

이완집중 및 긴장집중 시 LED 조명의 색온도에 따른 학습요인의 뇌파분석

Electroencephalogram Analysis on Learning Factors during Relaxed or Concentrated Attention according to the Color Temperatures of LED Illuminance

지 순 덕* 김 채 복**
Jee, Soon-Duk Kim, Chae-Bogk

Abstract

The objective of this study is to investigate learning factors (stability, attention and activation) in school by electroencephalogram (theta, alpha and beta waves) analysis during relaxed or concentrated. In order to measure electroencephalograms, MP 150 by Biopac and ECI Electro-Cap are employed. Three types of color temperatures (3000K, 5000K, 7000K) are used and 13 undergraduate and 12 graduate students are selected as experimental subjects. When subjects are relaxed during contemplation or concentrated during mental arithmetic, we compare with stability, attention and activation indices. The test results show that subjects were stable when color temperature is 5000K. Subjects gave best attention when color temperature is 7000K. Subjects activated well when color temperature is 3000K during relaxed attention. However, subjects activated rigorous when color temperature is 7000K during constrained attention.

키워드 : LED 조명 시스템, 색온도, 안정감, 집중도, 활동성

Keywords : LED Illuminance System, Color Temperature, Stability, Attention, Activation

1. 서론

학교 조명은 학습활동에 필요한 시환경을 제공해 주고 학생들에게 정서·심리적으로 안정감을 주며 눈의 피로를 적게 하여 근시 예방과 집중력을 높여 학습 효과를 향상시키는 것이 중요하다. 교실의 조명은 단순히 밝기만을 제공하는 것이 아니라 학습 효과와 심리적 안정에 영향을 준다. LED 조명의 다양한 색온도는 학습 수행능력, 집중도 및 시각적 변별력, 학습효과와의 관련성에 대한 연구를 통해 교실 조명으로써 효과가 입증되었다.¹⁾

최근에는 인간 행동을 뇌기능과 관련하여 인간 삶의 질을 향상시키고자 하는 뇌와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 뇌 연구는 치매 등 난치성 질환 극복은 물론이고 폭력이나 우울증 치료 등 폭넓은 분야에서 연구가 진행되고 있다. 또한 뇌파의 주파수 변화는 다양한 시각 자극에 의해 유발된 감성을 측정할 수 있다는 연구 결과가 제시되었다.²⁾³⁾⁴⁾ 그러나 뇌파 측정을 통하여 LED 조명과 학습 수행능력과의 관련성을 찾는 학생을 대상으로 하는 연

* Teacher, Ph.D., Gimcheon Buhang Middle School, Korea

** Professor, Ph.D., School of Business Administration, Kyungpook National Univ., Korea.

Corresponding Author,

Tel: 82-53-950-5444, E-mail: kimcb@knu.ac.kr

이 논문은 (주)천년의빛 립스, 한국화학연구원 그리고 한국광기술원의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

- 1) 지순덕·김채복, "LED 조명의 색온도에 따른 집중도 및 시각적 변별력 평가", 『교육시설』 Vol.18(3), 2011
- 2) 박세진·오승빈·이은주·서형제, "천연향을 이용한 크림 제품의 심리생리적 평가" 『감성과학』 Vol.15(1), 2012
- 3) 이현경·최유림·전정윤, "뇌파측정을 기반으로 한 실내온도가 재실자의 주의집중에 미치는 영향", 『대한건축학회』 Vol.28, 2012
- 4) 전기환·오주영·박순희·정연만·양동일, "뇌전도와 심박변이를 이용한 감성 분석 알고리즘에 대한 연구", 『한국컴퓨터정보학회』 Vol.15(10), 2010

구가 초보적이다.

문헌을 살펴보면 실내온도가 집중력에 미치는 영향, 색온도 및 조도에 따른 선호도나 만족도가 연구되어 있다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾ 또한 이에 대한 측정을 주관적 평가를 통해 연구를 수행하고 연구 결과를 발표한 논문도 많이 있다.⁸⁾⁹⁾ 그러나 학교 시설은 학생들의 학습과 관련된 곳이므로 학교 시설 중 중요한 부분을 차지하는 조명 특히 요즘은 조명으로 각광받고 있는 LED 조명에 대해 연구하는 것은 매우 중요하다. 기존 문헌에서 LED 조명의 색온도가 학습에 영향을 미친다는 주관적 평가를 이용한 연구는 많이 수행되어져 있다.¹⁰⁾¹¹⁾ 그러나 학교 시설 조명으로 LED 조명을 구축하는 현시점에서 LED의 광학적 특성에 따른 인간의 심리·생리적 특성에 대한 체계적인 분석과 규명이 요구된다. 또한 빛을 통해 학생들의 두뇌 활동을 적절한 상태로 만들어 학습 능력을 최대한 끌어올림으로써 두뇌의 정보 처리량과 기억력, 집중력 등을 최대한 발휘할 수 있도록 하는 체계적인 연구도 필요하다.

따라서 이 연구에서는 학습요인을 수리영역, 언어영역, 예술영역과 같은 교과 특성이 아닌 학습효과에 영향을 주는 안정감, 집중도, 활동성과 관련된 지표를 개발하고 LED 조명의 색온도에 따른 주관적 평가가 아닌 객관적 평가를 수행하고자 한다. 기존 문헌에는 조명과 관련된 학습의 만족도 등이 감성적 어휘를 활용하여 주관적 평가를 수행한 연구가 다수이다.¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾ 물론 온도나 조명과 관련

하여 뇌파를 측정하여 객관적 평가를 수행하고자한 연구도 있지만¹⁵⁾¹⁶⁾ LED조명의 색온도에 따른 뇌파의 변화를 측정하고 이를 학습요인과 관련이 있는 안정감, 집중도, 활동성과 연계하여 객관적 평가를 수행한 연구는 미흡하다. 그러므로 이 연구에서는 LED 조명의 색온도를 독립변인으로, 뇌파로 표현될 수 있는 학습요인과 관련 있는 안정감, 집중도, 활동성 지표를 종속변수로 하여 객관적 평가를 수행하고 연구 결과를 비교분석하고자 한다.

