

LED 조명의 색온도에 따른 집중도 및 시각적 변별력 평가

Evaluation of Concentration and Visual Discrimination according to the Color Temperatures of LED Illumination

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

Abstract

This study investigates the evaluation on simple comparison and seeking hidden figures works under LED illumination conditions according to three types of color temperatures (7000K, 5000K, 3000K) in the classroom, Since the objective of this study is to develop an electric lighting conditions suitable for students in the classroom, the performance of concentration and visual discrimination by students under three types of LED illumination conditions were analyzed. The 4 kinds of simple tests concerning with concentration and 2 types of tests for visual discrimination were developed, and test results under natural light and LED illumination by 3 types of color temperatures were analyzed. There were differences on concentration as well as visual discrimination performance in most cases by t-test ($p \leq 0.05$). For further analysis among three types of color temperatures and natural light, ANOVA tests were performed. The test results shows that illumination condition plays an important role when students try to concentrate on simple comparison of characters, figures or colors and seek hidden figures. The experimental results of this study might be applied to designing better luminous environment.

키워드 : LED 조명 시스템, 색온도, 집중도, 시각적 변별력

Keywords : LED Illumination System, Color Temperature, Concentration, Visual Discrimination

1. 서론

최근 학교 시설에서 사용되고 있는 획일화된 조명은 학생들에게 명확한 시 환경을 제공하지 못하기에 학생들의 시력 저하의 원인이 되며 학업 성과에도 긍정적인 도움이 되지 못하고 있다. 또한, 많은 학생들이 안경을 착용하는 것은 선천적 원인과 생활환경의 영향도 크겠지만, 학생들이 많은 시간을 보내는 교실 내 형광등 조명의 불균일성 등도 무시할 수 없다. 전 세계적으로 에너지 절약에 대한 경각심이 고조되고 에너지에 대한 수요가 폭발적으로 증가하게 되면서 새로운 조명 기술에 대한 관심이 증폭되었다. 절전 제품에 대한 관심이 높아지고 있는 추세에서 기존의 교실 조명인 형광등을 대체할 수 있는 차세대 조명

으로 LED 조명이 각광을 받고 있다.

이러한 현실에 비추어 볼 때 학생들에게 안락하며 학교 생활의 부담을 경감하는 조명의 최적 조건을 찾아 학생들의 생활 패턴에 적합한 교실용 LED 조명에 대한 연구가 절실히 필요하다.

따라서 교실용 LED 조명이 학습 수행능력에 어떠한 영향을 주는지를 알기 위한 체계적인 분석과 규명이 요구된다. 이 연구에서는 색온도가 다른 3가지 LED 조명이 학습 수행능력과 관련이 있는 집중도와 시각적 변별력에 미치는 영향을 알아보려 한다.

2. 이론고찰

2.1 시 환경과 학교시설 계획

1) 지순덕, 백색 LED 조명의 광학적 특성에 따른 중학교 학생과 교사의 감성 평가, 한국교원대학교 대학원 박사 학위 논문, 2007

* 정희원, 경북 상주 화동중 교사, 교육학박사
** 정희원, 경북대 경영학부 교수, 공학박사, 교신저자
(kimcb@knu.ac.kr)
이 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

학교 조명은 학생들의 학습활동은 물론 교사의 교수활동과 교육효과에도 많은 영향을 준다. 학교생활과 학습활동에서 가장 많이 하는 인체의 활동은 보는 일과 듣는 일이고 교실에서 학생들이 장시간 생활하므로 좋은 시환경의 확보가 매우 중요하다. 시각적 조건이 좋은 곳에서 활동하면 불필요한 에너지를 소모하지 않으며 교실에서 학습자의 태도를 좋은 방향으로 이끌게 된다. 반면에 시각적 조건이 좋지 않은 곳에서 정밀한 학습활동을 하면 시력뿐만 아니라 기타 건강까지도 악영향을 미치게 된다²⁾. 교실조명으로 현재까지 사용한 형광등은 이러한 시각적 조건을 충족시키기에는 역부족이다.

최근 들어 교육현장에서는 교실 수업의 근본적 변화와 함께 학교조명 환경개선에 대한 변화가 요구되고 있다. 이러한 분위기에서 학교조명으로 대체할 조명으로 떠오르는 것이 LED 조명이다.

따라서 LED 조명이 교실조명으로 적합해지기 위해서는 학생들의 학교생활 리듬과 교과별 특성에 맞추어 안정감과 우수한 시환경을 제공하는 조명으로써 학생들의 피로감 감소와 집중력 제고로 학습효과를 향상시킨다는 교육적 효과가 먼저 입증되어야 한다.

2.2 조명의 색온도와 집중도

집중이란 주의가 일정시간 유지되는 것을 의미하며 인간의 감각기관에서 받아들인 정보가 감각저장을 통하여 단기 기억으로 넘어갈 때 주의 집중이 나타난다³⁾. 인간의 기억 체계는 감각저장고, 단기 기억 또는 작업 기억, 장기 기억의 3개의 하부 과정으로 개념화되어 있으며 감각저장고로부터 정보를 부호화하여 단기 기억으로 이전하기 위해서는 인간이 그 과정에 주의를 집중해야 한다. 주의 집중은 단기 기억 작업을 수행함으로써 나타나게 되며⁴⁾ 집중력이나 주의력은 각성, 집중, 연상의 과정을 포함한다⁵⁾. 조명의 광원에는 고유한 색이 있는데 그 색을 색온도로 표시하며 단위는 켈빈(K)으로 표시한다. 색온도가 높을수록 뇌의 활동성과 집중력이 커지고 낮을수록 감성이 활발해진다⁶⁾.

2) 한은숙, 학교시설의 인간공학적 연구, 교육행정학연구, Vol. 26, No. 3, pp.49-73, 2008
3) 박영주, 인간공학, 영지문화사, 서울, 1992
4) 윤용현 외 4인, 심박변화율과 뇌파를 이용한 단기 기억 작업시 집중도의 평가, 한국감성과학회 춘계학술대회, 2000
5) 이충현 외 5인, 뇌파기반 집중도 전송 및 BCI 적용에 관한 연구, 전자공학회지 Vol. 46, No. 2, pp.41-46, 2009
6) 한상석, 학생들의 생활공간인 교실에 감성조명 적용을 위한 LED 형광등 개발연구, 한국산학기술학회지, Vol. 11, No. 9,

이 연구에서는 색온도에 따른 학습 요인과 관련된 집중도와 관련성에 대한 내용으로 국한하였다.

