

LED 조명의 조도와 과제난이도가 장기기억에 미치는 영향

Effect of LED Illuminance and Task Difficulty on Long-term Memory

이충원* · 김진호**

Chung-Won Lee* · Jin-Ho Kim**

*공주대학교 산업시스템공학과

*Department of Industrial & Systems Engineering, Kongju National University

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of LED illumination and task difficulty on a person's long-term memory. Illumination levels of 400 lx and 1,000 lx were employed in this study, and task difficulty was set at learning 4 words (easy task) and 7 words (difficult task). The person's retention rate of the learned task was designated as a dependent variable. A total of 64 subjects participated in this study, and 16 participants assigned to each of the four sets of conditions. The results indicated that the retention rate for the difficult task under relatively dark 400 lx conditions was 68.49%, while and the retention rate was higher than 56.03% for 1,000 lx conditions. In addition, for the easy task, the retention rate was 67.97% and 56.55% for the 400 lx and the 1,000 lx conditions, respectively. However, the interaction between illumination and task difficulty was not statistically significant. The study results further suggested that long-term memory can be effective in relatively dark conditions and indirectly suggests that long-term memory may not follow the Yokers-Dodson law.

Key words: LED Light, Long-term Memory, Word Fragment Complete Task, Task Difficulty, Illuminance, Yokers-Dodson Law

요약

본 연구는 LED 조명의 조도와 과제 난이도가 장기기억에 미치는 영향을 검증하기 위해 실시된 연구이다. 본 연구의 조도는 400 lx와 1,000 lx 조건으로 처치하였으며, 과제 난이도는 4단어 학습(쉬운 과제)과 7단어 학습(어려운 과제)으로 설정하였다. 그리고 학습한 과제의 기억률을 종속변인으로 사용하였다. 본 연구에 참여한 실험참가자는 총 64명이며, 각 조건 당 16명의 참가자가 할당되었다. 연구결과 상대적으로 어두운 400 lx 조건이 68.49%로 1,000 lx 조건의 56.03% 보다 기억률이 높은 것으로 나타났다. 아울러 쉬운 과제 조건이 67.97%의 기억률을 보여 56.55%의 어려운 과제에 비해 기억률이 더 좋은 것으로 나타났다. 그러나 조도와 과제 난이도의 상호작용효과는 통계적으로 유의미성이 나타나지 않았다. 본 연구를 통해 상대적으로 어두운 조건에서 장기기억이 효과적일 수 있음을 재검증하였고, 아울러 장기기억은 요커스-도드슨 법칙을 따르지 않을 수 있음을 간접적으로 탐색하였다.

주제어: LED 조명, 장기기억, 단어완성검사, 과제 난이도, 조도, 요커스-도드슨 법칙

※ 본 연구는 2018년 한국연구재단 기초연구지원사업에 의하여 수행되었음.

† 교신저자 : 김진호 (공주대학교 산업시스템공학과)

E-mail : kjh@kongju.ac.kr

TEL : 041-521-9430

FAX : 041-521-9439

1. 서론

과거에 비해 현대를 살아가는 사람들은 태양광과 같은 자연광보다는 형광등이나 LED 조명과 같은 인공적인 조명에 대한 노출이 증가하고 있다. 특히 LED 조명은 에너지 소모가 적고 수명이 길다는 에너지 효율 측면과 빛의 밝기, 색상, 색온도 등에 대한 조작성 용이성 그리고 사용자의 감성을 자극하고 인지적 측면에도 영향을 미치는 감성조명의 역할을 한다는 점에서 각광받고 있다(Park et al., 2011).

LED 조명의 빛은 인간의 24시간 주기(circadian rhythm)에 영향을 미치고 이는 인간의 각성수준이나 활동성 등의 차이를 야기하는 하나의 원인으로 알려져 있다.(Cajochen, 2007; Chellappa et al., 2011). 특히 빛이 인간에게 미치는 영향은 학습장면에서 더욱 중요할 수 있다. 왜냐하면 대부분의 학습은 LED 조명과 같은 인공적인 조명에서 이루어지고 있으며, 빛의 특성에 따라 학습에 대한 효과가 달라질 수 있기 때문이다(Han, 2010; Hong et al., 2009).

