



Comparison of Reading Speeds under Preferred Color and White LED Lightings

Myoung-Hoon Jung^{1,a} and Eun Jung Choi^{2,b,*}

¹Dept. of Optometry, Konyang University, Student, Daejeon 35365, Korea

²Dept. of Optometry, Konyang University, Professor, Daejeon 35365, Korea

(Received May 4, 2021: Revised May 22, 2021: Accepted June 8, 2021)

Purpose: The reading speeds under preferred color and white LED lightings were compared as part of a study on reading tasks in color environments. **Methods:** A total of 12 lightings that were implemented as RGB LED lightings combinations were used. The reading speeds were measured for one minute under preferred color and white lightings. **Results:** Regardless of sex or age, the average reading speed under each color lighting was significantly improved as compared to reading under white lighting, with the average reading speed for all subjects having improved by 10.2%. In terms of sex, there were no significant differences, although there was an increase of 9.6% in men and 10.7% in women. **Conclusions:** It was confirmed that the color environment can provide a positive environment for reading speed as compared to white environment. These results can be applied to fields related to individual learning abilities and attention.

Key words: LED lighting, Color LED lighting, Digital color wavelength checker, Reading speed, Preferred color

서 론

색(color)은 인간생활에 중요한 역할을 담당하고 있어서 실내외 환경, 디자인, 도시·주거 환경, 다양한 제품 등에는 물론, 심리치료, 발달장애, 얼렌증후군(Erlen's syndrome), 학습력, 집중력 등의 분야에도 널리 적용되고 있다.^[1]

색환경(color environment)은 페인트나 착색, 색필름, 조명 등과 같은 다양한 방법으로 구현될 수 있다. 조명분야에서 색환경은 red·green·blue LED(light emitting diode) 광원이 개발되면서 과거의 백열등이나 형광등에 의한 황색계열이나 백색계열의 한정되고 획일적인 색환경에서 벗어날 수 있게 되었다. 일반적으로 조명의 색은 색온도(color temperature, K)와 연색지수(color rendering index, CRI)로 나타낸다. 색온도가 높으면 뇌의 활동성, 집중력, 시각적 변별력에 긍정적이며, 낮으면 감성에 긍정적이어서 적절한 조명환경은 학습성과에 도움이 될 수 있다.^[2] 주의집중력이나 학습유형 또한 조명환경에 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 수리영역은 색온도 7,600~8,000 K, 암기영역은 4,200~4,600 K, 예술영역은 2,200~2,600 K에서 학습효율이 높은 것으로 보고되어 있다.^[3,4] LED 조명의 색온도와 조도는 단안 및 양안의 조절력에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.^[5]

색환경은 컬러렌즈로도 구현될 수 있다.^[6] 읽기작업에서 선호하는 컬러렌즈를 착용하였더니 주시횟수 및 안구역행 운동이 향상되어 독서이해력이 향상되었다.^[7] 무착색렌즈와 회색·갈색·녹색 컬러렌즈를 착용한 상태에서 물체 및 배경 색상을 변화시키며 조절력을 관찰한 결과, 컬러렌즈 착용시 최대조절력이 증가하였고,^[8] 사위량 또한 증가하였다.^[9] 착색렌즈의 색상과 농도를 적절히 조합하여 사용하면 조절력 및 조절용이성이 증가하므로 원근거리 작업을 교대로 하여야 하는 학생이나 운전자, 운동선수 등에 적용될 수 있다.^[10] 근거리 작업시 눈에 특정파장의 빛이 과도하게 비춰지면 시각적 왜곡증상이 유발되어 어려움을 겪을 수 있지만, 해당하는 파장을 감소시키는 보색계열의 컬러렌즈를 착용하면 이러한 증상이 완화된다.^[11,12] 컬러렌즈는 눈의 긴장을 풀어주고 피로를 감소시키고 학습에도 도움이 되므로 독서환경을 개선해 집중력을 높이기 원하는 수험생, 취업준비생, 근거리 작업을 많이 하는 직장인에게 관심의 대상이 되고 있다.^[13]

색환경은 조절력이나 근거리 작업능력과 같은 시기능, 색상왜곡, 주의집중력, 학습력, 뇌의 활동성, 긴장감, 감성 등 다양한 측면에서 인체에 긍정적 영향을 미치므로 보다 폭넓고 다양한 연구가 요구되는 분야이다. 본 연구에서는 개인마다 선호하는 조명의 색상이 취향에 따라 다르다는 점을

