

## 승강기 갇힘 사고 시 색 온도에 의한 이용자의 심전도 변화

Passenger's Electrocardiogram Change due to Color Temperature in Case of Elevator Jam

김호겸<sup>1</sup> · 김규범<sup>2</sup> · 조형석<sup>3</sup> · 안석현<sup>4</sup> · 민병찬<sup>5†</sup>

Ho-Gyeom Kim<sup>1</sup> · Kyu-Beom Kim<sup>2</sup> · Hyung-Seok Jo<sup>3</sup> ·

Seok-Huen Ahn<sup>4</sup> · Byung-Chan Min<sup>5†</sup>

### Abstract

This study aims to suggest the most stable color temperature that can relieve the anxiety of passengers in case of an elevator trapped accident. The experiment was conducted on 10 adult men in their 20s. The color temperature of the interior lighting of the elevator was adjusted to four stages (3,000 K; 6,000 K; 9,000 K; and 12,000 K). Electrocardiogram (ECG) was measured and analyzed to observe the reaction of the user's autonomic nervous system decline in 3,000 K; 6,000 K; 9,000 K compared with 12,000 K, where a statistically significant difference was recognized ( $p < 0.01$ ). Among them, the activity of the sympathetic nervous system was the lowest under the condition of 3,000 K. Through this study, it was found that the color temperature of 3,000 K induced a sense of stability among passengers in the event of an elevator jam. If the results of this study are used, it seems that the stability of passengers will be secured in the event of an elevator jam.

**Key words:** Elevator, Jam, Color Temperature, ECG

### 요약

본 연구의 목적은 승강기 갇힘 사고 시 승객의 불안감을 해소할 수 있는 가장 안정적인 색 온도를 제안하는 것이다. 승강기 내부 조명의 색온도를 4단계(3000 K, 6000 K, 9000 K, 12000 K)로 조절하였다. 실험은 20대 성인 남성 20명을 대상으로 진행이 되었다. 각 상황별 이용자의 자율신경계 반응을 관찰하기 위해 심전도를 측정하여 분석하였다. 분석결과, 12000 K와 비교 시 3000 K, 6000 K, 9000 K에서 교감신경계 활성화도가 감소하였으며 통계적으로 유의한 차이가 인정되었다( $p < 0.01$ ). 그 중 3000 K의 조건에서 교감신경계 활성화도가 가장 낮았다. 본 연구를 통해 승강기 갇힘 사고 시 3000 K의 색 온도가 승객으로부터 안정감을 유발하는 사실을 알 수 있었다. 본 연구결과를 활용한다면 승강기 갇힘 사고 시 승객의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

**주제어:** 승강기, 갇힘 사고, 색 온도, 심전도

\* 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 201901920001).

<sup>1</sup> 김호겸: 한밭대학교 산업경영공학과 석사과정

<sup>2</sup> 김규범: 한밭대학교 산업경영공학과 석사

<sup>3</sup> 조형석: 한밭대학교 산업경영공학과 석사과정

<sup>4</sup> 안석현: 한밭대학교 산업경영공학과 학사과정

<sup>5†</sup> (교신저자) 민병찬: 한밭대학교 산업경영공학과 교수 / E-mail : [bmin@hanbat.ac.kr](mailto:bmin@hanbat.ac.kr) / TEL : 042-821-1227