2.3 조명의 색온도와 시각적 변별력

시각은 인간의 주요한 심리기능의 하나로써 자극을 인지하는 능력이다. 외부환경으로부터 자신의 신체를 이용한 미각, 후각, 촉각, 청각, 시각을 이용하여 해석하고 확인하는 잠재능력을 말한다. 특히 시각이 환경의 자극에서 중요시되는 것은 우리의 일상생활의 모든 행동은 시 시각을 통해 먼저 일어난다⁷⁾.

시 시각(visual perception)은 눈을 통하여 받아들인 사물에 관한 시각적 정보를 중추신경계에서 해석하는 능력이다. 시 시각에는 시각적 변별력, 시각 기억력, 시각-공간의 관계성 등이 속한다. 시 시각의 숙달은 아동이 읽기, 쓰기, 짓기, 셈하기를 배우는 것을 돕고, 학습에 필요한 다른 모든 기능을 발달시키기 때문에 문자 학습의 준비 기능으로써 매우 중요하다⁸⁾.

시각 변별은 두 개 이상의 동형이 서로 동일한지 다른지를 판단하는 것으로 시각 변별 과제를 수행할 때 조명의 색온도는 매우 중요한 역할을 한다.

이 연구에서는 교실의 학습활동에서 다양한 색과 관련된 학습 과제를 수행할 때 조명의 색온도와 시각 변별력과의 관련성을 알아보려고 하였다.

3. 실험 계획

3.1 실험 대상

이 연구에서는 실험 조명을 연구의 특성상 소규모 농촌 학교인 H중학교 1개 교실에 색온도 제어 가능한 LED 조명을 설치하였다. 실험대상자는 설치한 학반으로 목적 표집 하였으며 남학생 4명, 여학생 14명을 선정하였다. 본 실험의 신뢰성을 높이기 위해서는 남자의 인원이 더 확보되어야 하지만 소규모 농촌학교의 특성상의 이유로 그 대상이 제한되었다.

참고로 실험 대상인 학생들은 모두 교정시력이 1.0이상의 학생들이며 이 연구의 예비 실험에서도 시지각의 능력 차이를 크게 보이지는 않았기에 시지각 능력을 고려하여 실험을 수행하지 않았다.

2010
7) 여광용, 시지각 훈련 프로그램 이론과 실제, 파이데이아, pp.13-14, 1994
8) 안성혜, 웹기반 시 지각 진단 프로그램의 모형 개발을 위한 기초 연구, 디자인학연구, 통권 제64호, Vol. 19, pp.6-14, 2006

3.2 광원 제작

실험용 조명으로는 L사 제품의 XL-IS60을 사용하였다. L사 제품은 학교교실용으로 개발된 LED 조명으로 기존의 형광등을 교체하여 사용하도록 디자인되어 있고, 조도를 일정하게 유지하면서 색온도가 3단계로 조절되도록 한 것이 특징이 있으며, 또한 외부 자연광의 색온도에 따라 동시에 교실 조명의 색온도가 조절되도록 하는 기능도 가지고 있다. L사 제품 개발 기준에 의하면 언어시간, 수리시간, 예체능시간, 휴식시간 등의 수업과목별로 조명을 구분하였으며, 학교 일상생활에 맞도록 색온도를 3000K, 5000K, 7000K와 휴식시간에 사용하는 조명을 시스템으로 구축하여 개발하였다.

그림 1은 LED 광원의 색온도별 광 스펙트럼을 나타낸다. 문헌에 나타난 기존 연구를 참조하여⁹⁾ 표 1에 나타난 바와 같이 색온도가 높은 조명 순으로 L1(7000K), L2(5000K),

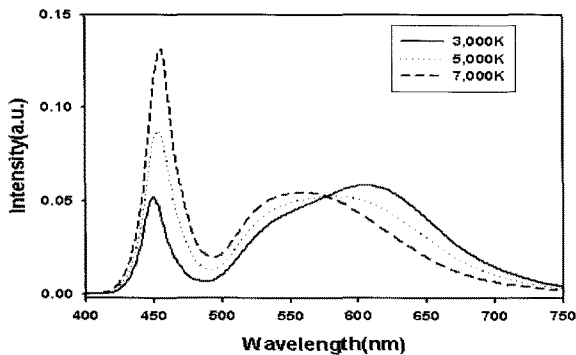


그림 1. LED 광원의 색온도별 광 스펙트럼



그림 2. 교실의 LED 조명

표 1. 조명별 조명조건 (색좌표, 색온도, 조도, 연색지수)

조명	색좌표		색온도 (K)	조도	연색지수(Ra)	
	x	y			R8	R14
L1	0.40	0.37	7000	980±10	80	74
L2	0.35	0.34	5000	976±10	82	76
L3	0.31	0.32	3000	977±10	80	74

9) 지순덕·김채복, 학교 교실 LED 조명의 색온도에 대한 주관적 평가, 한국조명전기설비학회지, Vol. 25, No. 1, pp.30-41, 2011

L3(3000K) 조명으로 명명하였다. 교실의 LED 조명은 그림 2와 같이 기존 형광등이 있었던 위치에 교체하여 장착하였다.

3.3 객관적 평가 도구 개발

이 연구에서는 집중도 평가를 위해 4 종류의(한글, 숫자, 색, 통합) 평가 도구를 개발하였다. 또한, 시각적 변별력을 평가하기 위해 난이도가 다른 2 종류의(상, 하) 평가 도구를 개발하였다.

3.3.1 집중도 평가 도구

LED 조명의 색온도(3000K, 5000K, 7000K)에 따른 집중도를 평가하기 위해 한국표준과학연구원¹⁰⁾에서 개발한 'working memory task'를 이용하여 학생들의 수준에 맞도록 수정하여 평가 도구를 개발하였다.

한글, 숫자, 색을 각각 제시하는 3가지 방법과 한글, 숫자, 영문 알파벳을 혼합하여 동시에 제시하는 방법 등 모두 4종류의 평가 도구가 개발되었으며 그림 2에서 그림 5에 나타나 있다.