그러나 빛과 학습효과에 관한 이전 연구들은 대부분 빛의 조도보다는 색감이나 색온도 등에 초점을 맞추어 왔으며, 연구 또한 매우 부족한 실정이다(Jee et al., 2011; Jee et al., 2014). 게다가 학습의 효과를 측정하기 위한 종속변인도 대부분 주의력이나 단기기억 등을 주로 사용하였다(Chong et al., 2007). 종속변인으로써 주의력과 단기기억이 학습과 관계가 없는 것은 아니지만, 주의력과 단기기억은 시간이 지나면 소멸될 수 있다는 한계점을 가지고 있다.

최근에 주로 받아들여지는 기억모델은 기억을 감각 기억, 단기기억(작업기억), 장기기억의 3단계 구조로 보고 있다. 감각등록기와 관련된 감각기억(sensory memory), 감각기억에서 받아들인 정보들 중에서 주의(attention)를 기울인 정보만이 단기기억으로 전이된다. 그리고 단기기억 저장고의 기억들 중 되뇌기(rehearsal)가 이루어진 일부 정보만이 장기기억(long-term memory)으로 전이된다. 단기기억은 용량의 한계가 있기 때문에 시간이 지나면 소멸 또는 다른 정보로 대체된다. 따라서 우리가 일반적으로 기억한다는 것과 관련된 기억은 장기기억을 의미한다. 보통 각성은 주의와 유사한 면이 많기 때문에 높은 조도로 야기된 각성수준은 감각기억과 단기기억에 영향을 미칠 가능성이 많다. 즉, 상대적으로 되뇌기에 영향을 받는 장기기억

에는 영향을 미칠 가능성이 낮을 수 있다.

그럼에도 불구하고, 장기기억과 관련된 연구는 거의 전무한 실정이다. 특히 LED 조명과 장기기억 간의 연구는 Jung 등(2017)의 연구가 유일하다. Jung 등(2017)은 LED 조명의 조도가 장기기억에 미치는 영향을 연구하였는데, 그들은 상대적으로 어두운 400 lx의 조도가 밝은 1,000 lx의 조도에 비해 장기기억이 우수하다고 주장하였다.

하지만 이 연구의 가장 큰 한계점은 종속변인 즉, 장기기억 과제의 난이도를 고려하지 않았다는 점이다. 과제 난이도는 수행에 직접적인 영향을 미치는데, 특히 각성수준(주의력)이 수행을 매개하는 특성을 가지고 있다. 과제 난이도와 수행 간의 관계는 요커스-도드슨 법칙(Yerkes - Dodson law)이 대표적이다. 요커스-도드슨 법칙은 기억과 관련된 최적의 각성수준이 존재한다고 가정한다(Yerkes et al., 1908). 이 법칙은 생리적 각성과 기억 간의 관계를 역U자 형태로 설명하며, 과제 수행에 근거한 많은 연구들에서 이 법칙은 증명되어 왔다(Anderson, 1994; Humphreys et al., 1984). 연구들에 따르면 낮은 난이도의 과제 즉, 쉬운 과제는 상대적으로 높은 각성수준에서 수행이 우수하고, 높은 난이도의 과제 즉, 어려운 과제는 상대적으로 낮은 각성수준에서 수행이 우수하다고 밝혀졌다. 이러한 특성들을 조도와 연결시킨다면 일반적으로 높은 조도는 각성수준을 높이기 때문에 쉬운 과제에서 우수함을 보일 것이다.