*Corresponding author: Eun Jung Choi, TEL: +82-42-600-8425, E-mail: ejchoi@konyang.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0000-0002-5431-3454>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-5020-3055>

본 논문의 일부내용은 2018년도 한국인광학회 동계학술대회와 2019년도 안경·시약제학술대회 공동학술대회에서 포스터로 발표되었음

전제로 개인이 선호하는 색상조명과 백색조명에서의 읽기 속도를 비교하여 읽기작업을 하는데 있어서 색환경이 백색 환경에서보다 더 나은 환경이 될 수 있는지를 알아보기 하였다. 다양한 색상조명의 연출을 위해 red·green·blue LED 광원의 조합을 이용하였고, 읽기작업의 평가를 위해 읽기속도를 측정하였다. 관련된 결과를 개인의 학습력이나 주의집중력과 관련된 분야에 적용하면 다양한 색환경에서의 학습효율 등에 대한 영향을 유추할 수 있고, 조명분야에 적용하면 개인맞춤형 색상조명 개발 등에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

실험 및 방법

1. 연구대상

색각이상, 안질환, 안과 수술경력이 없고, 원거리 양안교정시력 0.8 이상인 평균연령 38.5 ± 11.6 세의 성인 130명(남: 65, 여: 65)을 대상으로 생명윤리위원회(institutional review board, IRB, 승인번호: KYU-2018-120-01)의 승인을 받아 진행하였다.

2. 색상조명

색상조명 환경은 디지털 색파장 검사기(Angeluce, UI Com, Korea)에 내장된 LED 조명을 사용하였다. 이 기기는 RGB LED를 조합하여 백색을 포함한 12가지(white, rose, blue, applegreen, green, brown, purple, viridian, orange, yellow, skyblue, pink) 색상의 조명환경을 연출한다. 분광조도측색계(spectral irradiance colorimeter, SPIC-200, EVERFINE, China)로 측정한 12가지 LED 조명에 대한 CIE 1931 색좌표(CIE 1931 color coordinate)를 Fig. 1에 나타내었다.

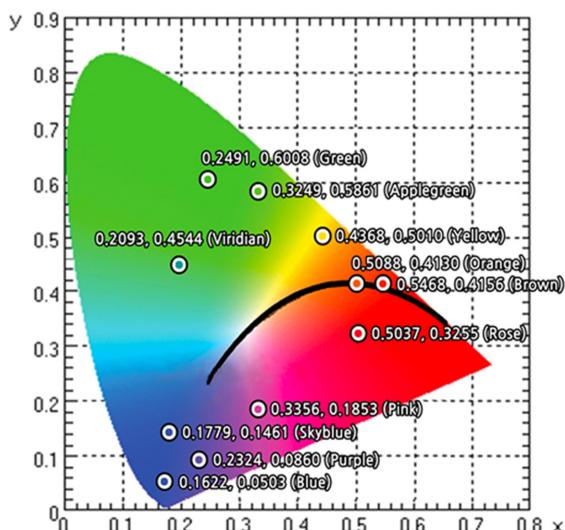


Fig. 1. CIE color coordinates for the 12 kinds of LED lightings.

3. 색상선후도 검사

색상선후도 검사란 피검자가 디지털 색파장 검사기에서 연출되는 12가지 색상조명 중, 백색조명을 제외한 나머지 11가지 색상조명 가운데 시각적으로 가장 선호하는 색상조명 1가지를 선택하는 검사를 말한다. D15 색각검사법으로 색각이상 유무를 확인한 후, 색각이상에 문제가 없는 자를 대상으로 다음과 같이 색상선후도 검사를 하였다.

우선, 백색조명을 제외한 11가지 색상조명 중 2가지를 제시하고 두 색상 가운데 선호하는 색상 하나를 선택하도록 하였다. 이 선택된 색상과 나머지 9가지 색상 중 하나를 선택하여, 그 두 색상 가운데 선호하는 색상을 다시 선택하도록 하였다. 이와 같은 양자택일법을 계속하여 피검자가 가장 선호하는 조명의 색상을 하나 선택하도록 하였다.^[14]