2. 이론 고찰

2.1. 뇌와 학습

권형규(2013)¹⁷⁾는 학교에서 이루어지고 있는 대부분의 활동은 복잡한 대단위 행동이라는 연구결과를 발표하였다. 수업 중에 좌뇌만 개발되거나 우뇌만 개발되는 일은 거의 없고 양쪽 뇌의 기능을 두루 요구한다. 학교뿐만 아니라 어떤 분야에서든 가치가 있고 고차적인 활동은 우뇌의 기능이나 좌뇌의 기능만으로 국한되지 않는다.

인간의 대뇌는 위치와 기능에 따라 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽의 4개로 구성된다. 전두엽은 문제해결과, 판단 등 계획된 사고를 담당하고, 두정엽은 뇌의 위쪽에 위치하며 수학, 언어 등을 담당한다. 측두엽은 귀의 둘레에 위치하여 기억과 언어 등을 맡고 있다. 후두엽은 뇌의 뒤쪽에 위치해 시각으로 본 것을 받아서 처리하는 작업을 한다.

인간의 뇌는 생존관련 자극에 매우 민감하다. 하지만 학교 현장에서 이루어지는 학습과정은 이러한 생존과 관련된 자극이 매우 드물기 때문에 인위적으로 집중할 수 있는 환경이 중요하다.¹⁸⁾ 김유미(2009)¹⁹⁾는 뇌가 학습에 적응하는 것은 뇌의 각 영역마다 델타(Delta, δ), 세타(Theta, θ), 알파(Alpha, α), 베타(Beta, β), 감마(Gamma, γ) 등의 파형으로 표현될 수 있다고 하였다. 이 연구에서는 학교에서 학습요인과 관련이 있는 안정감, 집중도, 활동성에 대한 뇌파의 변화를 찾아내고자 한다.

5) 김훈·염재경·정원섭·김희준, "색온도와 조도 제어가능한 LED 조명 시스템", 『조명·전기설비학회논문지』 Vol.23(12), 2009.
 6) 김수영·백용규, "램프의 색온도가 시각적 만족도에 미치는 영향", 『한국생활환경학회지』 Vol.16(6), 2009.
 7) 최유림·전정윤, "실내 온도가 재실자의 주의집중력에 미치는 영향에 관한 연구", 『대한건축학회논문집』 Vol.25(12), 2009.
 8) 신화영·정인영·김정태, "LED 광원과 형광광원의 색온도 변화에 따른 작업면의 분위기에 대한 주관적 반응 평가", 『한국생활환경학회지』 Vol.16(1), 2009.
 9) 이진수·김종무, "LED 방음 조명의 색온도 차이에 따른 감성 선호도 연구", 『Design Convergence Study』 Vol.12(3), 2013.
 10) 이연수·하미경, "LED 광원의 색온도와 조도 변화에 따른 심리 반응 연구", 『한국실내디자인학회논문집』 Vol.21(6), 2012.
 11) 백승현·정인영·신화영·김정태, "LED광원과 형광광원의 상관 색온도가 시각적 성능에 미치는 영향", 『조명·전기설비학회논문지』 Vol.23(1), 2009.
 12) 박현수·박병주·장우진, "무전극 HID 램프의 색온도 감성평가에 관한 연구", 『조명·전기설비학회논문지』 Vol.28(4), 2014.
 13) 강다일·김근율·유영문·최희락, "색온도 가변 LED 조명 최적화 설계 및 제작", 『한국광학회지』 Vol.25(2), 2014.
 14) 이진숙·김소연, "사무공간에서 LED조명의 색온도, 조도에 따른 작업자의 피로도에 관한 연구", 『한국색채학회지』 Vol.26(1), 2012.

15) 신지예·천성용·이찬수, "뇌파 분석을 통한 LED조명의 색온도와 조도가 집중도와 이완도에 미치는 영향 분석", 『조명·전기설비학회논문지』 Vol.27(5), 2013
 16) 이현정·최유림·전정윤, "뇌파 측정을 기본으로 한 실내 온도가 재실자의 주의집중에 미치는 영향", 『대한건축학회논문집』 Vol.28(3), 2012.
 17) 권형규, 뇌기반교육, 교육과학사, 2013
 18) 한국교총원격교육연수원, "뇌를 알면 수업이 즐겁다", www.education.or.kr, 2010
 19) 김유미, 2009, 뇌를 알면 아이가 보인다, 서울:해나무.

2.2. 뇌파와 학습요인

김대식·최장욱(2010)²⁰⁾에 의하면 뇌파는 뇌의 미세한 전기적 활동을 두피 상에서 증폭시켜 기록하는 것으로 두뇌의 활동 변화를 시간·공간적으로 파악할 수 있다. 또한 뇌의 활동 정도에 따라 다양한 파형을 가지게 된다. 뇌가 활발하게 활동할수록 뇌파의 진동수가 높아지고 뇌가 편할수록 진동수가 낮아지는 현상을 보인다. 뇌파는 주파수의 특성에 따라 저주파에서 고주파 영역 순으로 δ파, θ파, α파, β파, γ파로 분류할 수 있다.

이 연구에서는 정상 학생들의 학습요인과 관련이 있는 뇌파의 범위를 선정하였다. 따라서 δ파는 깊은 수면 상태에서 발생하는 뇌파이고 γ파는 불안과 흥분과 관계있는 뇌파인데 이 연구는 정상적인 학생들의 학업과 관련하여 명상과 암산을 통해 뇌파와의 관계를 연구하기에 δ파와 γ파는 제외시켰다.²¹⁾ 선정된 뇌파별의 주파수와 특징은 <표 1>과 같다.

α파는 명상과 같은 심신이 편안한 상태에서 나타나며 스트레스 해소 및 집중력 향상에 도움을 준다. 눈을 감고 몸을 이완시키면 α파를 폭발적으로 발생하게 된다. 즉, 의식이 높은 상태에서 몸과 마음이 조화를 이루고 있을 때 발생하는 뇌파로 긍정적인 경우는 좌뇌의 α파가 활성화되고 부정적인 경우 우뇌의 α파가 활성화된다.

Table 1. Frequency and characteristics of electroencephalogram (뇌파별 주파수와 특징)

Wave	Frequency	Characteristics	
Theta(θ) Wave	4-8Hz	related to contemplation and creative activity	
Alpha(α) Wave	8-12Hz	related to relaxation and stability	
Beta(β) Wave	SMR Wave	12-15Hz	related to stand by for focusing and concentrating attention
	M Beta	15-20Hz	related to absorption of learning or activity
	H Beta	20-30Hz	related to excitement, tension or stress

이 연구에서의 안정감의 지표로 좌·우뇌에서 나오는 α파의 비율인 비대칭지수(A2=R-L/R+L)를 이용하여 안정감의 척도로 이용하였다.