실제로 빛으로 인해 야기되는 각성효과는 인간의 기억에 영향을 미치는 것으로 받아들여지고 있다. 가령 각성된 정보는 중립적인 정보보다 기억이 더 잘되며(Bradley et al., 1992; Cahill et al., 1994; Christianson, 1992; Heuer et al., 1990), 높은 수준의 각성상태에서 저장된 정보는 기억 정확성을 증진시키는 것으로 보고되고 있다(Kensinger et al., 2006; Ochsner, 2000). 그러나 이러한 연구결과들의 대부분은 단기기억과 관련된 것들이다.

이에 본 연구는 다음과 같은 목적을 가지고 연구를 실시하고자 한다.

첫째, 조도에 따른 장기기억의 차이를 검증하고자 한다. 이전의 연구들은 주로 높은 조도에서 기억의 우수함을 보고하였다. 그러나 최근 장기기억과 관련된 연구에서는 상대적으로 낮은 조도에서 장기기억이 우수함을 주장하는 연구도 있다. 따라서 본 연구를 통해 조도의

차이에 따른 장기기억의 우수성을 검증하고자 한다.

둘째, 과제 난이도에 따른 장기기억의 차이를 검증하고자 한다. 요커스-도드슨 법칙과 이전 연구들에 따르면 과제 난이도는 각성수준에 영향을 받는다. 즉, 높은 조도에서는 쉬운 과제가 수행이 우수하다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 연구결과들은 대부분 단기기억과 같은 각성의 효과가 즉각적으로 나타날 수 있는 것들이 주 대상이었다. 장기기억과 같이 좀 더 각성효과로 인한 과제 수행의 영향이 즉각적이지 않은 연구에서는 요커스-도드슨 법칙이 거의 검증되어지지 않았다. 만일 장기기억이 상대적으로 각성수준에 영향을 덜 받는다면 높은 조도와 낮은 조도에서 과제 난이도의 차이로 인한 장기기억의 차이 또한 없을 것이다. 반대로 장기기억이 각성수준에 영향을 받는다면 높은 조도에서 쉬운 과제의 수행이 더 우수할 것이다.

마지막으로 조도의 특성과 과제 난이도 간의 상호작용 효과를 검증하고자 한다. 조도와 과제 난이도가 상호작용 효과가 존재한다면, 장기기억을 활성화 할 수 있는 최적의 조도는 상호작용 효과를 고려해서 판단해야 할 것이다.

2. 연구방법

2.1. 실험설계

본 연구를 위해 조명조건을 400 lx, 1,000 lx 의 두 조건으로 처치하였으며, 색온도는 5000~5500 K 범위에서 실험을 구성하였다. 국가표준 조도기준인 KSA 3011에서는 거실 및 공부방의 표준조도의 최하기준을 400 lx, 최고기준을 1,000 lx로 제안하고 있다. 따라서 본 연구는 최하기준의 400 lx와 최고기준인 1,000 lx 두 조건을 중심으로 과제 난이도(쉬움, 어려움)에 따른 장기기억의 차이를 검증하고자 하였다.

2.2. 실험절차

실험의 진행은 Fig. 1과 같은 절차로 실시되었다.

최초 실험참가자는 2분 동안의 암순응과 2분 동안의 빛 순응을 거친 후 10개의 영어단어를 학습하도록 지시받았다. 학습과제는 되뇌기의 조건을 동일하게 하기 위해 A4 용지에 한 단어씩만을 제공하고 철자를