4. 읽기속도 측정

시표로 디지털 색파장 검사기에서 제공하는 TEXT 고급 2 #3232를 사용하였다(Fig. 2). 크기는 가로 27 cm, 세로 23 cm이고, 글자체는 함초롱바탕체, 글자크기는 11 pt, 총 단어수는 227개이다. 시표를 디지털 색파장 검사기에 장착시키고 사용할 조명의 색상을 설정하면 읽기속도 측정을 위한 준비가 완료된 것이다(Fig. 3). 피검자로부터 시표까지의 검사거리는 30 cm이었으며, 읽기속도 측정 시 중근거리에서 가입

친구 학교 광음 숨검정 화를 내륙 사과 꽃놀이 확률 내륙 도록 도리깨 파괴 제재소 뒤뜰 연료 해돋이 굽주린 격려 무지개 배개 모욕 도리깨 파괴 제재소 자재 사과 무지개 배개 광음 뒤뜰 친구 학교 광음 내륙 굽주린 격려 자재 광음 숨검정 화를 내륙 사과 무지개 배개 모욕 해돋이 연료 광음 뒤뜰 친구 학교 광음 숨검정 꽃놀이 내륙 친구 학교 광음 숨검정 해돋이 연료 광음 뒤뜰 사과 무지개 배개 모욕 도리깨 파괴 제재소 뒤뜰 굽주린 격려 자재 꽃놀이 파괴 제재소 사과 무지개 배개 뒤뜰 친구 학교 광음 숨검정 해돋이 연료 제재소 뒤뜰 격려 자재 꽃놀이 파괴 사과 도리깨 학교 친구 배개 해돋이 광음 제재소 친구 연료 격려 자재 꽃놀이 굽주린 화를 굽주린 무지개 뒤뜰 학교 격려 자재 꽃놀이 도리깨 광음 숨검정 해돋이 연료 꽃놀이 확률 내륙 굽주린 격려 배개 뒤뜰 친구 학교 해돋이 확률 내륙 모욕 도리깨 파괴 제재소 광음 무지개 꽃놀이 숨검정 굽주린 파괴 제재소 뒤뜰 친구 학교 격려 자재 꽃놀이 도리깨 광음 숨검정 화를 내륙 사과 무지개 배개 모욕 해돋이 숨검정 굽주린 파괴 연료 모욕 도리깨 파괴 제재소 사과 배개 모욕 도리깨 파괴 제재소 사과 무지개 배개 뒤뜰 친구 꽃놀이 사과 뒤뜰 무지개 자재 확률 내륙 사과 무지개 학교 광음 숨검정 해돋이 연료 꽃놀이 확률 내륙 굽주린 격려 자재 확률 내륙 사과 무지개 광음 숨검정 해돋이 연료 굽주린 격려 자재 배개 모욕 도리깨 파괴 제재소 뒤뜰 친구 학교 꽃놀이 내륙 모욕 학교 광음 숨검정 연료 도리깨 파괴 제재소 사과 확률 무지개 배개 친구

Fig. 2. TEXT Advanced 2 #3232 Target.

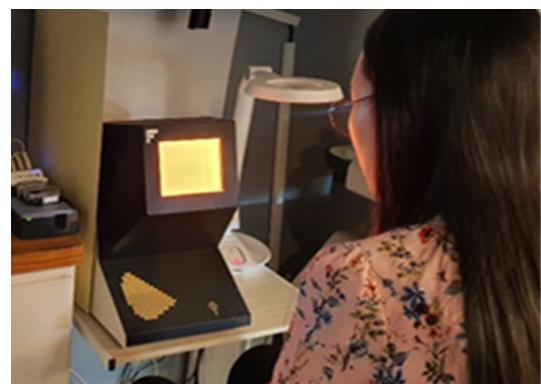


Fig. 3. A subject's reading speed under LED lighting is being measured.

도가 필요한 피검사자의 경우는 근거리 시력검사를 실시하여 근거리 교정시력이 1.0 이상 되도록 하는 근용안경을 착용하고 검사를 진행하였다.