## 1. 서론

승강기는 우리 생활에 빠질 수 없는 필수품이 되었다. 승강기는 기술의 발전으로 고층 건물이 생겨나고 이용자의 편의 및 교통약자의 이동을 수월하게 도와주는 역할로써 우리 생활에 큰 부분을 차지하고 있다(Lee et al., 2001). 실제로, 승강기 안전공단의 통계에 따르면 2019년 12월 기준 국내에 설치되어 운행 중인 승강기는 71만 8795대로 집계되고 있다. 매년 약 5만 대씩 승강기가 늘고 있는데 한국승강기안전공단의 사고 통계 자료를 살펴보면 사고 사례가 꾸준히 줄어들고 있어 이에 따른 안전관리 역시 잘 이루어지고 있다(Cho, 2016). 이는 과부감지장치, 비상통화장치, 승강기내 비상조명장치, 출입문잠금장치, 전자-기계 브레이크, 완충기, 문닫힘안전장치, 추락방지안전장치, 과속조절기, 파이널리미트스위치, 상승과속방지장치, 개문출발방지장치 등 여러 안전 장치의 개발로 인한 효과이다. 이러한 장치들은 승강기에 문제가 발생하였을 경우 추락을 방지하고 승강기 안에서 이용자를 안전하게 보호하는 목적으로 설계되었다. 그러나 승강기가 정전, 오작동 및 이용자의 부주의 등으로 고장이 발생하여 멈추게 되면 이용자가 승강기 안에 갇히게 되는 경우가 발생할 수 있다. 이때 추락의 위험은 없지만 갇힘 사고가 발생하게 되면 이용자는 구조대 및 관리자의 출동 시간 동안 불안에 떨어야 하는 상황에 부닥치게 된다. 현재 승강기의 경우 이용자가 갇히게 될 경우 이용자의 안정을 위해 고장 상황에 대한 내용을 음성으로 안내하는 조치만을 취하고 있다. 이러한 상황에서 승강기에 갇힌 이용자에 대한 적절한 조치가 부족한 현실이다. 따라서, 승강기에 갇힌 이용자를 안정시키기 위해 추가적인 조치가 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서는 이러한 상황에 대한 해결방안으로 승강기 안의 조명장치를 통해 내부의 환경을 조성하여 이용자의 안정을 유도할 수 있는 적합한 색온도를 탐색하고자 한다. 실제로, 조명은 색온도에 따라 인간의 감성에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2015; Jang et al., 2007). Nam et al. (2012)은 LED 조명

의 색온도의 영향을 뇌파를 통해 연구하여 낮은 색온도일수록 창의적인 활동에 효과적이고, 높은 색온도에서는 인지적이고 계산적인 활동에 효과적인 경향을 보였다. Jang, (2008)의 연구에 따르면 LED 조명기구의 색채 연출에 대한 선호도와 공간의 목적 및 분위기에 적합한 조명에 대한 가이드라인을 제시하였다. Seo et al., (2014)는 연구대상자들이 학습 시 3000 ~ 6000K 색온도 중 6000K에 가까운 조명의 색온도를 선호한다는 결과를 도출하였다. 하지만 위와 같은 선행연구는 3000K~6000K 사이의 색온도만을 사용하였고 교실 등의 학습을 위한 환경이나 주택 환경에 대한 연구들이 대부분이고 승강기에서 색온도가 끼치는 영향에 관련된 연구는 부족한 실정이다. 그렇기에 본 연구는 색온도(3000K, 6000K, 9000K, 12000K)를 승강기에 적용하여 이용자의 갇힘 사고 시 안정감을 유발할 수 있는 최적의 색온도를 심전도 반응을 통해 탐색하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구대상자

연구대상자는 SNS를 이용한 실험공고를 통해 대전 H 대학생 성인 남성 10명을 모집하였다. 실험참여자들의 평균 연령은 23.8세( $\pm 1.85$ 세)였으며, 이들은 승강기에 대한 트라우마 및 폐소공포증이 없으며 조명의 색을 구별하는 데 문제가 없으며 심혈관계 질환이 없는 인원들이었다. 실험 전일 7시간 이상의 충분히 수면을 취하도록 하였으며 실험 당일 심전도 측정에 영향을 줄 수 있는 카페인, 약물 등의 복용을 금하였다.

### 2.2. 실험환경 및 장비

실험은 실제 승강기를 통해 진행하였으며 승강기 전문가의 통제를 받아 진행되었다. 실험에 사용된 승강기는 LG산전(주)사의 Di1으로 폭 1,800 mm, 깊이 1,500



Fig. 1. Experimental environment



Fig. 2. Experimental bulb

mm, 높이 2,100 mm의 규격이다(Fig. 1).

승강기 내의 색온도 및 조도 조절을 위한 조명은 중국 Xiaomi사의 Yeelight LED smart bulb (Color-10W)

로 어플리케이션을 통해 조도와 색온도의 조절이 가능한 가변조명을 3개를 사용하여 3000K, 9000K, 12000K의 색온도를 제시하였고(Fig. 2), 6000K의 경우에는 기존 승강기 안의 조명을 이용하여 제시하였다.