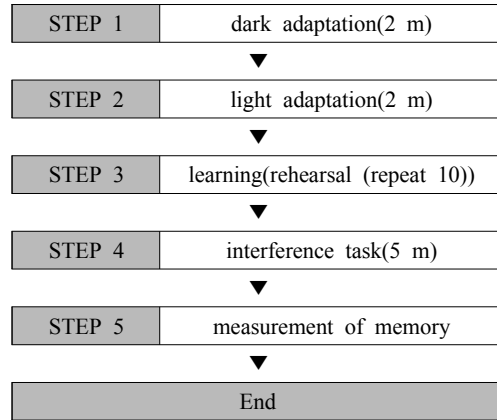


Fig. 1. Procedure of experiment

소리 내어 10번씩 하도록 하였다. 이 후 실험참가자는 간섭과제를 실시하였는데 5분에 걸쳐 단순한 뺄셈 연산을 하는 것이었다. 간섭과제를 실시한 이유는 실험참가자의 응답이 단기기억에 의존하는 것을 막는 것과 동시에 추가적인 되뇌기를 할 수 있는 기회를 방지하기 위함이었다. 간섭과제가 끝난 실험참가자는 장기기억 과제를 실시하였는데, 기억과제는 총 학습한 10개의 단어 중 계열위치효과가 나타날 수 있는 맨 처음 단어와 맨 마지막 단어를 제외한 나머지 8단어였다. 계열위치효과란 맨 처음 학습한 과제(초두효과)와 맨 마지막에 학습한 과제(최신효과)가 더 잘 기억되는 현상을 의미한다. 아울러 10개의 단어 중 정답률을 최종 종속변인으로 사용하였다.

2.3. 조명환경

본 실험의 조명환경을 구성하기 위해 사용된 LED 조명은 engoth-8100 모델을 사용하였다. 본 모델은 광원의 높이는 42 cm이며, 발광부의 크기는 가로 3 cm, 세로 38 cm이다. 발광부에 사용된 LED 모듈은 27개를 이용하여 10 lx~1,100 lx의 밝기 조절이 가능하다. 본 연구에서의 LED 조명환경은 색온도 5,000 K~5,500 K로 설정하고, 조도는 각각 400 lx, 1,000 lx의 2가지로 실험환경을 구성하였다.

2.4. 측정도구

실험에서 장기기억의 재인을 측정하기 위해 Word Fragment Completion(WFC) 과제를 종속변인으로 사용하였다. WFC는 학습한 정보를 토대로 빠진 철자(missing letter)를 채움으로서 단어를 완성하는 과제로

이루어져 있으며 장기기억을 간접적으로 측정할 수 있는 도구 중 하나이다.

brrt b_r worlist w_rli_t

Fig. 2. Examples of WFC task

본 실험에서는 영어단어 과제를 수행과제로 사용하였는데 실험참가자가 사전에 실험에서 사용 될 영어 단어를 미리 알고 있는 경우를 최소화하기 위해 sesameword 에서 제공하는 사용빈도가 낮은 2,700개의 영어 단어 중 7절자로 구성된 단어와 4단어로 구성된 단어를 30개씩 선정하였다.

2.5. 실험대상

본 연구는 인지기능에 손상이 없는 성인 64명을 대상으로 실시하였다. 실험참가자의 평균 연령은 23세이며, 실험에 대한 사전교육을 통해 실험 하루 전에는 알코올이나 카페인 음료 등 인지 기능에 영향을 주는 음식은 피하도록 지시하였다.

3. 연구결과

연구결과 각 조건의 평균과 표준편차는 그림과 같이 나타났다.

Table 1. Result of descriptive statistics

	400 lx	1,000 lx	Total
Difficult task	60.42(26.44) N=16	52.68(28.31) N=16	56.55(27.23) N=32
Easy task	76.56(13.60) N=16	59.38(14.09) N=16	67.97(16.17) N=32
Total	68.49(22.25) N=32	56.03(22.26) N=32	

기술 통계 분석결과 400 lx 조명환경의 쉬운 과제 조건에서 기억률이 76.56%로 가장 높은 것으로 나타났으며, 1,000 lx 조명환경의 어려운 과제 조건에서 기억률이 52.68%로 가장 낮게 나타났다. 전체 평균 기억률은 어려운 과제 조건에서 56.55%, 쉬운 과제 조건에서 67.97%로 나타났으며, 400 lx 조건에서는 68.49%, 1,000 lx 조건에서는 56.55%로 나타났다.