기존 연구에서의 일반적인 집중도 평가는 주의력결핍장애(ADD)나 주의력결핍과잉장애(ADHD)의 진단 및 증상

20) 김대식·최장욱, 뇌파검사학, 고려의학, 2010

21) 한국표준과학연구원, “주거/사무환경 제시 및 측정 시스템 개발”, 과학기술부, pp.199-200, 2002

개선 또는 선택적 주의집중에 관한 연구가 주를 이룬다.²²⁾ 이 연구에서는 정상인을 대상으로 의식집중에 대한 평가로 집중도 지수(SMR파+M-β파/θ파)를 이용하여 집중도의 척도로 이용하였다. β파는 의식이 깨어있을 때의 뇌파로 긴장, 흥분 상태 등 활동할 때 나타나며 운동력 향상에 도움을 준다. β파 상태가 계속해서 지속되면 뇌는 혼돈에 이르고 초조해지면서 학습효율도 저하된다. 따라서 바람직한 상태로 뇌를 유지하고 뇌의 활동을 활발하게 하도록 13~30[Hz]의 저뇌파 상태가 유지되도록 해야 한다.²³⁾

기존의 연구에 의하면 뇌파 측정을 했을 때 13~20[Hz]의 Low β파는 사물을 인식하고 판단할 때 활성화되는 활동파이다.²⁴⁾ 특히 12~15[Hz] 영역의 SMR파는 주의를 기울이는 비교적 단순한 과제를 수행할 때 우세하며 15~20[Hz]의 중간 β파는 계산이나 암산과 같이 한 가지 주제에 집중하면서 정신 부하가 동반되는 활동을 수행할 때 우세한 파로 알려져 있다.

이 연구에서는 긍정적 스트레스는 업무나 학업의 성취도를 증가시키기 때문에 활동성 지표로 β파(12~30[Hz])를 3개의 영역(SMR파, M-β파, H-β파)으로 세분화하여 뇌파 활성화가 어떻게 변화되었는지를 찾아내고자 하였다.

2.3. 뇌파의 파워스펙트럼과 절대파워값

이현정 외 2인(2012)²⁵⁾은 뇌파 신호는 보통 0~50Hz 영역으로 δ파, θ파 등의 서파와 β파, γ파 등의 속파로 혼재되어 나타난다고 발표하였다. 따라서 각 주파수 성분을 분해 분류하여 그 크기를 분석하게 되는데 이것이 파워스펙트럼 분석이다.

이 연구에서는 안정감 지표, 집중도 지표, 활동성 지표에서 EEG(Electroencephalogram) 데이터의 파워스펙트럼 분석으로 주파수에 따라 출현한 파워값을 정량적으로 나타내는 절대파워(Absolute power)를 이용하였다. 절대파워 분석 시에는 주로 절대θ파워, 절대α파워, 절대β파워(절대SMR파워, 절대M-β파워, 절대H-β파워)등의 분석변수

22) 심준영·성인제, “뇌교육 프로그램이 아동의 집중력 및 전두부 뇌파 활성화도에 미치는 영향”, 『한국아동교육학회』 Vol.18(3), 2009

23) 장길수·박사근·송민정·신훈, “정에 의한 친환경 시·청각 정보의 교통소음 인지도 영향 평가”, 『한국소음진동공학회』 Vol.17(2), 2007

24) 김명호·김정민, “습도 변화에 따른 뇌파 기반 생체신호 변화에 관한 연구”, 『진기학회』 Vol.62P(1), 2013

25) 이현정·최유림·전정윤, “뇌파 측정을 기반으로 한 실내 온도가 재실자의 주의집중에 미치는 영향”, 『대한건축학회』 Vol.28(3), 2012

들을 사용하였다. 절대 θ 파워, 절대 α 파워, 절대 β 파워의 전력 스펙트럼을 구한 공식은 다음과 같다.²⁶⁾

$$P_{\theta} = \sum_f P(f) [f: 4.0 \sim 8.0] \quad (1)$$

$$P_{\alpha} = \sum_f P(f) [f: 8.0 \sim 12.0] \quad (2)$$

$$P_{\beta} = \sum_f P(f) [f: 12.0 \sim 30.0] \quad (3)$$

집중도 지수는 실험대상자의 절대SMR파의 합, 절대M- β 파의 합과 절대 θ 파의 합을 이용하여 다음 식으로 구하였다.

$$\text{집중도 지수} = \frac{(\sum P_{SMR} + \sum P_{M-\beta})}{\sum P_{\theta}} \quad (4)$$

3. 실험 계획

3.1 실험 조명

실험용 조명은 L사 제품의 SC0312CXN을 사용하였다. L사 제품은 학교 교실용으로 개발된 LED 조명으로 기존 형광등을 교체하여 사용하도록 디자인되어 있다. 일반적으로 문헌을 살펴보면 색온도는 2200K~8000K까지 광범위하게 연구되고 있다. 학습과 관련된 선행연구들의 경우 언어영역, 수리영역, 예술영역에 따라 다양한 색온도를 권장하고 있다.²⁷⁾ 이 연구에서는 실험에 사용한 LED 조명의 기기적 특성과 통제가능한 색온도를 고려하여 LED 조명의 다른 색온도(3000K, 5000K, 7000K)에서 긴장집중 및 이완집중 작업을 할 때 뇌파의 변화를 측정하고 그 특성에 따른 주파수의 변화를 분석하였다.

실험에 투여한 조명의 광학적 특성은 한국광기술원의 장비 한국오츠카사의 대형적분구(모델명:LMS-3M)로 측정되었다. 조명에 대한 광학적 특성은 <표 2>와 같다.

Table 2. Chromaticity coordinates and color temperatures of illuminance (조명별 색좌표 및 색온도)

Illuminance	Chromaticity Coordinates		Color Temperature (K)	Rendering Index (R _a)		Luminous Flux (lm)
	x	y		R ₁₋₈	R ₁₋₁₅	
L1	0.40	0.37	7000	80	74	3,820
L2	0.35	0.34	5000	82	76	3,800
L3	0.31	0.32	3000	80	74	3,750

26) 한국표준과학연구원, “주거/사무환경 제시 및 측정 시스템 개발”, 과학기술부, p200, 2002
 27) 오성권·임승준·마창민·김진울, “지능형 알고리즘 기반 RGBW Dimming control LED 감성조명 시스템 개발”, 『한국지능시스템학회 논문지』 Vol.21(3), 2011.