### 2.3. 실험과정

실험은 Fig. 3과 같이 진행되었다. 생체신호 안정화를 위해 각 색온도 제시 전 5분간 눈을 감은 상태로 안정을 취하도록 하였다. 승강기에 탑승한 연구대상자는 3,000K, 6,000K, 9,000K, 12,000K의 색온도에 5분씩 노출되었으며 기존의 승강기 멈춤 시 제시되는 안내멘트(고장 안내방송 고장입니다. 비상 호출 버튼을 누른 후 잠시 기다려 주십시오. 엘리베이터 내부는 환기가 잘 되어 질식할 염려가 없으므로 안심하시길 바랍니다. 구조원 도움 없이 임의로 탈출을 시도하면 안전사고가 발생할 우려가 있으니 반드시 구조원의 도움을 받아 탈출하시기를 바랍니다.)와 함께 노출되었다. 생체신호 측정이 끝난 후, 승강기 안에서 주관평가를 실시하였다. 색온도 제시는 순서 효과를 배제하기 위해 4가지 색온도 제시순서를 연구대상자 간 무작위로 겹치지 않게 난수를 생성하여 제시함으로써 순서를 상이하게 하였다.

네 가지 색온도는 각 특성에 맞게 선정되었다. 따뜻한 빛을 내는 3000K는 안정을 유발한다고 알려져 있고, 6000K의 경우 우리 생활에 밀접한 형광등의 색온도에 가깝다. 9000K의 경우 활동적이고 역량적인 감성을 유발한다(Jee et al., 2006; Lee et al., 2014). 대부분의 연구가 위와 같이 3000~6000K의 범위에서 이루어졌다. 본 연구는 등간격으로 12000K의 색온도를 추가하여 진행하였다.

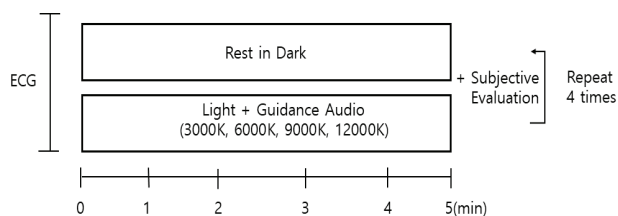
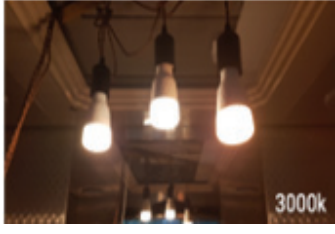


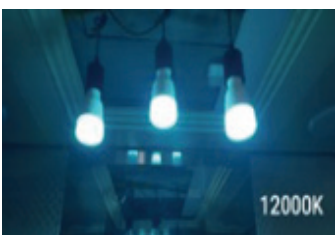


Fig. 3. Experimental process



Table 1. Evaluation example

lux	Kelvin	Example
100lx	3000K	
100lx	6000K	
100lx	9000K	
100lx	12000K	

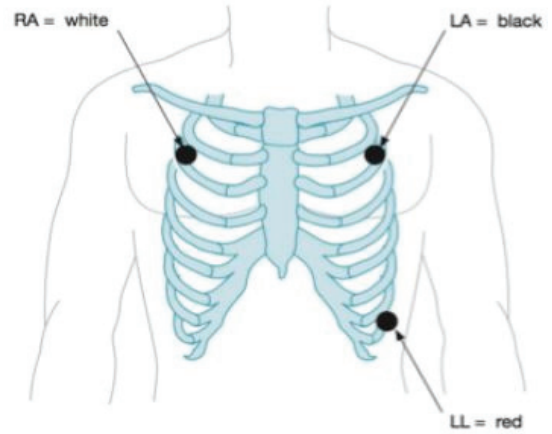





Fig. 4. Location of electrode

$$Normalization = \frac{Light}{Rest} \quad (1)$$

(Light = 3000K, 6000K, 9000K, 12000K)

Table 2. Measuring equipment

Division	Range	Measuring Equipment
ECG	0-100 KΩ	
Lux	0 ~ 400000 Lux, 0 ~ 40000 fc	
Kelvin	0.1 ~ 99990 Lux, 0.01 ~ 9999 fc	

#### 2.4. 측정 및 분석방법

조도 측정은 TES사의 TES-1335 Light Meter 디지털 조도계를 사용하여 조도를 측정하였다.

색온도 측정은 TES사의 TES-136 CHROMA METER 디지털 색차계를 사용하여 측정하였다.

심전도 측정 시 Sampling rate 1000Hz로 설정하였으며, 3전극 유도법을 통해 양쪽 가슴과 왼쪽 복부에 전극을 부착하여 측정하였다(Fig. 4). 사용된 장비는 BioPac사의 MP30을 사용하였다(Table 2).