평가 방법은 실험대상자가 첫 번째 슬라이드에 제시된 3개의 자극을 기억하여(두 번째에는 빈 슬라이드를 넣음으로써 기억할 수 있는 시간과 답을 체크할 수 있는 시간을 학생들에게 제공함) 세 번째 슬라이드에 제시된 3개의 자극과(첫 번째 3개의 자극과는 동일한 자극이 2개이고 다른 자극이 하나 있음) 비교한 후 이 중 첫 번째 슬라이드와 다른 자극의 번호를 체크하는 방식이다. 세 번째 슬라이드에서 두 번째 자극을 제시한 후 빈 슬라이드(네 번째 슬라이드) 넣음으로써 체크할 수 있는 시간을 학생들에게 제공하였다. 다섯 번째 슬라이드에 제시된 3개의 자극과(세 번째 3개의 자극과는 동일한 자극이 2개이고 다른 자극이 하나 있음) 세 번째 슬라이드에서 제시된 자극을 비교 후 다른 자극의 번호를 체크하는 방식으로 각 파일마다 60개의 문항이 구성되어 있다.

첫 번째, 한글을 제시하는 평가 방법은 그림 3과 같이 파워포인트를 이용하여 한 음절의 한글을 무작위로 3개 제시하는 방법이다. 한 개의 파일은 61개의 자극을 제공하는 슬라이드와 60개의 빈 슬라이드로 구성되어 있으며, 유사한 난이도의 총 4개의 파일로 평가 도구를 구성하였다.

두 번째, 숫자를 제시한 평가 방법은 그림 4와 같이 파워포인트를 이용하여 한 자리 숫자를 무작위로 3개 제시

10) 박세진 외 5인, 주거사무환경 제시 및 측정시스템 개발, 과학기술부, pp.165-166, 2002



그림 3. 한글을 제시하는 방법

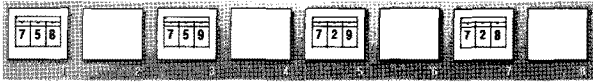


그림 4. 숫자를 제시하는 방법



그림 5. 색을 제시한 방법

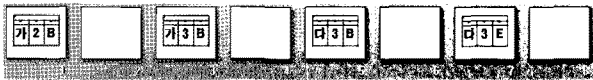


그림 6. 혼합하여 제시한 방법

하는 방법이다. 한 개의 파일은 61개의 자극을 제공하는 슬라이드와 60개의 빈 슬라이드로 구성되어 있으며, 유사한 난이도의 총 4개의 파일로 평가 도구를 구성하였다.

세 번째, 색을 제시한 평가 방법은 그림 5와 같이 파워포인트를 이용하여 여러 가지 색을 무작위로 3개 제시하는 방법이다. 한 개의 파일은 61개의 자극을 제공하는 슬라이드와 60개의 빈 슬라이드로 구성되어 있으며, 유사한 난이도의 총 4개의 파일로 평가 도구를 구성하였다.

네 번째, 여러 자극을 혼합하여 제시하는 평가 방법은 그림 6과 같이 파워포인트를 이용하여 한 음절의 한글, 한 자리 숫자, 영어 알파벳을 조합하여 무작위로 3개 제시하는 방법이다. 단, 순서는 한글, 숫자, 알파벳 순이다. 한 개의 파일은 61개의 자극을 제공하는 슬라이드와 60개의 빈 슬라이드로 구성되어 있으며, 유사한 난이도의 총 4개의 파일로 평가 도구를 구성하였다.

3.3.2 시각적 변별력 평가 도구

이 연구에서의 시각적 변별력이란 시각적 판단 능력, 사물의 인지 능력, 관찰력 등을 의미한다. LED 조명의 색온

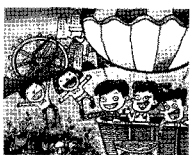


그림 7. 숨은그림찾기(상)



그림 8. 숨은그림찾기(하)

도(3000K, 5000K, 7000K)에 따라 시각적 변별력을 이를 측정할 수 있는 평가 도구를 중학생들의 수준에 맞도록 개발하였다.

평가 도구는 중학생 수준의 내용으로 선정된 난이도가 서로 다른 2 종류의(상, 하) 숨은 그림으로, 난이도에 따라 각각 4장씩으로 구성하였다. 평가 방식은 학생들에게 1분의 시간을 주고 모두 10문항의 숨은 그림을 찾도록 하였다. 그림 7과 그림 8은 시각적 변별력을 측정하는 평가 도구를 나타낸다.

3.4 실험 방법

3.4.1 예비 실험

집중도와 시각적 변별력을 평가하기 위한 실험에서 제시할 평가 도구의 난이도가 같은지를 검증하기 위하여 실험 대상과 다른 학생들을 대상으로 예비실험을 하였다.

집중도 실험의 종류는 4가지이며 이 종류마다 3가지의 색온도에서 평가하기 위해 서로 다른 3가지의 문항을 선정한 후 2학년을 대상으로 예비실험을 하였다. 예비 실험 결과 유의미한 차이가 존재하지 않았다. 또한, 집중도 측정 시 실험대상자가 답을 체크하는 데 소요되는 시간을 확보하기 위해 빈 슬라이드를 두 번째 자극 후 제시하는 것이 효과적이라는 사실을 알게 되었다.

시각적 변별력 실험의 종류는 2가지이며 이 종류마다 3가지의 색온도를 평가하기 위해 서로 다른 3가지의 문항을 선정한 후 중학생의 수준에 맞도록 수정하여 편집하여 2학년을 대상으로 예비실험을 하였다.

역시 예비실험을 한 결과 유의미한 차이가 존재하지 않았다. 또한, 시각적 변별력 실험 시 화면을 LCD 모니터를 보고 실험을 한 경우와 스크린을 보고 실험한 경우를 비교하여 분석한 결과 유의한 차이가 존재하지 않는다는 사실을 알게 되었다.

3.4.2 실험 절차

실험 교실에는 2010년 6월부터 3종류의 색온도를 제어할 수 있는 LED 조명을 설치하였다. 조도가 실험 결과에 미치는 영향을 통제하고자 창문에는 커튼을 치고 실험을 실시하였다 또한, 학생들이 앉아 있던 책상 면을 중심으로 5곳의 조도를 측정한 후 평균값을 비교분석하여 LED 조명에 따른 조도 차이가 실험 결과에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

실험은 맑은 날씨에만 실험을 하였으며, 집중도가 떨어지지 않기 위해 항상 1교시인 오전 9시 10분에서 9시 55

표 2. 실험 내용

실험명	실험 내용
C1	한 음절의 한글로 구성된 평가 도구
C2	한 자리 숫자로 구성된 평가 도구
C3	색 카드를 구성된 평가 도구
C4	한글, 숫자, 알파벳의 조합으로 구성된 평가 도구
D1	난이도가 높은 수준의 숨은 그림 찾기
D2	난이도가 낮은 수준의 숨은 그림 찾기

표 3. 실험 순서

순서	실험명	조명 조건
1일차	C1~C4	NL*
2일차	C1~C4	L1
3일차	C1~C4	L2
4일차	C1~C4	L3
5일차	D1, D2	NL
6일차	D1, D2	L1
7일차	D1, D2	L2
8일차	D1, D2	L3

*NL은 전기조명이 없는 자연 상태를 나타낸다.