3.2 실험 대상

이 연구의 대상은 대학생 13명과 대학원생 12명을 대상으로 뇌질환 경험이 없는 19세~35세의 남자를 선정하였다. 사전 예비 실험을 통하여 편안한 상태에서 눈을 감고 뇌파를 측정된 결과 α 파의 활성도가 후두엽에서 높은 유형의 대상자 25명(대학생 13명, 대학원생 12명)을 선정하였다.²⁸⁾ 뇌파 측정시 머리카락이 실험에 영향을 주는 것을 막기 위해 머리가 짧은 남학생만을 선정하였다.

3.3 실험 환경

이 연구는 한국화학연구원의 측정실을 활용하였으며 측정실은 조명이 설치된 장소로 크기는 4×3×2.5[m]로 방음 기능과 향온을 유지할 수 있도록 밀폐된 공간이다. 측정실의 온도는 22±3℃, 습도는 50±5% R.H. 소음은 30 dB 이하이며 실험 책상면의 조도는 500±50 [lx]이었다.

3.4 측정 도구

이 연구에 사용된 뇌파 측정 장비는 Biopac사의 MP150을 사용하였으며 국제표준10-20전극법에 의해 제작된 Electro-Cap사 2종류(대, 중)의 전용캡(ECI Electro-Cap)을 사용하였다. 사용된 전극은 표면전극을 이용하였으며 전도성이 좋은 Electro-Gel을 주사기를 이용하여 뇌파 캡에 부착된 전극에 주입하였다.

전극의 위치는 국제표준10-20전극법의 전전두엽(F_{p1}, F_{p2}), 전두엽(F₃, F₄), 중심부(C₃, C₄), 두정엽(P₃, P₄)의 8곳에 뇌파 측정 전극을 부착하였다. 오른쪽 귓볼 뒤에 기준 전극을 부착하였고 왼쪽 귓볼 뒤에 접지 전극을 부착하였다.

또한 안구 움직임으로 인한 노이즈를 제거하기 위하여 EOG(눈감박임)도 동시에 측정하였다.²⁹⁾ 이 연구에 이용된 측정 장비 및 실험 장면은 [그림 1]과 같다.



Figure 1. Electroencephalogram measurement equipments (뇌파 측정 도구 및 실험 장면)

28) 김명호, “뇌파유형별 향기에 따른 인체의 심리적 및 생리적 차이 비교”, 『한국산학기술학회』 Vol. 14(1), 2013
 29) 김원식·진승현, “공/부정 감성자극에 대한 행동활성화체계 및 행동억제체계 민감도에 따른 뇌파의 LORETA분석”, 『감성과학』 Vol. 8(4), 2005

3.5 실험 절차

실험 12시간 전에 자율신경계와 감성에 영향을 줄 수 있는 커피와 담배, 약, 술의 섭취를 금지하도록 하였으며 실험에 참여하기 전에 생체 신호를 측정하는 방법에 관하여 자세한 설명을 하였다. 기간은 2014년 3월부터 6월까지 오전 9시~11시에 실험을 진행하였다. 이 연구에서는 3가지 조명 조건(3000K, 5000K, 7000K)에서 학습요인(안정감, 집중도, 활동성)과 뇌파와의 관련성을 찾기 위한 실험으로 단계별 실험 방법 및 절차는 <표 3>과 같다.

Table 3. Experimental procedure(실험절차 및 내용)

order	Color temperature	time (min)	Experimental Procedure	
1	Natural Light	30	attaching electrode and preparation	
2	3000K	10	adaptation to experimental conditions	
3	3000K	5	R1	rest in comfort status
		3	T1	relaxed attention (contemplation)
		5	R2	rest in comfort status
		3	T2	concentrated attention (mental arithmetic)
4	5000K	10	adaptation to experimental conditions	
5	5000K	5	R1	rest in comfort status
		3	T1	relaxed attention
		5	R2	rest in comfort status
		3	T2	concentrated attention
6	7000K	10	adaptation to experimental conditions	
7	7000K	5	R1	rest in comfort status
		3	T1	relaxed attention
		5	R2	rest in comfort status
		3	T2	concentrated attention

4. 분석 결과

뇌파 분석은 BIOPAC의 MP150으로 소프트웨어 Acq Knowledge 4.2 버전(BIOPAC System Inc., USA)을 활용하여 분석하였다. 장길수 외 3인(2007)³⁰⁾은 α 파는 명상과 같은 편안한 상태에서 나타나며 스트레스 해소 및 집중력 향상에 도움을 준다고 하였다. 즉 α 상태는 뇌의 이완 상태를 말하며 의식이 높은 상태에서 몸과 마음이 조화를 이루고 있을 때 발생된다. 특히 건강하고 스트레스가 없는 상태의 사람들은 α 파 활동 상태가 많이 생성되는 경향이 있다. 이 연구에서는 안정감 지표는 절대파워값을 이용하여 좌뇌의 α 파(8~12Hz)와 우뇌의 α 파의 차이에 좌뇌의 α

파와 우뇌의 α 파의 합으로 나눈 비율($R-L/R+L$)로 안정감의 척도로 사용하였다.

김명호(2012)³¹⁾는 좌뇌와 우뇌의 차이가 거의 없으면 감성적으로 안정된 상태가 되며 긍정의 감성과 부정의 감성이 균형을 이루어질 때 안정도가 높아져 학습효과가 증진된다. 집중도 지표는 절대파워값을 이용하여 SMR파와 M- β 파의 뇌파 측정값의 합에 θ 파를 나눈 비율[(SMR파+M- β 파)/ θ 파]로 집중도의 척도로 사용하였다. 활동성 지표는 12~15[Hz]의 SMR파와 15~20[Hz]의 M- β 파, 20~30[Hz]의 H- β 파의 절대파워값으로 활동성의 척도로 사용하였다.