수집된 심전도 데이터는 Lab Chart8 프로그램을 사용하여 분석하였다. 전처리 작업으로 Digital filtering을 통해 Noise를 제거한 후 주파수 분석을 하였다. 개인 간의 편차가 큰 것을 고려하여 식 (1)과 같이 안정기를

Table 3. Range of LF, HF

Frequency	LF	HF
Frequency range (Hz)	0.04-0.15	0.15-0.40

Table 4. Comparison of LF/HF, post-hoc test of independent variable

Level	N	Mean (SD)	df	F	p-value	post-hoc (p)
(D) 12000K	10	7.45 (5.11)	3	9.677	0.000**	
(A) 3000K	10	2.20 (1.19)				(A) < (D) (0.003)
(B) 6000K	10	2.93 (2.22)				(B) < (D) (0.009)
(C) 9000K	10	3.61 (2.62)				(C) < (D) (0.007)

\* $p < .05$  \*\* $p < .01$

Table 5. Comparison of Subjective Evaluation, post-hoc test of independent variable

Level	N	Mean (SD)	df	F	p-value	post-hoc (p)
(D) 12000K	10	2.90 (1.45)	3	13.601	0.000**	(A) < (D) (0.000)
(A) 3000K	10	3.50 (1.58)				(A) < (C) (0.001)
(B) 6000K	10	4.80 (0.92)				(B) < (C) (0.028)
(C) 9000K	10	5.50 (0.71)				(B) < (D) (0.004)

\* $p < .05$  \*\* $p < .01$

기준으로 정규화를 진행하였다. 이후 Table 3과 같이 교감신경과 부교감신경계의 활동을 나타내는 대역에 대해 Power 값을 평균하여 데이터를 산출하였다(Moon et al., 2015; Patel et al., 2011; Kim et al., 2014; Lee et al., 2012). 스펙트럼 분석으로 수집된 데이터는 LF/HF 비율을 통해 교감신경계 활성도를 도출하였다.

위와 같이 수집된 심전도 데이터와 주관평가 데이터는 SPSS 통계분석 패키지를 통해 반복측정분산분석(RM-ANOVA)을 실시하여 검정을 하였다.

### 3. 연구결과

생체신호의 스펙트럼에 대해 처치 간 변화를 살펴보기 위해 비교를 하였다. 총 네 가지 처치(3,000K, 6,000K, 9,000K, 12,000K)에 대해 LF/HF값의 변화를 관찰하였으며 처치 간의 비교를 위해 RM-ANOVA (Repeated Measure ANOVA)를 실시하였다. RM-ANOVA로 귀무가설이 기각되었을 경우, 최소 유의차 사후검정을 통해 수준 간 차이를 비교하였다. RM-ANOVA 분석 결과 유의수준 1%에서 통계적으로 유의차가 인정되었다.

Mauchly의 단위행렬검정 결과 유의확률이 0.05 이상으로 등분산성이 증명되었다, 개체 내 효과 검정에서 구형성 가정의 유의확률이 0.000으로서 유의수준 0.05보다 작기 때문에 각 색온도의 차이에 따른 LF/HF의 값이 차이가 있음을 알 수 있었다. 이후 수준 간 비교를 위해 least significance difference(LSD) 사후검정을 실시한 결과, Table 4와 Fig. 5를 보면 3,000K가 다른 요인들에 비해 LF/HF 비율이 제일 낮았고, 그다음으로는 6,000K, 9,000K, 12,000K 순으로 LF/HF 비율이 낮았다. 각 처치 간의 RM-ANOVA 결과 12,000K를 제외한 3,000K, 6,000K, 9,000K 끼리 비교한 결과 통계적으로

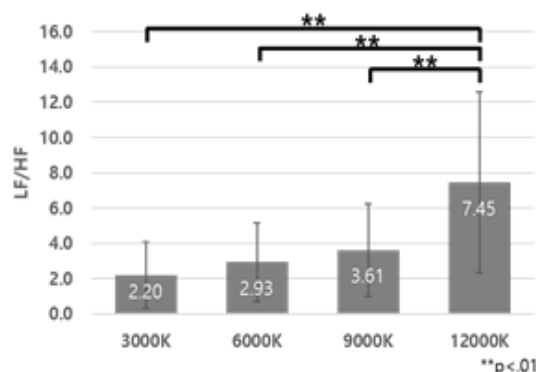


Fig. 5. Comparison of LF/HF

유의한 차이를 보이지 않았고, 12,000K를 대상으로 각 처치 간 비교 시 3,000K( $p<0.003$ ), 6,000K( $p<0.009$ ), 9,000K( $p<0.007$ ) 모두 통계적으로 유의한 차이가 인정되었다.

