해 집중도가 증가하였다는 결과와 일치한다[18]. 공간의 적용색채인 녹색으로 인한 차이는 관찰되지 않았다. 이는 공부방, 침실, 주방에서 중립자극물 White를 기준으로 Green이 각성, 흥분, 불안이 커지며, 이는 실내거주 공간 적용 색채에 따라 인체 생리 변화에 차이가 있었다는 결과와 일치하지 않는 결과이다. 이는 심리적인 상태가 업무 수행에 필요한 집중도에는 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 따라서 과제수행과 같은 높은 집중력이 필요로 하는 환경에서는 공간의 색채보다 높은 색온도가 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

뇌파 결과를 살펴보면, 우선, Alpha 2 Advantage에서

주의집중력과제를 수행했을 때가 안정 상태보다 감소하는 것을 확인하였다. 이는 주의집중력을 수행할 경우, 알파파의 신호가 감소함을 의미한다. 알파파가 증가할 경우에 이완과 함께 인식의 주의집중을 유도할 수 있으나 [21], 본 연구에서 주의집중력과제를 수행할 때 알파파가 감소하는 것은 이완의 반대인 긴장을 유도한다고 할 수 있다.

다음, Beta Advantage의 결과에서는 벽지색채와 색온도 간에 각각의 차이를 보였는데, 벽지 색채 간에는 녹색에서 과제를 수행했을 경우가 흰색에서 과제를 수행하는 것보다 감소하는 것을 확인하였다. 이는 녹색에서 이완되고 스트레스가 완화되었다고 볼 수 있다. 이는 홍근주 등[6]의 연구에서 청색과 녹색에서 이완과 스트레스 완화가 확인된 결과와 일치한다. 색온도의 경우, 4,000k가 5,000k와 6,000k보다 증가하는 것이 확인되었으며, 4,000K에서 각성을 유도하는 베타파[19]가 증가했다는 것은 5,000k와 6,000k보다 각성되었다고 볼 수 있다.

다음은 자율신경계의 변화를 알아본 결과, LF와 LF/HF 비에서 모두 6,000k에서 Test가 Control보다 감소하는 것을 확인하였다. 이는 주의집중력을 알아보기 위해 제시된 과제가 교감신경계의 활성도를 감소시켰다고 볼 수 있으며, 이는 과제수행을 통해 이완되는 경향이 보인 것이라고 할 수 있다. 어떠한 과제를 수행할 경우에 교감신경계가 증가하는 일반적인 경향과는 반대로 본 연구의 과제 수행 업무는 타 연구와 다르게 긴장감을 유발시키지 않았다고 판단할 수 있다.

정리하면 색채는 주의집중력에 크게 기여하지 않았으나, 색온도는 6,000k일 경우에 주의집중력에 도움이 되었다고 사료된다.

본 연구는 색채와 조명이 집중력에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 최적의 실내 환경을 구성하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 본 연구에서 제시한 색채는 단일색채로 단순 비교했다는 제한점이 있다. 이로 인해 색채와 조명 간에 주의집중력 작업에 영향을 미칠 수 있는 부분을 명확하게 제기할 수는 없다. 그렇지만 색온도는 업무에 미치는 영향이 확인되었으며, 추후 조명광원의 특성을 고정변수로 하고 다양한 색채 조건에서 주의집중력에 미치는 영향을 비교하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

Acknowledgement

This research was supported by the Pioneer Research Center Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (2011-0027994).