읽기속도 측정 시에는 시표를 빠르고 정확하게 소리내어 읽도록 주문하였고, 시표를 읽는 도중 오류가 발생하면 검사를 중단하고 기록에서 제외하였다. 읽기속도 측정은 1회로 한정하였고, 피검자에게 제시되는 백색·색상 조명의 제시순서는 교대로 하여 학습효과나 제시순서에 따른 영향이 배제될 수 있도록 하였다.^[15] 읽기속도(reading speed, words/min)는 1분간 읽은 단어수로, 읽기속도 향상률(improvement rate of reading speed, %)은 식 (1)과 같은 백색조명에서의 읽기속도에 대한 색상조명에서의 읽기속도와 백색조명에서의 읽기속도의 차로 평가하였고, 통계분석 시에는 유의수준 $p<0.05$ 일 때 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

읽기속도 향상률 =

$$\frac{\text{색상조명에서의 읽기속도} - \text{백색조명에서의 읽기속도}}{\text{백색조명에서의 읽기속도}} \times 100$$

결 과

1. 읽기속도 비교: 성별

백색조명과 색상조명 각각에서의 읽기속도 평균을 성별로 구분하여 Table 1에 나타내었다.

(1) 백색조명에서 성별에 따른 읽기속도: Table 1의 2열을 보면 백색조명에서 읽기속도의 평균은 남성 93.3 ± 18.4 words/min, 여성 92.1 ± 14.9 words/min, 차는 1.2 ± 2.9 words/min으로 남성이 약간 빠른 것으로 나타났다. 두 평균 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 독립표본 t-검정을 실시한 결과, 백색조명에서 남성과 여성의 읽기속도 평균 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p=0.680$).

(2) 색상조명에서 성별에 따른 읽기속도: Table 1의 3열을 보면 색상조명에서 읽기속도의 평균은 남성 102.2 ± 22.6 words/min, 여성 101.9 ± 16.6 words/min, 차는 0.3 ± 3.5 words/min으로 남성이 약간 빠른 것으로 나타났다. 앞서와 동일한 분석을 실시한 결과, 색상조명에서도 남성과 여성의 읽기속도

Table 1. Reading speeds for males and females under white and color lightings (Mean \pm SD, words/min)

Gender	No. of subjects	Under white lighting	Under color lighting
① Male	65	93.3 ± 18.4	102.2 ± 22.6
② Female	65	92.1 ± 14.9	101.9 ± 16.6
Difference = ①-②	-	1.2 ± 2.9	0.3 ± 3.5
<i>p</i> -value	-	0.680	0.930

평균 사이에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p=0.930$).

정리하면 백색조명과 색상조명 각각에서 남성과 여성의 읽기속도 평균에는 유의한 차이가 없었다. 즉, 조명이 같다면 읽기속도는 성별에 관계없이 같음을 알 수 있었다.

2. 읽기속도 비교: 연령별

백색조명과 색상조명 각각에서의 읽기속도 평균을 연령별(20대, 30대, 40대, 50대)로 구분하여 Table 2에 나타내었다.

(1) 백색조명에서 연령별 읽기속도: Table 2의 2열에 따르면 백색조명에서 20대, 30대, 40대, 50대의 읽기속도 평균은 각각 93.2 ± 16.9 words/min, 96.7 ± 17.9 words/min, 95.9 ± 15.0 words/min, 84.9 ± 14.9 words/min이다. 통계적 검정을 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 네 연령층 집단에 대한 분산의 동질성(homogeneity of variances) 즉, 등분산은 성립하였으며($p=0.744$), 읽기속도 평균 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 확인되었다($p=0.019<0.05$). 따라서 백색조명에서의 읽기속도 평균은 네 연령층, 즉 20대, 30대, 40대, 50대 사이에 유의한 차이가 있다고 할 수 있다. 보다 구체적으로 어느 연령층에서 유의한 차이가 발생했는지 확인하기 위하여 Duncan 사후분석을 실시하였고, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 2열과 3열에서 알 수 있듯이 세 연령층 20대, 30대, 40대와 50대는 서로間に 다른 부집단(subset)을 형성하였다. 이로부터 백색조명에서 연령

Table 2. Reading speeds according to age under white and color lightings (Mean \pm SD, words/min)

Age	No. of subjects	Average of reading speed	
		Under white lighting	Under color lighting
20s	38	93.2 ± 16.9	102.4 ± 20.4
30s	30	96.7 ± 17.9	106.5 ± 21.1
40s	31	95.9 ± 15.0	106.7 ± 17.6
50s	31	84.9 ± 14.9	92.8 ± 17.2
<i>p</i> -value	-	0.019*	0.017*

*: *p*-value < 0.05

Table 3. Post-hoc analysis of the one-way analysis of variance according to age

Age	No. of subjects	Under white lighting		Under color lighting	
		Subset for $\alpha = 0.050$		Subset for $\alpha = 0.050$	
		1	2	1	2
20s	38	93.2		102.4	
30s	30	96.7		106.5	
40s	31	95.9		106.7	
50s	31		84.9		92.8
<i>p</i> -value	-	0.410	1.000	0.400	1.000

별 읽기속도 평균에 대한 유의한 차는 20대, 30대, 40대 연령층과 50대 연령층 사이에서 발생하였음을 알 수 있었다.