4.1 색온도 변화와 안정감 지표

4.1.1. 색온도 변화에 따른 절대 α 파의 비대칭지수

지순덕 외³²⁾의 연구에서는 LED 조명의 색온도와 안정감 요인과의 관련성을 SD법을 이용하여 주관적 평가를 수행하였으나 이 연구에서는 색온도가 다른 3조명(3000K, 5000K, 7000K)에서 이완집중과 긴장집중을 할 때 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 절대 α 파의 비대칭지수를 비교하였다. 즉 색온도가 다른 3조명(3000K, 5000K, 7000K)에서 이완 집중 작업과 긴장집중 작업을 할 때 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 절대 α 파의 비대칭지수를 비교하였다.

일반적으로 α 파는 심신이 안정되고 쾌적할 때 활성화되는 안정파로서 두뇌의 안정 상태를 반영하는 기본파이다. 색온도 변화에 따른 절대 α 파의 비대칭지수 $A2=(R-L)/(R+L)$ 에 의해 좌뇌와 우뇌의 활성화도 차이를 비교한 결과

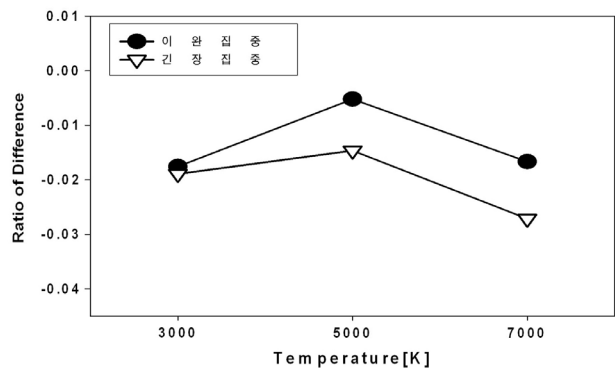


Figure 2. Changes of absolute α wave non symmetric index according to color temperature(색온도에 따른 절대 α 파 비대칭지수의 변화)

30) 장길수·박사근·송민정·신훈, “뇌파 측정에 의한 친환경 시·청각 정보의 교통소음 인지도 영향 평가”, 『한국소음진동공학회』 Vol.17(2), 2007

31) 김명호, “조도 변화에 따른 기반 생체신호 변화에 관한 연구” 『전기학회』 Vol.61P(1), 2012

32) 지순덕·최경재·김호건·이상혁, “LED 기반 백색 조명의 색온도 및 연색지수에 따른 감성 평가” 『감성과학』 Vol.9(4), 2006

를 [그림 2]에 제시하였다. 실험 결과를 보면 이완집중과 긴장집중 시 모두 색온도가 5000K인 조명에서 -0.0052, -0.0147로 좌·우뇌의 비대칭지수가 '0'에 가깝게 작았다.

이완집중과 긴장집중 시 색온도가 5000K 조명은 피험자들의 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 α 파 활성도의 균형도가 높아져서 감정적으로 안정이 되며 감정의 균형이 이루어진다고 판단된다. 이는 안정감을 높일 수 있는 조건이 잘 형성된다고 사료된다.

4.1.2 색온도 변화에 따른 절대 α 파의 변화

α 파는 주로 휴식 상태에서 활성도가 높으며 눈을 감았을 때 눈이 뜨게 높게 나타난다. 이는 편안한 상태가 되면 뇌에서 α 파가 폭발적으로 생산되며 이러한 상태는 몸과 마음이 조화를 이루고 있을 때 발생하게 된다. 이완집중을 할 경우보다 긴장집중을 할 때 오히려 α 파가 더 높게 활성화가 되었는데 이는 긍정적인 스트레스가 α 파의 활성화를 촉진시킨 것으로 사료된다.

긴장집중 작업 시에는 색온도가 높아질수록 α 파의 활성화가 점차 증가되어 7000K의 색온도에서 α 파의 활성화가 24.435[μV^2]로 가장 높게 나타났다. 이완집중 작업 시에는 색온도 3000K, 5000K, 7000K 순서로 α 파의 활성화가 21.381[μV^2], 21.025[μV^2], 21.290[μV^2]으로 색온도간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 몸과 마음이 조화를 이룰 때 긍정적인 스트레스는 보다 더 폭발적인 α 파를 발생시킨다. 즉, 긴장집중 작업에서 α 파가 더 활성화되었으며, 색온도가 더 높을수록 절대 α 파워값이 높게 나타났다.

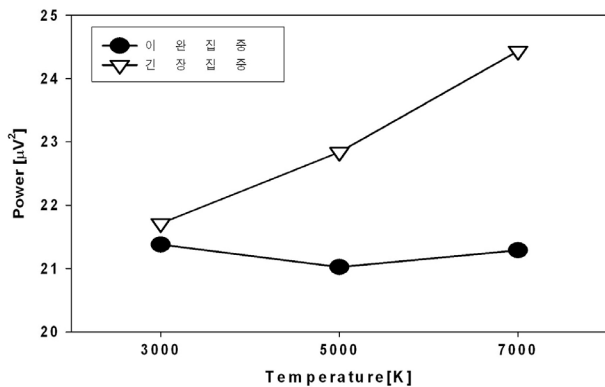


Figure 3. Changes of absolute α wave according to color temperature (색온도에 따른 절대 α 파의 변화)

4.2. 색온도 변화와 집중도 지표

색온도가 다른 3조명(3000K, 5000K, 7000K)에서 이완집중 작업과 긴장집중 작업을 할 때 절대파워값을 이용하여 집중도 지표(SMR파+M- β 파)/ θ 파를 비교하였다. 이완집중

시 색온도 5000K와 7000K 조명에서 집중도 지수가 0.2131과 0.2144로 모두 높게 나타났다. 긴장집중 시 색온도 5000K와 7000K 조명에서 집중도 지수가 0.2260과 0.2249로 높게 나타났다.

지순덕·김채복³³⁾의 연구에서 LED조명의 색온도에 따른 단순 비교를 통한 집중도 실험 결과와 같이 이 연구에서도 색온도가 5000K와 7000K인 조명 환경에서 집중도가 가장 높게 나타났다.