이 후 조건별 차이를 검증하기 위해 변량분석을 실시하였다. 변량분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Result of ANOVA

Type	SS	F	R2
Light Condition(LC)	2485.52	5.28*	.15
Task Difficulty(TD)	2087.12	4.43*	
LC*TD	357.02	.76	

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

변량분석 결과 조도 조건[F=5.28 ($p < .03$)]과 과제 난이도[F=4.43 ($p < .04$)] 모두 95% 신뢰수준에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 400 lx 조건이 1,000 lx 조건보다 더욱 우수한 수행을 보였으며, 쉬운 과제 난이도가 어려운 과제 난이도에 비해 기억률이 더욱 좋았다. 이러한 결과는 Jung et al.(2017)의 연구에서 언급한 상대적으로 어두운 조건에서 장기기억이 우수함을 지지하는 결과라 할 수 있다.

하지만 조도와 과제 난이도의 상호작용 효과는 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

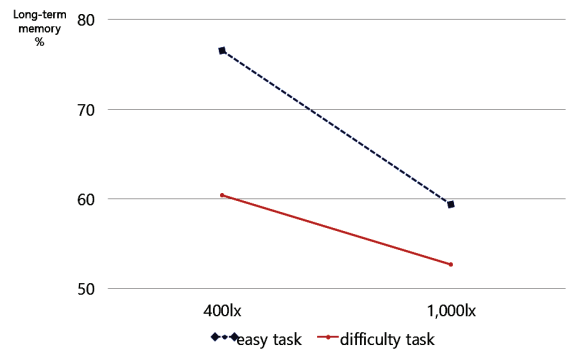


Fig. 3. Result of interaction effect

이러한 결과는 요커스-도드슨 법칙과 같이 높은 각성수준에서 쉬운 과제의 수행이 우수하다는 것을 지지하지 못하는 것이라 할 수 있다. 즉 밝은 빛으로 야기되는 높은 각성수준이 쉬운 과제에서의 수행증진을 발생시키지 못했다고 볼 수 있다.

4. 결론 및 논의

본 연구는 조도와 과제 난이도에 따른 장기기억의 차이를 검증하고 아울러 조도와 과제 난이도 간의 상호작용 효과가 있는지를 검증하기 위해 실시되었다.

연구결과 빛의 조도와 과제 난이도는 모두 장기기억의 기억률에 유의미한 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 특히 빛의 조도는 상대적으로 밝은 조건보다 어두운 조건에서 장기기억이 우수한 것으로 나타났다

며, 이는 이전의 연구결과를 지지하는 것이다. 또한 쉬운 난이도의 과제가 어려운 난이도의 과제에 비해 기억률이 더 나은 것으로 나타났다.

그러나 빛의 조도와 과제 난이도의 상호작용 효과는 본 연구에서는 발견되지 않았다. 이러한 연구결과는 각성 수준과 과제 난이도 간의 관계를 다룬 요커스-도드슨 법칙에 위배되는 결과이다. 요커스-도드슨 법칙에 따르면 높은 각성수준에서는 쉬운 난이도의 과제의 수행이 우수하고, 상대적으로 낮은 각성 수준에서는 높은 난이도의 과제 수행이 우수하다고 주장하고 있다. 하지만 본 연구결과에서는 조도 수준에 관계없이 쉬운 수준의 과제 난이도에서 높은 수행이 나타났다. 이는 장기기억의 특성상 요커스-도드슨 법칙을 따르지 않기 때문일 수 있다. 왜냐하면 장기기억은 단기 기억이나 주의력에 비해 각성수준의 영향을 덜 받을 수 있기 때문이다. 물론 통계적으로 유의미하지는 않았지만 상대적으로 밝은 빛 조건인 1,000 lx에서의 과제 난이도에 따른 수행 차이가 상대적으로 어두운 빛 조건인 400 lx보다 더 적게 나타난 점은 요커스-도드슨 법칙과 관련한 경향성을 어느 정도는 보이고 있다고 할 수 있다. 이러한 결과가 나타난 이유를 추론해 보자면 1,000 lx의 빛 조건이 각성수준을 충분히 증가시키지 못했을 가능성과 과제 난이도가 충분히 쉽지 않았을 가능성이 있을 수 있다. 따라서 추후 연구에서는 더 높은 빛 조건을 통해 더욱 높은 수준의 각성수준을 유도할 필요성이 있고, 아울러 과제 난이도를 더욱 쉽게 만들어 연구를 진행해 볼 필요가 있으리라 판단된다. 만일 이러한 보완을 통한 추후연구에서도 장기기억이 요커스-도드슨 법칙을 따르지 않는다면 장기기억은 각성수준의 영향을 덜 받는다고 조심스럽게 결론 내릴 수 있을 것이다.