승강기 간헐사고 상황에서 색온도의 변화에 대한 LF/HF의 값의 상승으로 인해 무서운 감정이 유발된 것 인지를 알아보기 위해 연구대상자에게 7점 척도설문지로 각 색온도에서 느끼는 무서운 감정을 주관적 평가를 통해 측정된 결과, 3000K은 2.90(1.45), 6000K은 3.50(1.58), 9000K은 4.80(0.92), 12000K은 5.50(0.71)의 값을 보였고 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 5). 색온도가 높아질수록 무서움을 느끼는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

승강기는 건물 이용자들이 수직 이동을 위해 모이는 공간으로 이용자들의 편의를 제공함과 동시에 심리적 폐쇄감을 느끼게 하는 장소이기도 하다.

이러한 공간적 특성으로 인해 승강기 안에서 조명의 색온도에 따라 이용자의 감성에 미치는 영향이 크게 좌우된다. 선행연구(Kim, 2007)에서는 인간공학 중심의 쾌적한 조명환경을 만드는 가이드 라인을 제시하였다. 이러한 선행연구를 바탕으로 승강기에서 갇히는 특수한 상황에서 이용자가 불안감이나 공포감을 느끼는 것을 해소할 수 있는 색온도를 찾고자 한다.

본 연구에서는 승강기 간헐 사고 시 긴장감을 줄이고 안정을 느낄 수 있는 환경을 조성하기 위해 색온도(3,000K, 6,000K, 9,000K, 12,000K)를 제안하고 이를 승강기 이용자 생체신호를 통해 증명하고자 하였다.

자율신경계의 반응을 관찰하기 위해 심전도를 측정하였으며 신체적 이완의 지표인 HF와 긴장의 지표인 LF에 대해 교감신경계 활성도를 분석하여 신체적 반응을 관찰하고자 하였다. 심전도 실험 결과 12,000K이 3000K, 6000K, 9000K보다 긴장감을 유발시키는 것을 알 수 있었고, 3000K, 6000K, 9000K 간 유의한 차이는

발생하지 않았다.

또한, 간헐사고 시 색온도로 인해 무서움이 얼마나 발생하는지에 대해 7점척도 설문지를 활용하여 주관평가를 실시한 결과 12000K에서 다른 색온도에 비해 무서운 감정을 더 느끼는 것을 알 수 있었다. 두 결과를 종합해보면 색온도가 높아질수록 LF/HF의 값이 커지고 무서운 감정을 유발한다는 것을 알 수 있다. 이는 LF/HF 값이 크면 공포감을 느낀다는 선행연구(Shin et al., 2015)와 유사한 결과를 보였다.

결과적으로 절대값을 기준으로 3,000K의 색온도를 제시하였을 경우 신체적인 반응과 주관적인 반응에서 가장 안정을 유발하는 것으로 나타났고 일반적인 승강기의 색온도인 6000K는 중간값을 나타냈고 높은 색온도인 12,000K가 가장 긴장감을 유발하는 것으로 나타났다. 이는 낮은 색온도일수록 안정감을 유발한다는 선행연구(Lee et al., 2017; Seo., 2015)와 유사한 결과를 보였다. 또한, 색온도가 높아질수록 신체적인 긴장감이 올라간다는 선행연구(Kim et al., 2020)와도 일치하는 경향을 보였다. 이처럼 승강기 간헐 사고 시 3,000K의 색온도를 제시한다면 갇힌 승객에게 안정감을 유발하여 불안감과 무서움을 해소할 수 있을 것으로 보인다.

하지만, 실제로 운행 중인 승강기가 급작스럽게 멈춰 갇힌 환경이 아닌 정지되어있는 승강기에 갇혀있는 상황을 재연했다는 점과 남성들을 대상으로만 실험을 진행한 한계점이 있다. 추후 VR 등을 통한 승강기 간헐 사고 가상 환경이나 긴장감을 주기 위한 환경을 조성하여 남성뿐만 아니라 여성들도 실험에 참여해 성별 간의 차이를 알아보고, 자율신경계 반응뿐 아니라 뇌파 측정을 통한 중추신경계의 반응과 승강기 안전 전문가들을 대상으로 주관적인 평가를 실시해 이를 반영한 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### REFERENCES

- Lee, K. H., & Seong, S. J. (2001). A Study on the Characteristic of Power Consumption and Design