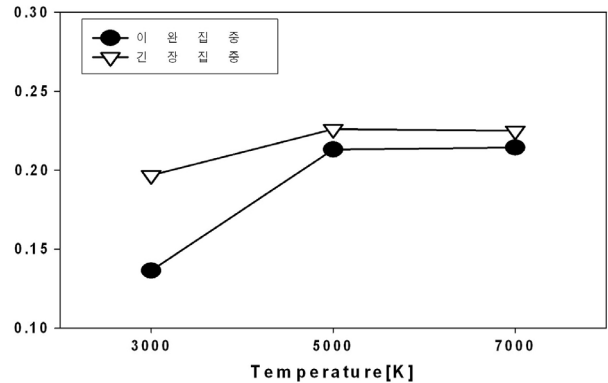


Figure 4. Changes of attention index according to color temperature (색온도에 따른 집중도 지수의 변화)

4.3 색온도와 활동성 지표

색온도가 다른 3조명(3000K, 5000K, 7000K)에서 이완집중 작업과 긴장집중 작업을 할 때 활동성 지표(절대 SMR 파워, 절대 M- β 파워, 절대 H- β 파워)를 비교한 결과이다.

4.3.1 색온도에 따른 절대 SMR파의 변화

SMR파는 낮은 β 파로 신체의 움직임이 없는 운동이나, 감각피질의 활동을 최소화한 상태에서 주의를 기울이는

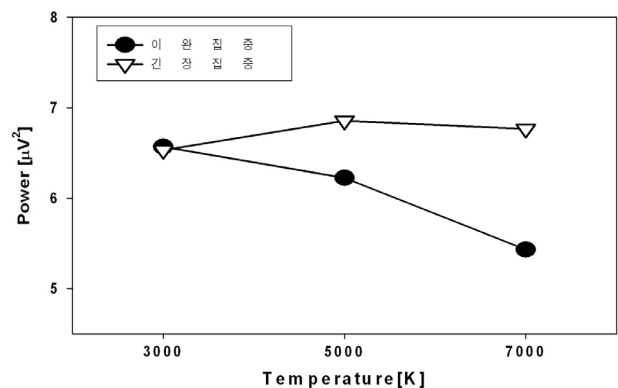


Figure 5. Changes of absolute SMR wave according to color temperature (색온도 변화에 따른 절대 SMR파의 변화)

33) 지순덕·김채복, "LED 조명의 색온도에 따른 집중도 및 시각적 변별력 평가" 『한국교육시설학회』 Vol.18(3),2011

비교적 단순한 과제를 수행할 때 우세해지는 파형이다. 특히 하계 색온도 3000K 조명에서 이완집중 작업과 긴장집중 작업 시 모두 $6.568[\mu V^2]$, $6.531[\mu V^2]$ 로 두 작업간의 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이완집중 작업에서는 $3000K > 5000K > 7000K$ 순으로 색온도가 낮을수록 활동성 지수가 높게 나타났다. 긴장집중 작업 시 3000K에서는 $6.531[\mu V^2]$, 5000K에서는 $6.857[\mu V^2]$, 7000K에서는 $6.765[\mu V^2]$ 로 색온도 간의 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

4.3.2 색온도에 따른 절대 M-β파의 변화

15~20[Hz]의 M-β는 학습과정에서 발생하는 과장으로 학습, 암기, 계산 등과 같은 능동적인 정신 활동 시 발생하기 때문에 학습 능력을 판단하는 기준이 된다. 이완집중 작업에서는 색온도 3000K에서 $9.185[\mu V^2]$ 로 활동성 지수가 가장 높게 나타났다. 즉, 색온도가 낮을수록 ($3000K > 5000K > 7000K$) 절대 M-β파위값의 활동성 지수가 높게 나타났다. 긴장집중 작업에서는 색온도가 높은 조명일수록 ($7000K > 5000K > 3000K$) 절대 M-β파위값의 활동성 지수가 높게 나타났다.

이는 지순덕 외³⁴⁾의 연구와 같이 색온도가 높을수록 ($8300K > 5800K > 3800K$) 더 높은 활동성을 가지는 것과 같이 이 연구에서도 색온도가 높은 7000K인 조명 환경에서 활동성 지수가 높게 나타났다.

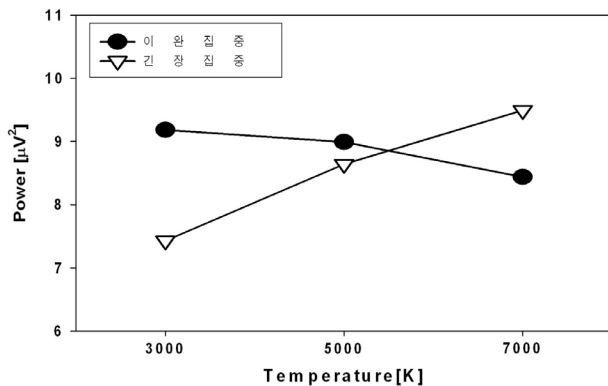


Figure 6. Changes of absolute M-β wave according to color temperature (그림 6. 색온도 변화에 따른 절대 M-β파의 변화)

4.3.3 색온도에 따른 절대 H-β파의 변화

20~30[Hz]의 H-β는 의식이 깨어있을 때의 나타나는 뇌파로 긴장, 흥분 상태 등 활동할 때에 나타나며 운동력 향상에 도움을 준다. H-β는 처음에는 학습 효율에 도움을 주지만 이 상태가 오래 지속되는 경우에는 오히려 학습

효율이 저하되게 된다.

이완집중 작업과 긴장집중 작업이 오랫동안 지속적으로 수행하는 실험이 아니기 때문에 이 연구에서는 짧은 시간 동안 학습 능력을 판단하는 기준으로 삼았다. 이완집중 작업에서는 색온도 3000K 조명이 절대 H-β파위값의 활동성 지수가 높게 나타났으나, 긴장집중 작업에서는 색온도 7000K 조명이 활동도 지수가 높게 나타났다. 특히 색온도 7000K 조명에서는 이완집중보다 긴장집중에서 절대 H-β파위값의 활동성 지수가 현저하게 증가되었다.