분 사이에 실시하였다. 실험은 조명의 조건은 같게 하였으며 표 2와 같이 실험의 내용은 서로 다르게 하여 실험을 실시하였다. 실험이 끝난 뒤 5분 이상의 휴식시간을 확보함으로써 다음 실험에 영향을 주지 않도록 하였다.

실험대상자인 중학교 학생 18명(남자 4명, 여자 14명)에게는 사전에 실험 방법과 절차 등에 대하여 충분히 설명하였다. 실험대상자는 화면에 제시된 슬라이드 내용을 기억하였다가 다음 슬라이드의 내용과 비교하여 다른 곳의 번호에 체크를 하는 방법이다. 체크 시간은 제시한 내용과 다음 제시할 내용 사이에 빈 슬라이드를 넣어 약 2초간의(예비 실험을 통해 답을 체크하는 데 문제가 없음을 확인함) 여유 시간을 주었으며, 그 시간을 이용하여 체크할 수 있도록 사전에 설명을 하였다. 실험 내용은 표 2와 같으며, 실험 순서는 표 3에 나타나 있다.

4. 실험 결과 및 분석

평가를 위한 실험을 한 후 창가에 앉아 있던 학생 5명의 데이터를 분석한 결과 유의미한 변화를 찾지 못하였으며, 창가에 앉아 실험을 하던 학생들의 자리를 안쪽으로 옮겨 재실험을 수행하였지만, 실험 결과는 별다른 차이가 없었기에 조도가 실험의 결과에 미치는 영향이 매우 적음을 확인하였다.

4.1 자료 분석

수집된 자료는 SPSS 12.0을 이용하여 분석하였다. 이 연구에서의 종속 변수는 평가 점수이며 독립 변수는 색온도이다.

자료분석을 위해 t-검증과 분석을 수행하기 위해서는 각 표본이 정규분포를 하거나 정규분포화되어야 한다. 데이터의 개수가 많으면 중심극한정리에 따라 문제가 없으나 이 실험에는 데이터의 수가 적어 직접 데이터를 plotting 해보니 산포도가 정규분포와 비슷한 형태를 보였다. 따라서 각 표본이 정규분포를 한다고 가정하여도 큰 무리가 없을 것으로 사료되어 분석을 수행하였다.

4.2 신뢰도 검증

측정항목 간의 내적일관성을 검증하기 위해 반분(split-half) 계수를 통해 신뢰도를 검증하였다. 일반적으로 탐색적인 연구 분야에서는 반분 계수 값이 0.60, 기초연구 분야에서는 0.80, 나아가 중요한 결정이 요구되는 응용연구 분야에서는 0.90 이상이면 신뢰도가 충분하다고 할 수 있다¹¹⁾. 이 연구에서는 검증 결과 C1~C4 실험에서의 반분 계수는 0.957, D1과 D2 실험에서의 반분계수는 0.773으로 신뢰도가 충분한 것으로 나타났다.

4.3 집중도 실험에서의 t-검증

이 연구에서는 전기조명이 없는 상태와 비교하여 LED 조명의 색온도가 집중도에 어떠한 영향을 주는지를 알아보고자 하였다. 전기조명이 없는 상태와 LED 조명의 색온도에 따라 집중도 평가 도구를(C1, C2, C3, C4) 이용해 실험을 수행하였다.

4.3.1 C1 실험에 대한 t-검증

이 실험은 한 음절의 한글로 구성된 3개의 자극을 한 슬라이드에 제시하였을 때 NL 조명 환경, L1 조명 환경, L2 조명 환경, L3 조명 환경에서의 집중도를 측정하는 실험이다. 단순히 평균만 비교하면 L1 조명에서 작업기억 수행 시 집중도가 높은 것으로 나타났다. 그러나 L3 조명에서는 집중도가 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있었다. NL 환경과 비교하여 3가지 색온도에 따른 LED 조명 환경에서 집중도의 평가에 차이가 있는지를 알아보기 위해서 t-검증을 실시하였다.

표 4에서 나타난 바와 같이 NL 환경과 비교하여 L1, L2, L3 조명 모두 유의한 차이가($p \leq 0.05$) 있었다. 결론

11) Nunnally, J. C., Psychometric Theory, Second Edition, McGraw-Hill, pp.225-255, 1978

표 4. 색온도별 C1요인에 대한 t-검증

조명실험	구분	N	평균	SD	t	유의확률
C1	NL	18	32.70	14.705	-5.691	.000
	L1	18	44.90	15.322		
	NL	18	32.70	14.705	-3.594	.006
	L2	18	42.60	12.903		
	NL	18	32.70	14.705	3.567	.006
	L3	18	19.30	10.541		

적으로 전기조명이 없는 환경보다는 색온도가 서로 다른 L1, L2, L3 조명 환경에서 한 음절의 한글로 구성된 평가 도구에서 높은 집중도를 나타내었다.

4.3.2 C2 실험에 대한 t-검증

이 실험은 한 자리 숫자로 구성된 3개의 자극을 한 슬라이드에 제시하였을 때 NL 조명 환경, L1 조명 환경, L2 조명 환경, L3 조명 환경에서의 집중도를 측정하는 실험이다. 평균만 비교해 보면 L2 조명에서 작업기억 수행 시 집중도가 높은 것으로 나타났다. 그러나 학생들은 L3 조명에서는 집중도가 현저하게 떨어졌다. 3가지 색온도에 따른 LED 조명 환경과 NL 환경과 비교하여 집중도의 평가에 차이가 있는지를 알아보기 위해서 t-검증을 실시하였다.

NL 환경과 비교하여 L1, L2, L3 조명 모두 유의한 차이가(p<0.05) 있음이 표 5에 나타나 있다. 이는 전기조명이 없는 환경보다는 색온도가 서로 다른 L1, L2, L3 조명 환경에서 학생들이 한 자리 숫자로 구성된 평가에 높은 집중도를 나타냄을 의미한다.