뿐만 아니라 본 연구는 다음과 같은 실험 여건 상 다음의 한계점을 가지고 있다.

첫째, 앞서 언급하였듯이 각성수준이 해당 과제에 최적화된 수준으로 이루어졌는가에 대한 것이다. 빛의 조도를 다룬 이전 연구들은 1,000 lx의 빛 조건이 높은 각성수준을 야기한다고 보고하고 있다. 그러나 과제 특성에 따라 최적 수행은 최적의 조도에서 산출되는 것이기 때문에 1,000 lx의 조건이 본 연구에서의 과제 특성에 최적화 된 조도인가에 대해서는 한계점이 있다. 물론 본 실험의 목적 상 일상생활에서의 적용가능성을 염두에 두었기 때문에 KSA 3011에서 제안하는 조도 중 가장 높은 조도인 1,000 lx를 선정할

수밖에 없었다.

둘째, 본 연구에서 사용된 과제의 난이도가 충분히 변별력 있게 설정되었는가의 문제이다. 물론 연구결과 상 쉬운 과제가 상대적으로 어려운 과제에 비해 높은 수행을 보이고 있기는 하지만, 400 lx 조건의 어려운 과제에 비해 1,000 lx 조건의 쉬운 과제의 수행이 다소 낮은 점은 과제 난이도 설정에 있어서 한계점이 있을 가능성을 내포하고 있다. 상식적으로 보면 4단어에 비해 7단어의 학습이 더 어려운 것은 분명한 사실이지만, 기억의 측면에서 보면 오히려 적당히 많은 단어가 더 많은 단서를 제공해서 기억을 더 촉진시켰을 수도 있기 때문이다.

마지막으로, 장기기억의 검증이 좀 더 많은 시간 간격을 두고 이루어지지 못했다는 점이다. 실험여건 상 간섭과제 5분의 간격을 두고 기억의 측정이 이루어졌지만, 24시간 이후나 3일 이후 등과 같이 좀 더 오랜 시간의 간격을 두고 측정했을 때에 대한 검증은 이루어지지 못했다는 점이다.

그럼에도 불구하고, 본 연구는 다음과 같은 측면에서 의의를 가지고 있다.

첫째, 상대적으로 어두운 조도에서 장기기억이 우수하다는 결과를 체계적으로 재검증하였다. Jung 등 (2017)의 연구에서 주장한 상대적으로 어두운 조도에서 장기기억이 우수하다는 연구결과는 매우 이례적이고, 또한 재검증이 거의 이루어지지 않았다. 본 연구를 통해 장기기억이 상대적으로 어두운 조건에서 우수하다는 사실을 재검증할 수 있었다.

둘째, 장기기억이 각성수준의 영향을 상대적으로 덜 받을 수 있는 가능성을 탐색할 수 있었다. 연구결과 각성수준이 과제 난이도에 따른 수행에 덜 영향을 미치는 것으로 볼 때 장기기억은 단기 기억이나 주의력과는 달리 각성수준의 영향이 적을 수 있음을 발견할 수 있었다.

마지막으로 빛과 장기기억 간에 대한 관심을 높일 수 있는 계기가 될 수 있으리라 판단된다. 빛과 관련된 인간영향 연구들은 대부분 단기 기억과 주의력 등의 인지수행 능력에 초점을 두어 왔다. 하지만 오히려 실제 기억이라 할 수 있는 장기기억에 대해서는 상대적으로 관심이 없었다. 그러나 연구결과를 종합해보면 장기기억은 단기 기억이나 주의력과는 다른 측면들이 많을 수 있음을 시사하고 있다. 따라서 본 연구를 통해 빛과 장기기억에 대한 연구들에 대한 관심을 높일 수 있는 계기가 될 수 있다고 판단한다.