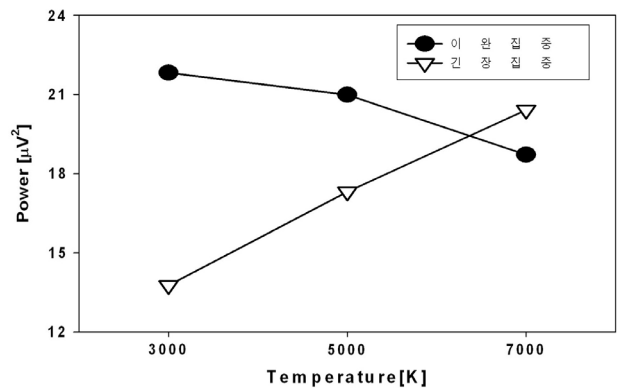


Figure 7. Changes of absolute H-β wave according to color temperature (그림 7. 색온도 변화에 따른 절대 H-β파의 변화)

5. 결론

이 연구는 뇌파를 기반으로 LED 조명의 색온도별 3가지 학습 요인(안정감, 집중도, 활동성)의 변화를 분석하였다. LED 조명의 색온도별 3가지 학습 요인에 대한 뇌파 분석 결과는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

5.1 안정감 지표

- 1) 이완집중에서는 α파의 활성도가 색온도간(3000K, 5000K, 7000K)의 유의한 차이가 나지 않았으나, 5000K 조명에서 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 α파 활성도의 균형도가 가장 좋았다.
- 2) 긴장집중에서는 색온도가 높을수록 α파의 활성도가 높았으며, 5000K 조명이 좌뇌와 우뇌에서 발생하는 α파 활성도의 균형도가 가장 좋았다.

이 연구결과는 높은 학업성과를 얻기 위해서는 명상을 할 때와 같이 심신이 편안하거나 스트레스를 받지 않아야 하는데 그러기 위해서는 몸과 마음이 조화를 이루는 것이 필요하다. 안정감을 나타내는 객관적 평가지표인 좌뇌와 우뇌에서 나오는 α파의 균형이 중요한데, 연구결과는 학생들에게 명상을 하거나 암산을 할 때는 색온도가 5000K

34) 지순덕·최경재·김호건·이상혁, “LED 기반 백색 조명의 색온도 및 연색지수에 따른 감성 평가” 『감성과학』 Vol.9(4), 2006

인 조명을 권장하는 것이 좋다는 것을 의미한다.

5.2 집중도 지표

- 1) 이완집중에서는 색온도가 높은 조명일수록 (7000K>5000K>3000K) 집중도 지수가 높게 나타났다.
- 2) 긴장집중에서는 색온도 5000K 조명과 7000K 조명에서 집중도 지수가 높게 나타났다.

이 연구결과는 학업에서 높은 성과를 얻기 위해서는 집중도가 필요한데 암산과 같은 수리적인 작업이나 명상과 같은 마음의 평안을 통해 집중도를 높이기 위해서는 색온도를 5000K나 7000K인 조명을 이용하는 것이 바람직하다는 것을 의미한다. 이는 수리영역에서는 높은 색온도(7600K~8000K)가 학습효과를 보인다는 “오성권 외 3인(2011)의 연구결과와 일치한다.”³⁵⁾ 또한 명상 등을 통해 창의적인 활동을 준비하기 위해서도 높은 색온도가 좋다는 것을 연구결과를 알려준다.

5.3 활동성 지표

- 1) 이완집중에서는 SMR파, M-β파, H-β파 모두 색온도가 낮은 조명(3000K)에서 활동성 지수가 높았다.
- 2) 긴장집중에서는 M-β파와 H-β파의 경우 색온도가 높은 조명(7000K)에서 활동성 지수가 높았다.

이 연구결과는 학업에서 높은 성과를 얻기 위해서는 집중도가 필요한데 암산과 같은 수리적인 작업이나 명상과 같은 마음의 평안을 통해 집중도를 높이기 위해서는 색온도를 5000K나 7000K인 조명을 이용하는 것이 바람직하다는 것을 의미한다. 이는 활동성은 색온도가 상대적으로 높은 4142K 혹은 6850K에서 높다는 이진숙 외 2인(2009)의 주장을 뒷받침하고 있다.³⁶⁾ 그러나 명상과 같이 심신을 편안하게 하여 향후 작업을 준비하는 경우에는 색온도가 낮은 3000K가 바람직하다는 것을 보여준다.

그러므로 이 연구의 결과는 학습요인과 관련된 안정감, 집중도, 활동성을 객관적인 지표를 통해 정의하고 이를 색온도가 다른 조명을 통해 학습자들이 어떻게 반응하는지를 알아봄으로서 학습자의 작업 종류에 따라 조명을 조절하는 방향을 제시하였다는데 의의가 있다. 이 연구에서는 실험을 수행하는 절차에서 색온도를 일관되게 낮은 온도

에서부터 높은 온도 순으로 피실험자에게 노출하여 연구결과에 다른 변인에 의한 오차가 발생할 수도 있다. 또한 피실험자의 수가 적고(25명) 명상이나 암산과 같은 단순한 자극을 주고 실험을 수행하여 연구결과를 일반화하기는 어렵지만 제안된 3가지의 학습요인과 조명과의 관계를 규명함으로써 온도, 습도, 조명 등의 변인에 대한 학습요인과의 관계를 규명하는 연구에도 유용하게 응용될 수 있을 것이다.

References

1. Jee, Soon-Duk and Kim, Chae-Bogk, Evaluation of Concentration and Visual Discrimination according to the Color Temperatures of LED illumination. The Journal of Korean Institute of Educational Facilities, 18(3), pp.23-33, 2011
2. Park, Se-jin, Oh, Seung-Bin, Lee, Eun-Ju and Seo, Hyung-Jye, Psychophysiological Evaluation for Naturally Flavored Cream Products, Korean Journal of the science of Emotion & sensibility, 15(1), pp.9-16, 2012
3. Lee, Heyon-Jeong, Choi, Yoo-Rim and Chun Chung-Yoon, Effect of Indoor Air Temperature on the Occupants' Attention Ability based on the Electroencephalogram Analysis, Journal of the architectural institute of Korea , 28(3), pp.217-225, 2012
4. Chon, Ki-Hwan, Oh, Ju-Young, Park, Sun-Hee, Jeong, Yeon-Man, Yang, Dong-Il, A Study on Algorithm of Emotion Analysis using EEG and HRV, Journal of the Korea society of computer and information 15(10), pp.105-112, 2010
5. Kim, Hoon, Youm, Jea-Kyoung, Chung, Won-Sup and Kim, Hee-Jun, A Color Temperature and Illuminance Controllable LED Lighting System. The Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 23(12), pp.10-22, 2009
6. Kim, Soo-Young and Baik, Yong-Kyu, Influence of Color Temperature of Lighting Lamps on Visual Responses in a Small Office. The Journal of the Korean Society of Living Environmental System, 16(6), pp.630-638, 2009
7. Choi, Yoo-Rim and Chun, Chung-Yoon, The Effect of Indoor Temperature on Occupants' Attention Abilities, The Journal of Architectural Institute of Korea, 25(12), pp.411-418, 2009
8. Shin, Hwa-young, Jeong, In-Young and Kim, Jeong-Tai, Mood Evaluation of Luminance Environment at Work-

35) 오성권·임승준·마창민·김진울, “지능형 알고리즘 기반 RGBW Dimming control LED 감성조명 시스템 개발”, 『한국지능시스템학회 논문지』 Vol.21(3), 2011.