표 5. 색온도별 C2요인에 대한 t-검증

조명실험	구분	N	평균	SD	t	유의확률
C2	NL	18	38.40	14.112	-5.109	.001
	L1	18	49.50	14.097		
	NL	18	38.40	14.112	-5.584	.000
	L2	18	50.60	14.774		
	NL	18	38.40	14.112	5.371	.000
	L3	18	20.20	8.390		

4.3.3 C3 실험에 대한 t-검증

이 실험은 3가지의 색카드로 구성된 3개의 자극을 한 슬라이드에 제시하였을 때 4종류의 조명 환경에 따른 집중도를 측정하는 실험이다. 단순히 평균만 비교하면 L1 조명에서 작업기억 수행 시 집중도가 높은 것으로 나타났다. 그런데 C1, C2 실험과 달리 L3 조명에서 학생들은 전

기조명이 없는 상태에서의 평가와 별 차이가 나타나지 않았다. NL 환경과 비교하여 3가지 색온도에 따른 LED 조명 환경에서 집중도의 평가에 차이가 있는지를 알아보기 위해서 t-검증을 실시하였다.

표 6에서 나타난 바와 같이 NL 환경과 비교하여 L1, L2 조명에서는 유의한 차이가(p<0.05) 있었지만, L3 조명에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 전기조명이 없는 환경보다는 색온도가 서로 다른 L1, L2 조명 환경에서는 색카드로 구성된 평가 도구에서 높은 집중도를 나타내었지만, L3 조명은 집중도의 차이에 영향을 보여주지 못했다.

표 6. 색온도별 C3요인에 대한 t-검증

조명실험	구분	N	평균	SD	t	유의확률
C3	NL	18	34.80	10.758	-3.335	.009
	L1	18	43.40	14.826		
	NL	18	34.80	10.758	-2.496	.034
	L2	18	41.30	14.583		
	NL	18	34.80	10.758	-.339	.742
	L3	18	36.00	14.032		

4.3.4 C4 실험에 대한 t-검증

이 실험은 한글, 숫자, 알파벳의 조합으로 구성된 3개의 자극을 한 슬라이드에 제시하였을 때 다양한 조명 환경에 따른 집중도를 측정하는 실험이다.

조명에 따른 평가 결과가 확연한 차이를 보이지 않았지만, NL 환경과 비교하여 3가지 색온도에 따른 LED 조명 환경에서 집중도의 평가에 차이가 있는지에 대한 통계적 유의성을 검증하였다. 예상한 대로 표 7에서 나타난 바와 같이 NL 환경과 비교하여 L1, L2, L3 조명 모두 유의한 차이가(p<0.05) 나타나지 않았다.

표 7. 색온도별 C4요인에 대한 t-검증

조명실험	구분	N	평균	SD	t	유의확률
C4	NL	18	43.50	13.151	-1.905	.089
	L1	18	46.80	16.672		
	NL	18	43.50	13.151	-.964	.360
	L2	18	45.60	15.622		
	NL	18	43.50	13.151	1.793	.107
	L3	18	41.20	12.603		

4.4 시각적 변별력 실험에서의 t-검증

이 연구에서는 전기조명이 없는 상태와 비교하여 LED 조명의 색온도가 시각적 변별력에 어떠한 영향을 주는지

를 알아보고자 하였다. 전기조명이 없는 상태와 LED 조명의 색온도에 따라 난이도가 다른 2개의 평가 도구를 (D1, D2) 이용하여 실험을 수행하였다.

4.4.1 D1 실험에 대한 t-검증

이 실험은 난이도가 상에 해당되는 10문항의 숨은 그림을 찾는 실험으로 문항과 관련된 슬라이드를 제시하였을 때 NL 조명 환경, L1 조명 환경, L2 조명 환경, L3 조명 환경에서의 시각적 변별력을 측정하는 실험이다. 평가 결과의 평균만 비교하면 L3 조명에서 시각적 변별력이 높은 것으로 나타났다. 그러나 L2 조명에서는 오히려 시각적 변별력이 떨어지는 것을 알 수 있었다. NL 환경과 비교하여 3가지 색온도에 따른 LED 조명 환경에서 시각적 변별력의 평가에 차이가 있는지를 알아보기 위해서 t-검증을 실시하였다.

표 8에서 나타난 바와 같이 NL 환경과 비교하여 L1, L3 조명은 유의한 차이가(p<0.05) 있었지만, L2 조명은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 전기조명이 없는 환경보다는 색온도가 서로 다른 L1, L3 조명 환경에서는 숨은 그림 찾기를 이용한 시각적 변별력이 크게 증가하였음을 나타낸다.

표 8. 색온도별 D1요인에 대한 t-검증

조명실험	구분	N	평균	SD	t	유의확률
D1	NL	18	2.44	1.381	-5.588	.000
	L1	18	3.89	1.079		
	NL	18	2.44	1.381	.195	.848
	L2	18	2.39	1.461		
	NL	18	2.44	1.381	-6.553	.000
	L3	18	4.39	1.037		

4.4.2 D2 실험에 대한 t-검증

이 실험은 난이도가 상에 해당되는 10 문항의 숨은 그림을 찾는 실험으로 문항과 관련된 슬라이드를 제시하였을 때 여러 조명 환경에서의 시각적 변별력을 측정하는 실험이다. 평가 결과의 평균을 보면 L3 조명에서 시각적 변별력이 상당히 높게 나타났다. 그러나 L2 조명에서는 오히려 시각적 변별력이 크게 떨어지는 것을 알 수 있었다. NL 환경과 비교하여 3가지 색온도에 따른 LED 조명 환경에서 시각적 변별력의 평가에 차이가 있는지를 알아보기 위해서 t-검증을 실시하였다.

NL 환경과 비교하여 L2, L3 조명은 유의한 차이가(p<0.05) 있었지만 L1 조명은 유의한 차이가 나타나지 않았

음이 표 9에 나타나 있다. 따라서 전기조명이 없는 환경보다는 L3 조명 환경에서는 숨은 그림 찾기를 이용한 시각적 변별력이 크게 증가하였지만 L2 조명에서는 오히려 감소하였다는 흥미로운 결과를 보였다.