REFERENCES

- Anderson, K. J. (1994). Impulsivity, caffeine, and task difficulty. A within-subjects test of the Yerkes-Dodson law. *Personality and Individual Differences*, 16, 813-829. DOI: 10.1016/0191-8869(94)90226-7
- Bradley, M. M., Greenwald, M. K., & Lang, P. J. (1992). Remembering pictures: Pleasure and arousal in memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 18, 379-390. DOI: 10.1037/0278-7393.18.2.379
- Cahill, L., Prins, B., Weber, M., & McGaugh, J. L. (1994). Beta-adrenergic activation and memory for emotional events. *Nature*, 371, 702-704. DOI: 10.1038/371702a0
- Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Review*, 11(6), 453-464. DOI: 10.1016/j.smrv.2007.07.009
- Chellappa, S. L., Gordijn, M. C. M., & Cajochen, C. (2011). Can light make us bright? Effects of light on cognition and sleep. *Progress in Brain Research*, 190, 119-133. DOI: 10.1016/B978-0-444-53817-8.00007-4
- Chong, W. S., Kwon, T. K., & Kim, N. G. (2007). Study of the effect of cognitive by color light stimulation. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 24(10), 131-136.
- Christiansen, S. A. (1992). Emotional stress and eyewitness memory: A critical review. *Psychological Bulletin*, 112, 284-309.
- Han, S. S. (2010). Emotional lives of students in the classroom space LED fluorescent lamp for sensitivity lighting. *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 11(9), 3446-3450. DOI: 10.5762/KAIS.2010.11.9.3446
- Heuer, F., & Reisberg, D. (1990). Vivid memories of emotional events: The accuracy of remembered minutiae. *Memory and Cognition*, 18, 496-506. DOI: 10.3758/BF03198482
- Hong, K. J., Kim, S. M., Lee, B. C., Lee, D. H., & An, S. K. (2009). The effect of color therapy on stress and electroencephalogram variation. *Korean Journal of Aesthetics and Cosmetics Society*, 7(1), 51-59.
- Humphreys, M. S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: A theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychological Review*, 91, 153-184. DOI: 10.1037/0033-295X.91.2.153
- Jee, S. D., & Kim, C. B. (2011). Evaluation of concentration and visual discrimination according to the color temperatures of LED illumination. *The Journal of Korean Institute of Educational Facilities*, 18(3), 23-33.
- Jee, S. D., & Kim, C. B. (2014). Electroencephalogram analysis on learning factors during relaxed or concentrated attention according to the color temperatures of LED illuminance. *The Journal of Korean Institute of Educational Facilities*, 21(6), 33-42.
- Jung, H. C., Kim, J. H., & Lee, C. W. (2017). The effect of the illuminance of light emitting diode (LED) lamps on long-term memory. *Displays*, 49, 1-5. DOI: 10.1037/0033-295X.91.2.153
- Kensinger, E. A., Garoff-Eaton, R. J., & Schacter, D. L. (2006). Memory for specific visual details can be enhanced by negative arousing content. *Journal of Memory and Language*, 54(1), 99-112. DOI: 10.1016/j.jml.2005.05.005
- Ochsner, K. N. (2000). Are affective events richly 'recollected' or simply familiar? The experience and process of recognizing feeling past. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 242-261. DOI: 10.1037/0096-3445.129.2.242
- Park, H. S., Lee, C. S., Jang, J. S., Lee, K. H. & Kim, H. T. (2011). A consideration and prospects of psychological research on lighting. *Korean Journal of Psychology: General*, 30(1), 23-43.
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459-482. DOI: 10.1002/cne.920180503

원고접수: 2018.11.15

수정접수: 2018.11.30

게재확정: 2018.12.03