(2) 색상조명에서 연령별 읽기속도: 색상조명 하에서도 동일한 분석을 실시하였고 백색조명에서와 마찬가지 결과를 얻을 수 있었다(Table 2의 3열, Table 3의 4-5열).

정리하면 백색조명에서도 색상조명에서도 모두 읽기속도 평균은 20대, 30대, 40대 사이에서는 유의한 차이가 없지만, 이들 연령층과 50대 사이에는 유의한 차이가 있음을 알 수 있었다.

3. 읽기속도 비교: 백색조명 vs 색상조명

백색조명과 색상조명 사이에서의 읽기속도 평균을 비교하였다. 두 조명에서 측정한 읽기속도 평균을 (a) 피검자 전체, (b) 성별, (c) 연령 등으로 구분하여 Table 4에 나타내었다. 2열은 백색조명에서 읽기속도 평균, 3열은 색상조명에서 읽기속도 평균, 4열은 두 평균의 차이다.

(a) 피검자 전체(total): Table 4의 1행에 피검자 전체 130명에 대한 백색조명과 색상조명에서의 읽기속도 평균을 제시하였다. 백색조명에서 92.7 ± 16.7 words/min, 색상조명에서 102.1 ± 19.8 words/min, 차는 9.4 ± 6.0 words/min이다. 두 평균 사이에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여 대응표본 t-검정을 실시하였고, 그 결과 두 평균 사이에 유의한 차이가 있음을 확인할 수 있었다($p=0.000 < 0.05$, 1행 5열). 따라서 피검자 전체에 대한 백색조명과 색상조명에서의 읽기속도 평균에는 유의한 차이가 있다고 할 수 있다.

(b) 성별(gender): Table 4의 2~3행에 백색조명과 색상조명에서 측정한 읽기속도 평균을 남성과 여성으로 구분하여 제시하였다. 남성의 경우, 백색조명에서 93.3 ± 18.4 words/min, 색상조명에서 102.2 ± 22.6 words/min, 차는 9.0 ± 7.0 words/min이다. 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 두 평균 사이에 유의한 차이가 있음을 확인할 수 있었다($p=0.000 < 0.05$, 2행 5열). 따라서 남성을 대상으로 한 백색조명과 색상조명에서의 읽기속도 평균에는 유의한 차이가 있다고 할 수 있다. 마

찬가지로 여성을 대상으로 한 백색조명과 색상조명에서의 읽기속도 평균에도 유의한 차이가 있음을 확인할 수 있었다($p=0.000 < 0.05$, 3행 5열). 따라서 여성을 대상으로 한 백색조명과 색상조명에서의 읽기속도 평균에는 유의한 차이가 있다고 할 수 있다.

(c) 연령(age): Table 4의 4~7행에 백색조명과 색상조명에서 측정한 읽기속도 평균을 20대, 30대, 40대, 50대로 구분하여 제시하였다. 20대의 경우, 백색조명에서 93.2 ± 16.9 words/min, 색상조명에서 102.4 ± 20.4 words/min, 차는 9.2 ± 6.5 words/min이다. 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 두 평균 사이에 유의한 차이가 있음을 확인할 수 있었다($p=0.000 < 0.05$, 4행 5열). 따라서 20대를 대상으로 한 백색조명과 색상조명에서의 읽기속도 평균에는 유의한 차이가 있다고 할 수 있다. 30대, 40대, 50대의 경우도 동일한 결과를 보였다($p=0.000 < 0.05$, 4행 5열, 5행 5열, 6행 5열).

백색조명과 색상조명에서의 읽기속도 차(4열, difference)를 보면 그 값이 모두 양(positive)임을 알 수 있다. 이는 색상조명에서 읽기속도가 향상되었음 즉, 더 많은 단어를 읽었다는 뜻이다. 피검자 전체로는 9.4 ± 6.0 words/min, 남성은 9.0 ± 7.0 words/min, 여성은 9.9 ± 4.8 words/min 만큼 증가하였다. 연령별로는 40대에서 10.8 ± 5.8 words/min로 가장 많이 증가하였다. 이를 식 (1)에서 정의된 읽기속도 향상률의 관점에서 보면 피검자 전체로는 10.2%, 남성은 9.6%, 여성은 10.7% 만큼 향상된 것이다. 연령별로는 40대에서 11.3%로 읽기속도 향상률이 가장 높았다.