표 9. 색온도별 D2요인에 대한 t-검증

조명실험	구분	N	평균	SD	t	유의확률
D2	NL	18	5.39	1.145	1.425	.172
	L1	18	4.61	2.355		
	NL	18	5.39	1.145	4.499	.000
	L2	18	3.72	1.526		
	NL	18	5.39	1.145	-3.688	.002
	L3	18	6.72	1.127		

4.5 집중도 실험에서의 분산 분석

색온도에 따른 L1, L2, L3의 조명 환경에서 집중도 평가와 관련된 실험(C1, C2, C3, C4)을 수행한 결과 집중도에 의한 수행능력과 조명 색온도간의 관련성을 함께 알아보기 위해서 분산 분석을 하였으며 각 조명들 간에 유의한 차이가 존재한 경우 Scheffe의 사후검증을 실시하였다.

4.5.1 C1 실험에 대한 분산 분석

C1 실험에서는 L1, L2, L3 조명 간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 표 12에서 나타난 바와 같이 집단-간 및 집단-내의 통계량을 볼 때 F값은 11.745이며 유의확률이 0.000이므로 L1, L2, L3 조명 간의 유의한 차이가 나타났다. 즉, 한 음절의 한글 3개로 구성된 집중도와 관련된 실험에서는 색온도가 다른 L1, L2, L3 조명 환경에서 평가의 차이가 있는 것으로 나타났다.

L1, L2, L3 조명 환경에서 평균들 간에 차이가 존재하므로 Scheffe의 사후검증을 실시하였다. 그 결과는 표 10과 같이 L1 조명과 L3 조명간의 평균 차이 값은 25.600으로써 큰 차이가 나타났으며(p<0.01), L2 조명과 L3 조명의 평균 차이 값은 23.300으로써 큰 차이가 나타났(p<0.01). 특히 L3 조명에서는 집중도가 매우 떨어지는 것으로 나타났다. 다시 말하면 한 음절의 한글 3개로 구성된 집중도 측정 실험에서는 색온도가 7000[K]인 L1 조명과 5000[K]인 L2 조명에서는 집중도가 비슷하였지만, 색온도가 3000[K]인 L3 조명에서는 현저하게 집중도가 감소하는 실험 결과를 보였다.

4.5.2 C2 실험에 대한 분산 분석

C2 실험에서도 L1, L2, L3 조명 간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 표 10에서 나타난 바와 같이 집단-간 및 집단-내의 통계량을 볼 때 F값은 18.300이며 유의확률이 0.000이므로 L1, L2, L3 조명 간의 유의한 차이가 나타났다. 즉, 한 자리 숫자 3개로 구성된 집중도와 관련된 실험에서는 색온도가 다른 L1, L2, L3 조명 환경에서 평가의 차이가 있는 것으로 나타났다.

L1, L2, L3 조명 환경에서 평균들 간에 차이가 존재하므로 Scheffe의 사후검증을 실시하였다. 그 결과는 표 11과 같이 L1 조명과 L3 조명 간에 평균 차이 값은 29.300으로써 큰 차이가 나타났으며($p \leq 0.01$), L2 조명과 L3 조명 간의 평균 차이 값은 30.400으로써 큰 차이가 나타났다($p \leq 0.01$). L3 조명에서 집중도가 매우 떨어지는 것이 통계적으로 유의미함이 나타났다. 이는 C1 실험의 결과와 같으며 다시 말하면 한 자리 숫자 3개로 구성된 집중도 측정 실험에서는 L2 조명과 L1 조명에서 집중도가 비슷하지만 L3 조명에서는 집중도가 크게 감소하였음을 의미한다.

4.5.3 C3 실험에 대한 분산 분석

C3 실험에서는 L1, L2, L3 조명 간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 유의확률이 0.509이므로 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았다. 즉, 색카드로 구성된 집중도를 측정하는 평가 실험에서는 L1, L2, L3 조명 환경에서 집중도의 차이가 나타나지 않았다. 이는 색카드로 구성된 집중도 평가 실험에서는 색온도가 다른 3가지 조명 사이에는 집중도 평가에 차이가 없음을 의미한다.

4.5.4 C4 실험에 대한 분산 분석

C4 실험에서도 L1, L2, L3 조명 간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 집단-간 및 집단-내의 통계량을 볼 때 F값은 0.383이며 유의확률이 0.685이므로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 즉, 한글, 숫자, 알파벳을 조합하여 구성된 집중도를 측정하는 평가 실험에서는 L1, L2, L3 조명 환경에서 집중도의 차이가 나타나지 않았다. 이는 한글, 숫자, 알파벳의 조합으로 구성된 집중도 평가 실험에서는 색온도가 다른 3가지 조명 사이에는 집중도 평가에 차이가 없음을 의미한다.

4.6 시각적 변별력 실험에서의 분산 분석

L1, L2, L3의 조명 환경에서 난이도가 다른 2 종류의 (D1, D2) 숨은 그림 찾기를 이용한 시각적 변별력을 측정

하는 실험에서 조명의 색온도에 따른 시각적 변별력의 차이를 알아보기 위해서 분산 분석을 하였다. 분산 분석 후 조명 간의 시각적 변별력에 유의한 차이가 존재한 경우 Scheffe의 사후검증을 실시하였다.

4.6.1 D1 실험에 대한 분산 분석

D1 실험에서는 L1, L2, L3 조명에 따라 시각적 변별력에 차이가 있는 것으로 나타났다. 표 10에서 나타난 바와 같이 집단-간 및 집단-내의 통계량을 볼 때 F값은 13.379이며 유의확률이 0.000이므로 L1, L2, L3 조명 간의 유의한 차이가 나타났다. 즉, 난이도가 상의 수준인 숨은 그림 찾기로 구성된 시각적 변별력 측정 실험에서 색온도가 다른 L1, L2, L3 조명 간에 차이가 있는 것으로 나타났다. L1, L2, L3 조명에 따른 평가의 평균에 차이가 존재하므로 Scheffe의 사후검증을 실시하였다.

그 결과는 표 11과 같이 L1 조명과 L2 조명 환경에서 평가에 대한 평균 차이 값은 1.500으로써 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p \leq 0.01$), L2 조명과 L3 조명 환경에서 평가에 대한 평균 차이 값도 -2.000으로써 큰 차이가 나타났다($p \leq 0.01$). 다시 말하면 난이도가 상의 수준인 숨은 그림 찾기로 구성된 시각적 변별력의 수행능력은 실험에서는 색온도가 3000[K]인 L3 조명에서 수행능력이 제일 높았으며 다음은 7000[K]인 L1 조명에서 평가 결과가 좋았으며 L2 조명에서 학생들의 변별력이 가장 좋지 않았다.