36) 이진숙·김원도·김소연, “색온도 특성에 따른 LED조명과 형광 램프의 감성반응 비교분석”, 『대한건축학회논문집』 Vol.25(4), 2009.

- plane in Relation to Color Temperature of LED Light Sources and a Fluorescent Light Source. The Journal of the Korean Society of Living Environmental System, 16(1), pp.27-39, 2009
9. Lee, Jin-Soo and Kim, Jong-Moo, A Study on Sensitivity Preference According to Difference in Color Temperature of LED Broadcasting Lighting. Design Convergence Study 40, 12(3), pp.77-88, 2013
 10. Yi, Yon-Soo and Ha, Mi-Kyoung, A Study on the Psychological Responses by the change of Illuminance and Color temperature in LED. The Journal of the Korean Institute of Interior Design, 21(6), pp.129-136, 2012
 11. Baik, Seung-Heon, Jeong, In-Young, Shin, Hwa-Young and Kim, Jeong-Tai, Effects of Correlated Color Temperature of LED Light Sources and a Fluorescent Light Source on Visual Performance. The Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 23(1), pp.18-26, 2009
 12. Park, Hyen-Sou, Park, Bonjour and Jang, Woo-Jin, A study on the Sensibility Evaluation on the Color Temperatures of Electrodeless HID Lamp. The Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 28(4), pp.9-15, 2014
 13. Kang, Da-Il, Kim, Kun-Yul, Yu, Yong-Moon and Choi, Hee-Lack, Optimization and Fabrication of Color Temperature Tunable White LED Luminaires. Korean Journal of Optics and Photonics, 25(2), pp.102-107, 2014
 14. Lee, Jin-sook and Kim, So-yeon, Research on the influence of Fatigue Evaluation under the Workspace from Correlated Color Temperature and Illuminance of LED Lighting. The Journal of Korean Society of Color Studies, 26(1), pp.45-53, 2012
 15. Shin, Ji-Yea, Chun, Sung-Yong and Lee, Chan-Su, Analysis of the Effect on Attention and Relaxation Level by Correlated Color Temperature and Illumination of LED Lighting using EEG Signal. The Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 27(5), pp.9-17, 2013
 16. Lee, Hyeon-Jeong, Choi, Yoo-Rim and Chun, Chung-Yoon, Effect of Indoor Air Temperature on the Occupants' Attention Ability based on the Electroencephalogram Analysis, The Journal of Architectural Institute of Korea, 28(3), pp.217-225, 2012
 17. Gwon, Hyeong-Gyu, Brain-based Education, History of Education, 2013
 18. Korea KFTA Distance Learning Institute, "This class is fun if you know the brain.", www.education.or.kr, 2010
 19. Kim, Yu-Mi, The brain seems to know children, Seoul: Hannahmoo, 2009
 20. Kim, Dae Sik and Choi, Jang Uk, Electroencephalogram, Korea Medicine, 2010
 21. Korea Research Institute of Standards and Science, Construction of Environmental Presentation Facilities for Living and Office Space, and Development of Sensibility Measurement System, Ministry of Science and Technology, p.176, 2002
 22. Sim, Jun-Young and Sung, In-Je, Influences of Brain Education Program on Concentration and Prefrontal EEG Activation of Children's, The Journal of Child Education, 18(3), pp.19-36, 2009
 23. Jang, Gil-Soo, Park, Sa-Keun, Song, Min-Jeong and Shin Hoon, The Environmental Auditory and Visual Information Effects on the Traffic Noise Perception by Using Electroencephalogram, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 17(2), pp.160-167, 2007
 24. Kim, Myung-Ho and Kim, Jung-Min, A Study on the Variation of Physiology Signals based on EEG with Humidity, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 62(1) pp.50-55, 2013
 25. Kim, Myung Ho, Comparison of Psychological and Physiological Differences of Human due to the EEG Type Scent, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 14(1), pp.418-425, 2013
 26. Oh, Sung-Kwun, Lim, Sung-Joon, Ma, Chang-Min and Kim, Jin-Yul, Development of RGBW Dimming Control Sensitivity Lighting System Based on the Intelligence Algorithm. The Journal of the Korean Institute of Intelligent System, 21(3), pp.359-364, 2011
 27. Kim, Wuon-Shk and Jin, Seung-Hyun, LORETA Analysis of EEG Responding to Positive/Negative Emotional Stimuli for Different Sensitivities of Behavioral and Inhibition Systems, Korean Journal of the science of Emotion & sensibility 8(4), pp.403-413, 2005
 28. Jang, Gil-Soo, Park, Sa-Keun, Song, Min-Jeong and Shin, Hoon, The Environmental Auditory and Visual Information Effects on Traffic Noise Perception by Using Electroencephalogram, The Transactions of the Korean society for noise and vibration, 17(20), pp.160-167, 2007
 29. Kim, Myung Ho, The Study about Variation of Physiology Signal based on EEG due to Variation of Illumination, The

Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 61(1), pp.55-58, 2012

30. Jee, Soon-Duk, Choi, Kyoung-Jae, Kim, Ho-Kun and Lee, Sang-Hyuk, Sensibility Evaluation of Color Temperature and Rendering Index to the LED-Based White Illumination, Korean Journal of the science of Emotion & sensibility, 9(4), pp.353-366, 2006
31. Lee, Jin-Sook, Kim, Won-Do and Kim, So-Yeon, Sensibility Evaluation of LED Lighting and Fluorescent Lamp based on Color Temperature, The Journal of Architectural Institute of Korea, 25(4), pp.263-270, 2009

접수 2014. 9. 30
1차 심사완료 2014. 11. 25
2차 심사완료 2014. 11. 28
게재확정 2014. 11. 28