요약하면 색상조명에서 읽기속도는 성별이나 연령층에 관계없이 백색조명에서보다 유의하게 향상됨을 알 수 있었다.

고 칠

1. 색환경에서의 읽기속도

조명의 색온도와 조도는 감성, 안정, 피로, 시기능, 주의집중력 등에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특히, 적절한

Table 4. Comparison of reading speeds under white and color lightings

Classification	No. of subjects	Average of reading speed Mean \pm SD (words/min)		Difference $\textcircled{3} - \textcircled{2} - \textcircled{1}$	<i>p</i> -value	Increasing rate = $\textcircled{3}/\textcircled{1}$ (%)
		① White lighting	② Color lighting			
(a) Total	130	92.7 ± 16.7	102.1 ± 19.8	9.4 ± 6.0	0.000^{***}	10.2
(b) Gender	Male	93.3 ± 18.4	102.2 ± 22.6	9.0 ± 7.0	0.000^{***}	9.6
	Female	92.1 ± 14.9	101.9 ± 16.6	9.9 ± 4.8	0.000^{***}	10.7
(c) Age	20s	93.2 ± 16.9	102.4 ± 20.4	9.2 ± 6.5	0.000^{***}	9.9
	30s	96.7 ± 17.9	106.5 ± 21.1	9.7 ± 6.5	0.000^{***}	10.1
	40s	95.9 ± 15.0	106.7 ± 17.6	10.8 ± 5.8	0.000^{***}	11.3
	50s	84.9 ± 14.9	92.8 ± 17.2	7.9 ± 4.9	0.000^{***}	9.4

***: *p*-value < 0.001

조명환경이 학습효율에 긍정적인 영향을 준다는 연구결과는 학습조명이라는 새로운 시장을 여는 계기가 되었다.^[16] LED 조명의 색온도와 조도에 따른 뇌파연구에 의하면 업무 활동에는 6,000 K/800 lx, 일상생활에는 4,600 K/530 lx, 휴식에는 3,600 K/240 lx의 색환경이 적합하다.^[17] 색환경별 뇌파 활성도 분석에 따르면 빨간색 환경에서보다 파란색 환경에서 뇌의 활성도와 기억의 정확도가 높다. 이는 색환경과 기억력 사이에 연관성이 있음을 말해주는 것이다.^[18] FAIR 주의집중력검사 및 뇌파측정을 통한 LED 조명의 색온도와 조도에 따른 주의집중력 연구에 따르면 3,000 K/600 lx와 6,000 K/600 lx의 조명환경이 주의집중력에 효과적이다.^[19] 한국표준과학연구원의 자각적 기억재현법에 의한 색환경에서의 주의집중력 분석에 따르면 LED 광원의 색온도는 시각적 변별력과 주의집중력에 유의미한 차이를 일으킨다.^[20] 조명환경은 읽기작업과도 연관이 있다. Baik 등은 형광등(5,000 K)과 LED(3,000 K, 7,300 K) 조명에서의 색온도에 따른 읽기작업 능력을 A4 한 장에 나열되어 있는 단어를 읽는데 걸리는 소요시간으로 평가하였다. 결과는 LED 광원에서 유의하게 단축되는 것으로 나타났다.^[21]

선행연구들에서의 색환경은 색온도 변화에 초점을 두었고, 그 범위는 3,000~10,000 K로 대부분 황색계열이나 백색계열에 집중되어 있음을 알 수 있다. 하지만 본 연구에서는 다양한 색환경으로의 확장을 위해 12가지(white, rose, blue, applegreen, green, brown, purple, viridian, orange, yellow, skyblue, pink) 조명의 색상을 연출하였고, 이러한 색상조명과 백색조명에서의 읽기속도를 비교하여 색환경이 읽기속도에 긍정적인 역할을 할 수 있는지에 대하여 조사하였다.