4.6.2 D2 실험에 대한 분산 분석

D2 실험에서는 L1, L2, L3 조명 간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 표 10에서 나타난 바와 같이 집단-간 및 집단-내의 통계량을 볼 때 F값은 14.018이며 유의확률이 0.000이므로 L1, L2, L3 조명 간의 유의한 차이가 나타났다. 즉, 난이도가 하의 수준인 숨은 그림 찾기로 구성된 시각적 변별력 측정 실험에서 색온도가 다른 L1, L2, L3 조명 간에 차이가 있는 것으로 나타났다. L1, L2, L3 조명에 따른 평가의 평균에 차이가 존재하므로 Scheffe의 사후검증을 실시하였다.

그 결과는 표 11과 같이 L1 조명과 L3 조명 환경에서 평가에 대한 평균 차이 값은 -2.111로써 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p \leq 0.01$), L2 조명과 L3 조명 환경에서 평가에 대한 평균 차이 값도 -3.000으로써 큰 차이가 나타났다($p \leq 0.01$). 다시 말하면 난이도가 하의 수준인 숨은 그림 찾기로 구성된 시각적 변별력의 수행능력은 난

표 10. 색온도별 집중도 및 시각적 변별력에 대한 분산 분석

요인명	조명	N	평균	SD		제공합	평균제공	F	유의확률
C1	L1	18	44.90	15.322	집단-간	4011.800	2005.900	11.745	.000
	L2	18	42.60	12.903	집단-내	4611.400	170.793		
	L3	18	19.30	10.541	합계	8623.200			
C2	L1	18	49.50	14.097	집단-간	5946.200	2973.100	18.300	.000
	L2	18	50.60	14.774	집단-내	4386.500	162.463		
	L3	18	20.20	8.390	합계	10332.700			
C3	L1	18	43.40	14.826	집단-간	290.867	145.433	.693	.509
	L2	18	41.30	14.583	집단-내	5664.500	209.796		
	L3	18	36.00	14.032	합계	5955.367			
C4	L1	18	46.80	16.672	집단-간	173.867	86.933	.383	.685
	L2	18	45.60	15.622	집단-내	6127.600	226.948		
	L3	18	41.20	12.603	합계	6301.467			
D1	L1	18	3.89	1.079	집단-간	39.000	19.500	13.379	.000
	L2	18	2.39	1.461	집단-내	74.333	1.458		
	L3	18	4.39	1.037	합계	113.333			
D2	L1	18	4.61	2.355	집단-간	85.481	42.741	14.018	.000
	L2	18	3.72	1.526	집단-내	155.500	3.049		
	L3	18	6.72	1.127	합계	240.981			

표 11. 색온도별 집중도 및 시각적 변별력에 대한 사후 검증

요인명	사후 검증 (Scheffe)				요인명	사후 검증 (Scheffe)			
	조명(I)	조명(J)	평균차(I-J)	유의확률		조명(I)	조명(J)	평균차(I-J)	유의확률
C1	L1	L2	2.300	.926	D1	L1	L2	1.500(*)	.002
		L3	25.600(*)	.001			L3	-.500	.467
	L2	L1	-2.300	.926		L2	L1	-1.500(*)	.002
		L3	23.300(*)	.002			L3	-2.000(*)	.000
	L3	L1	-25.600(*)	.001		L3	L1	.500	.467
		L2	-23.300(*)	.002			L2	2.000(*)	.000
C2	L1	L2	-1.100	.982	D2	L1	L2	.889	.320
		L3	29.300(*)	.000			L3	-2.111(*)	.003
	L2	L1	1.100	.982		L2	L1	-.889	.320
		L3	30.400(*)	.000			L3	-3.000(*)	.000
	L3	L1	-29.300(*)	.000		L3	L1	2.111(*)	.003
		L2	-30.400(*)	.000			L2	3.000(*)	.000

이도가 상일 때와 같은 실험 결과를 나타내었다.

5. 결론

이 연구는 LED 조명의 3가지 색온도가 집중도 및 시각적 변별력에 어떠한 영향을 주는지를 알아보기 위해 L1, L2, L3의 조명 환경을 구축하였다. 조명의 색온도가 집중도와 시각적 변별력에 미치는 효과를 객관적으로 평가하기 위하여 측정 도구 6종류(집중도 평가 4 종류, 시각적 변별력 평가 2종류) 개발하였다. 개발된 평가 도구는 기존의 평가도구를 집중도와 시각적 변별력의 객관적 평가를 위해 학생의 수준에 맞게 일부 수정한 것이다.

5.1 실험별 평균의 단순비교 결과

5.1.1 집중도 실험

- 1) 한 음절의 한글 3개로 구성된 실험에서는 색온도가 7000[K]인 조명 환경에서 집중도가 가장 높았으며, L1>L2>NL>L3순으로 나타났다.
- 2) 한 자리 숫자 3개로 구성된 실험에서는 색온도가 5000[K]와 7000[K]인 조명 환경에서 집중도가 가장 높았으며, L2>L1>NL>L3순으로 나타났다.
- 3) 세 가지의 색을 조합한 색카드로 구성된 실험에서는 색온도가 7000[K]인 조명 환경에서 집중도가 가장 높았으며, L1>L2>L3>NL순으로 나타났다.
- 4) 한글, 숫자, 알파벳의 조합으로 구성된 실험에서는

색온도가 7000[K]인 조명 환경에서 집중도가 가장 높았으며, L1>L2>NL>L3순으로 나타났다.

5.1.2 시각적 변별력 실험

- 1) 난이도가 상인 숨은 그림 찾기의 시각적 변별력 측정 실험에서는 색온도가 3000[K]인 조명 환경에서 시각적 변별력이 가장 높았으며, L3>L1>NL>L2순으로 나타났다.
- 2) 난이도가 하인 숨은 그림 찾기의 시각적 변별력 측정 실험에서는 색온도가 3000[K]인 조명 환경에서 시각적 변별력이 가장 높았으며, L3>NL>L1>L2순으로 나타났다.

5.2 NL과 LED 조명에 대한 t-검증 결과

5.2.1 집중도 실험

- 1) 한 음절의 한글 3개로 구성된 집중도 실험에서 LED 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 존재하였다(p≤0.01).
- 2) 한 자리 숫자 3개로 구성된 집중도 실험에서 LED 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 존재하였다(p≤0.01).
- 3) 세 가지 색의 조합인 색카드로 구성된 집중도 실험에서 L1과 L2 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 존재하였다(p≤0.05). 그러나 L3 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 없었다.
- 4) 한글, 숫자, 알파벳의 조합으로 구성된 집중도 실험에서 LED 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 없었다.