References

- [1] Alman, D.H., Errors of the standard photometric system when measuring the brightness of general illumination light sources, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 1977, Vol. 7, No. 1, pp. 55-62.
- [2] Chong, W.S., Hong, C.U., and Kim, N.G., A Study on Human Response to Color Light Simulation, *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 2004, Vol. 7, No. 4, pp. 51-56.
- [3] DeLaney, W.B., Hughes, P.C., McNelis, J.F., Sarver, J.F., and Soules, T.F., An examination of visual clarity with high color rendering fluorescent light sources, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 1978, Vol. 7, No. 2, pp. 74-84.
- [4] Harrington, R.E., Effect of color temperature on apparent brightness, *JOSA*, 1954, Vol. 44, No. 2, pp. 113-116.
- [5] Haug, B.A., Kolle, R.U., Trenkwalder, C., Oerrel, W.H., and Paulus, W., Predominant affection of the blue cone pathway in Parkinson's disease, *Brain*, 1995, Vol. 118, No. 3, pp. 771-778.
- [6] Hong, G.J., Kim, S.M., Lee, B.C., Yi, D.H., and An, S.-K., The Effect of Color Therapy on Stress and Electroencephalogram Variation, *Korean Journal of Aesthetic Society*, 2009, Vol. 7, No. 1, pp. 51-59.
- [7] Jang, H.S., Kim, J.Y., Kim, K.S., and Pak, H.C., Human Brain Activity and Emotional Responses to Plant Color Stimuli, *Color research and application*, 2014, Vol. 39, No. 3, pp. 307-316.
- [8] Kim, K.T., Oh, S.Y., Yu, M., Yu, C.H., and Kwon, T.K., Study on Human Physiological Responses to Emotional Lighting System using LED Flat Lighting, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, 2014, Vol. 17, No. 3, pp. 29-38.
- [9] Kim, M.K. and Ryu, H.W., The potentiality of color preference analysis by EEG, *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 2011, Vol. 14, No. 2, pp.311-320.
- [10] Lee, H.W., Jeong, D.H., Joo, D.W., and Lee, J.S., A Study on Illumination Consequent on Attention Concentration and Brain Wave as against Color Temperature Variations, *Korean Society of Color Studies*, 2016, No. 5, pp. 80-83.
- [11] Lee, J.S. and Kim, S.Y., Research on the influence of Fatigue Evaluation under the Workspace from Correlated Color Temperature and Illuminance of LED Lighting, *Korean Society of Color Studies*, 2012, Vol. 26, No. 1, pp. 45-53.
- [12] Lee, J.S., Lee, H.W., Kim, H.N., and Ryu, J.S., A Basic Study on Physiological Response to Color Stimulation in Red, Blue, Green, and White according to Adolescents' Attention and Concentration, *Korean Society of Color Studies*, 2014, Vol. 28, No. 1, pp. 177-186.
- [13] Lee, J.S., Ryu, J.S., Kim, H.N., and Lee, H.W., An Analysis of Human Physiological Responses to Apply Color to the Indoor Living Space, *Korean Society of Color Studies*, 2014, Vol. 28, No. 1, pp. 96-105.
- [14] Park, Y.J., Choi, J.H., and Jang, M.G., Optimization of Light Source Combination through the Illuminance and Color Temperature Simulation of Circadian Lighting Apparatus, *Journal of The Korea Contents Association*, 2009, Vol. 9, No. 8, pp. 248-254.
- [15] Seo, E.J., Jung, J.U., Lee, Y.K., and Lee, J.S., A Study on the Learning Space Titration Color Temperature Derivation of the Illumination Considering the Action, *Korean Society of Color Studies*, 2014, No. 11, pp. 53-56.
- [16] Seo, E.J., Lee, J.Y., Kim, D.H., and Lee, J.S., A Study on Learning Proper Type of Lighting Environment Derived in Accordance with Attention and Concentration, *Korean Society of Color Studies*, 2016, No. 5, pp. 86-92.
- [17] Seong, Y.C. and Hyun, J.Y., Analysis of Electroencephalogram Electrode Position and Spectral Feature for Emotion Recognition, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, pp. 64-70.
- [18] Shin, J.Y., Chun, S.Y., and Lee, C.S., Analysis of the Effect on Attention and Relaxation Level by Correlated Color Temperature and Illuminance of LED Lighting using EEG Signal, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 2013, Vol. 27, No. 5, pp. 9-17.
- [19] Starchenko, M. and Boitsova, J., EEG differences in high and low creative subjects under color influence, *International Journal of Psychophysiology*, 2010, Vol. 77, No. 3, p. 315.
- [20] Steffy, G., *Architectural Lighting Design* 2nd ed. New York : Jonh Wiley & Sons, 2002.
- [21] Yoto, A., Katsuura, T., Iwanaga, K., and Shimomura, Y., Effects of object color stimuli on human brain activities in perception and attention referred to EEG alpha band response, *Journal of Physiological Anthropology*, 2007, Vol. 26, No. 3, pp. 373-379.

ORCID

Young Jung Kim | <http://orcid.org/0000-0002-7825-8680>

Doo Hwan Ji | <http://orcid.org/0000-0003-0649-5350>

Young Jae Ryu | <http://orcid.org/0000-0001-7302-8109>

Sung Hyun Kim | <http://orcid.org/0000-0002-5956-7242>

Sang Hyeok Seo | <http://orcid.org/0000-0002-5191-9346>

Seung Hyun Kwak | <http://orcid.org/0000-0002-4592-654X>

Jin Kyu Kang | <http://orcid.org/0000-0003-4599-2923>

Byung Chan Min | <http://orcid.org/0000-0001-6663-0871>