우선 읽기속도를 동일한 조명 하에서 성별로 비교한 결과, 남성과 여성의 읽기속도에는 유의한 차이가 없었다. 하지만 연령별로 비교한 결과에 따르면 20대, 30대, 40대 사이에서는 유의한 차이가 없지만, 이들 연령층과 50대 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

한편, 백색조명과 색상조명 하에서의 읽기속도를 비교하면 성별 즉, 남성과 여성 모두에 있어서 색상조명에서의 읽기속도가 유의하게 향상되는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 모든 연령에도 색상조명에서의 읽기속도가 백색조명에서보다 유의하게 향상되는 것으로 나타났다. 이는 곧 색환경이 성별이나 연령에 관계없이 언제나 읽기속도에 긍정적인 영향을 미친다는 사실을 뜻하는 것이다.

색환경에서의 읽기속도 향상은 열렌증후군 환자를 대상으로 한 Park 등의 연구에서도 찾아볼 수 있다.^[22] 이들은 컬러렌즈로 색환경을 구현했는데, 이러한 방법은 안경광학 분야에서만 가능한 차별화된 방법이라 할 수 있다. 결과에 따르면 컬러렌즈 착용상태에서 열렌증후군 환자의 읽기속도는 평균 82.7 words/min에서 101.8 words/min로 19.1 words/

min(23.1%) 향상되었다. 본 연구와 이들의 연구를 비교해보면 피검자(정상인 vs 열렌증후군 환자)와 색환경 연출법(색상조명 vs 컬러렌즈)에 있어서 차이는 있었지만 두 경우 모두 색환경에서 읽기속도가 향상되었다. 유사한 결과를 정상인을 대상으로 한 연구에서도 찾아볼 수 있다. Shin은 크로마젠 컬러렌즈(ChromaGen, Cantor & Nessel, UK)를 이용하여 선호하는 색상과 선호하지 않는 색상에서의 주시횟수 및 안구역행 분석하였고, 그 결과 선호하는 색상에서 독서이해력이 증진됨을 추정할 수 있었다.^[7] 본 연구와 여러 연구의 결과들은 적절한 색환경이 백색환경보다 더 나은 환경이 될 수 있음을 확인시켜주고 있다.

2. 피검자수 vs 조도 vs 읽기속도 향상률

읽기속도 향상에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대하여 알아보았다. 본 연구의 범위 내에서 읽기속도에 영향을 미칠 수 있는 요인으로는 두 가지 즉, 색상을 선택한 피검자수와 조도를 들 수 있다(이때 조도는 시표 표면에서의 조도임). 색상을 선택한 피검자수를 고려한 이유는 피검자가 많이 선택한 색상에서 읽기속도가 더 많이 향상되었을 수도 있을 것이라는 관점 때문이었다. 이러한 점에서 Table 5에 색상별 선택한 피검자수, 조도, 읽기속도 향상률을 정리하였다.

(1) 색상을 선택한 피검자수와 읽기속도 향상률에 대한 상관성 여부를 알아보았다. Table 5의 1열과 3열을 참고하여 피검자가 많이 선택한 색상을 순서대로 나열하면 viridian, orange, rose, green, applegreen/yellow 등이고, 읽기속도 향상률을 높은 순서대로 나열하면 orange, viridian, rose, brown, yellow/purple 등이다. 색상을 선택한 피검자수와 읽기속도 향상률을 관계에 대한 상관분석 결과를 Table 6의 1행에 제시하였다. 피어슨 상관계수(pearson correlation coefficient)는 0.480으로 상관성은 다소 있었지만 유의하지는 않았다($p=0.135$).

Table 5. The number of subjects, Illuminance, and improved rate of reading speed according to color of lightings

Color of lightings	No. of subjects	Illuminance (lx)	Improvement rate of reading speed (%)
Viridian	40	883	11.0
Orange	18	699	12.2
Green	14	843	9.2
Applegreen	13	764	9.5
Yellow	13	545	10.3
Brown	10	429	10.4
Pink	6	456	6.6
Purple	5	202	10.3
Skyblue	5	485	4.8
Rose	4	451	10.7
Blue	2	122	7.6

Table 6. Correlation analysis results between the number of subjects and improved rate of reading speed; illuminance and improved rate of reading speed; and number of subjects and illuminance

Correlation	Pearson correlation coefficient	p-value
Number of subjects vs improvement rate of reading speed	0.480	0.135
Illuminance vs improvement rate of reading speed	0.313	0.349
Number of subjects vs illuminance	0.757	0.007**