- of the Electrical Installations for the Inverter Controlled Elevator. *Journal of The Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 15(2), 57-63.
- Cho, Y. J. (2016). Improvement of Elevator Management System after Completion. *Journal of The Korea Institute of Building Construction*. 16(5), 455-461. DOI: 10.5345/JKIBC.2016.16.5.455
- Lee, J. S., & Lee, H. W. (2015). A Study on Influence of the Stress in a Color Temperature and Controllable Illuminance Environment on Human Body. *Journal of Korea Society of Color Studies*. 29(2), 125-134. DOI: 10.17289/jkses.29.2.201505.125
- Jang, J. H., Lee S. J., Park, B. K., & Choi, A. S. (2007). A Study on Appropriate Correlated Color Temperature (CCT) for Each Space by Subjective Evaluation. *Architectural Institute of Korea*. 27(1), 985-988.
- Nam, J. W., Shin J. Y., Lee, C. S., & Jang, J. S. (2012). The Effect of LED Lighting Color Temperature on Affective Auditory Stimulus using EEG Signals. *Proceedings of the Science of Emotion & Sensibility Fall Annual Conference*, 78-79.
- Jang, J. H. (2008). A Study on Appropriate Corrected Color Temperature and Colors of LEDs for Specific Spaces and Users. (Master's Thesis). Se-Jong University, Seoul, Korea.
- Seo, E. J., Jung, J. U., Lee, Y. K., & Lee, J. S. (2014). A Study on Learning Space Titration Color Temperature Derivation of the Illumination Considering the Action. *Proceeding of the Korean Society of Color Studies Annual Conference*, 53-56.
- Moon, K. S., Hwang, K. I., Choi, E. J., & Oah, S. Z. (2015). Study on Prevention of Drowsiness Driving using Electrocardiography(LF/HF) Index. *Journal of the Korean Society of Safety*, 30(2), 56-62. DOI: 10.14346/JKOSOS.2015.30.2.56
- M. Patel., S. K. L. Lal., D. Kavanagh., & P. Rossiter. (2011). Applying Nural Network Analysis on Heart Rate Variability Data to Assess Driver Fatigue. *Journal of Expert Systems with Applications*, 38(6), 7235-7242. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.12.028
- Kim, M. S., Kim, Y. N., & Heo, Y. S. (2014). Characteristics of Heart Rate Variability Derived from ECG during the Driver's Wake and Sleep States. *Transaction of KASE*, 22(3), 136-142. DOI: 10.7467/KSAE.2014.22.3.136
- Lee, G. D., Kim, M. S., Kim, J. S., Kim, D. G., Oh, J. H., & Yu, S. J. (2012). Effects of Blowing to Face on Driver's Sleepiness and ECG. *In Proceeding of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, 543-546.
- Jee, S. D., Choi, K. J., Kim, H. K., & Lee, S. H. (2006). Sensibility Evaluation of Color Temperature and Rendering Index to the LED-Based White Illumination. *Science of Emotion & Sensibility*, 9(4), 353-366.
- Lee, C. W., Park, K. H., Ryu, G. C. (2014). Research on the Influence of the Near Stereopsis from Correlated Color Temperature and Illuminance of LED Lighting. *The Korean Journal of Vision Science*, 16(3), 329-336.
- Kim, G. H., Cheon, W. Y., Kim, J. H., & Song, S. B. (2007). Development and performance measurement of LED lighting system for elevator based on color temperature control. *Proceedings of KIIEE Annual Conference*, 65-70.
- Shin, D. M., Shin, D. I., & Shin, D. K. (2015). Research of Real-Time Emotion Recognition Interface Using Multiple Physiological Signals of EEG and ECG. *Journal of Korea Game Society*, 15(2), 105-114. DOI: 10.7583/JKGS.2015.15.2.105
- Lee, H. W., Park, J. Y., & Lee, J. S. (2017). The Effect of Color Temperature and Illuminance of LED Lighting on Heart Rate Variability. *Proceeding of the Korean Society of Color Studies Annual Conference*, 29-32.

Seo, H. S. (2015). The Effect of Illuminance and Color Temperature of LED Lighting on Occupants' Perception and HRV. (Master's Thesis). Kyung-Hee University, Gwang-Ju, Korea.

Kim, K. B., Jo, H. S., Kim, Y. J., & Min, B. C. (2020). Study on the Variation of Driver's Biosignals According to the Color Temperature of Vehicle Interior Mood Lighting. *Science of Emotion & Sensibility*, 23(2), 3-12.

DOI: 10.14695/KJSOS.2020.23.2.3

원고접수: 2020.06.29

수정접수: 1차 2020.09.08

2차 2020.09.10

게재확정: 2020.09.10