5.2.2 시각적 변별력 실험

- 1) 난이도가 상인 숨은 그림 찾기 실험에서 L1과 L3 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 존재하였다(p≤0.01). 그러나 L2 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 없었다.
- 2) 난이도가 하인 숨은 그림 찾기 실험에서 L2와 L3 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 존재하였다(p≤0.01). 그러나 L1 조명에서의 평가 점수는 NL 조명에서의 평가 점수와 비교할 때 유의한 차이가 없었다.

5.3 요인별 분산 분석 결과

5.3.1 집중도 실험

- 1) 한 음절의 한글 3개로 구성된 집중도 실험에서 L1, L2, L3 조명 환경에서 평가 점수 사이에는 차이가 있었으며, 색온도가 7000[K]인 L1 조명에서 집중도가 현저하게 향상되었다.
- 2) 한 자리 숫자 3개로 구성된 집중도 실험에서 L1, L2, L3 조명 환경에서 평가 점수 사이에는 차이가 있었으며, 색온도가 5000[K]인 L2 조명에서 평가 점수가 현저하게 향상되었다. 또한, 색온도가 7000[K]인 L1 조명에서도 집중도가 향상되었다.
- 3) 세 가지 색의 조합인 색카드로 구성된 집중도 실험에서 L1, L2, L3 조명 환경에 따른 평가 점수 간에는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다.
- 4) 한글, 숫자, 알파벳의 조합으로 구성된 집중도 실험에서 L1, L2, L3 조명 환경에 따른 평가 점수간에는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다.

5.3.2 시각적 변별력 실험

- 1) 난이도가 상인 숨은 그림 찾기 실험에서 평가 점수는 L1, L2, L3 조명 환경에서 차이가 있었으며, 색온도가 3000[K]인 L3 조명에서 시각적 변별력이 향상되었다.
- 2) 난이도가 하인 숨은 그림 찾기 실험에서 평가 점수는 L1, L2, L3 조명 환경에서 차이가 있었으며, 색온도가 3000[K]인 L3 조명에서 시각적 변별력이 향상되었다.

실험 결과를 종합하면 LED 조명의 색온도에 따른 집중도 평가에서는 평가 도구에 따라 다른 결과를 보였다. C1, C2 실험에서는 색온도가 3000[K]에서 학생들의 집중도가 가장 나빴으며(단, L1과 L2 조명에서는 비슷함) C3, C4 실험에서는 조명의 색온도에 따라 통계적 차이가 없었다. 그러나 시각적 변별력은 색온도가 3000[K]에서 학생들이 높은 평가 결과를 보였으며, 다음은 7000[K] 다음은 5000[K] 순으로 평가 결과가 나타났다. 따라서 색온도에 따라 학생들의 학업과 관계가 있는 집중도와 시각적 변별력이 차이가 있다는 것을 의미하며 이는 학교의 조명 환경 시설 개선의 방향을 제시해 주는 자료로 활용될 수 있다.

이 연구에서 집중도와 시각적 변별력을 측정하기 위한 평가이다. 개발된 평가 도구가 높은 타당성을 가지기 위해서는 다양한 측정 도구의 개발이 필요하다. 개발된 6가지 종류의 평가도구를 이용하여 객관적 평가를 수행하였으

Vol. 26, No. 3, pp.49-73, 2008

11. Nunnally, J. C., Psychometric Theory, Second Edition, McGraw-Hill, pp.225-255, 1978

접수 2011. 4. 14

1차 심사완료 2011. 5. 4

2차 심사완료 2011. 5. 18

게재확정 2011. 5. 26

나 보다 타당성 있는 연구 결과를 위해서는 학생들의 학업 수행능력을 좀 더 객관적으로 신뢰성 있게 측정할 수 있는 도구의 개발과 이에 대한 적용이 필요하다. 또한, 완전히 통제된 실험실에서 실험을 수행하지 않았기에 실험의 결과에 영향을 미치는 변인이 완전히 통제되지 않았다. 그리고 실험대상자의 수가 너무 작아 실험의 결과를 검증할 때 정규 분포에 대한 가정을 완전히 만족시키기 힘들었다, 그러나 자료의 산포도가 정규 분포의 형태를 보여 통계적 분석을 수행할 수 있었다. 만약 분석 데이터의 수가 충분히 많으면 자료가 정규분포화 되기에 이 문제는 해결될 수 있다. 이 세 가지가 연구 결과를 일반화하기 위해 향후 이루어져야 할 과제이다.

그러나 이 연구에서 얻은 실험 결과는 학습과 관련된 교실의 더 좋은 조명 환경을 디자인하기 위해 응용될 수 있을 것이다. 따라서 교육 시설의 조명과 학습 효과의 관련성에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 박세진, 김원식, 양희경, 이현자, 윤용현, 김묘향, 주거사무 환경 제시 및 측정시스템 개발, 과학기술부, pp.165-166, 2002
2. 박영주, 인간공학, 영지문화사, 서울, 1992
3. 안성혜, 웹기반 시 지각 진단 프로그램의 모형 개발을 위한 기초 연구, 디자인학연구, 통권 제64호 Vol. 19, pp.6-14, 2006
4. 여광웅, 시지각 훈련 프로그램 이론과 실제, 파이데이터, pp.13-14, 1994
5. 윤용현, 고한우, 김동윤, 양희경, 김묘향, 심박변화율과 뇌파를 이용한 단기 기억 작업시 집중도의 평가, 한국감성과학회 춘계학술대회, 2000
6. 이충현, 권장우, 김규동, 홍준의, 신대섭, 이동훈, 뇌파기반 집중도 전송 및 BCI 적용에 관한 연구, 전자공학회지 Vol. 46, No. 2, pp.41-46, 2009
7. 지순덕, 백색 LED 조명의 광학적 특성에 따른 중학교 학생과 교사의 감성 평가, 한국교원대학교 대학원 박사 학위논문, 2007
8. 지순덕·김채복, 학교 교실 LED 조명의 색온도에 대한 주관적 평가, 한국조명전기설비학회지, Vol. 25, No. 1, pp. 30-41, 2011
9. 한상석, 학생들의 생활공간인 교실에 감성조명 적용을 위한 LED 형광등 개발연구, 한국산학기술학회지, Vol. 11, No.9, 2010
10. 한은숙, 학교시설의 인간공학적 연구, 교육행정학연구,