**p-value < 0.01

(2) 조도와 읽기속도 향상률에 대한 상관성 여부를 알아보았다. 이에 앞서 각 조명의 조도가 읽기작업에 적합한지를 확인하였다. 한국산업규격 조도기준(recommended levels of illumination, KSA 3011:1988)^[23]에 따르면 도서관이나 사무실, 교실 등과 같은 읽기작업이 수행되는 실내에서의 조도 기준은 100~1,000 lx 수준이다. 이 기준에 따르면 Table 5의 2열에 제시된 11가지의 모든 색상조명의 조도는 읽기작업에 적합한 수준임을 알 수 있다. 조도가 높은 색상을 순서대로 나열하면 viridian, green, applegreen, orange, yellow 등이고, 읽기속도 향상률을 높은 순서대로 나열하면 orange, viridian, rose, brown, yellow/purple 등이다. 읽기속도 향상률과 조도 관계에 대한 상관분석 결과를 Table 6의 2행에 제시하였다. 피어슨 상관계수는 0.313으로 상관성은 낮았고 유의하지 않았다($p=0.349$).

이상을 정리하면 많이 선택된 색상이나 조도는 읽기속도 향상률과 유의한 상관성이 없다. 이는 곧, 색상을 선택한 피검자수가 많다고 해서 읽기속도 향상률이 증가하는 것도 아니고, 조도가 높다고 해서 읽기속도 향상률이 증가하는 것도 아니라는 뜻이다.

LED 조명 하에서 수행된 읽기속도-조도 관련 연구로 Jeong 등의 연구를 들 수 있다.^[24] 이들의 연구에서는 두 조도(500 lx, 700 x)와 세 색온도(3,500 K, 5,600 K, 7,500 K) 조건에서 읽기작업의 소요시간이 조사되었다. 결과로는 높은 조도에서 읽기속도가 빠르게 나타났지만, 색온도에 따라 유의성이 있기도 없기도 했다. 즉, 이들의 연구결과만으로는 조도가 높을 때 읽기속도가 유의하게 향상된다고 결론내릴 수는 없다.

반면, 본 연구에서는 11가지 조도의 LED 조명 아래에서 읽기속도를 측정하였고, 이때 조도값(122~883 lx)은 모두 한국산업규격 조도기준의 실내 조도기준(100~1,000 lx 수준)에 있었으며, 그 분포는 거의 전 범위에 걸쳐있다. 즉, Jeong 등의 연구와 비교할 때, 본 연구의 차별성은 조사된 조도의 범위가 넓게 분포되어 있어서 읽기속도-조도 사이의 상관성을

보다 광범위하게 분석할 수 있었다는 데 있다.

이상을 종합하면, 결국 본 연구의 조도 범위(122~883 lx), 이를 보다 확장 유추하여 한국산업규격 조도기준의 실내 조도 기준(100~1,000 lx)의 범위에서는 읽기속도-조도 사이에는 상관성이 없다고 결론지을 수 있다.

(3) Table 5에서 한 가지 더 생각해 볼 수 있는 관계로 색상을 선택한 피검자수와 조도에 대한 상관성 여부이다. 피검자가 선택한 색상을 피검자수의 순서대로 나열하면 viridian, orange, rose, green, applegreen/yellow 등이고, 색상조명의 조도가 높은 순서대로 나열하면 viridian, green, applegreen, orange, yellow 등이다. 두 요인을 변수로 상관분석을 실시하였고, 그 결과 피어슨 상관계수는 0.757로 상관성이 높으면서 유의한 것으로 나타났다($p=0.007<0.05$). 즉, 색상을 선택한 피검자수와 조도와는 유의한 상관성이 있다고 결론지을 수 있다.

본 연구에서는 읽기속도 측정을 1분을 기준으로 하였는데, 보다 긴 시간의 노출에서도 동일한 결과가 나타날 수 있는지에 대한 연구도 수행되어야 할 것으로 사료된다. 더불어 연구범위의 한계로 색환경에서 읽기속도의 향상이 어떤 요인에 기인한 것인지 명확히 밝혀낼 수 없었다는데 아쉬움이 있었다. 색상조명 환경에서의 읽기속도 향상이 주의집중력 향상에 기인하는 것인지, 색수차 감소로 인한 선예도(sharpness) 증가에 기인하는 것인지, 혹은 그 외의 기타 요인 등에 기인하는 것인지에 대한 관련 연구가 필요할 것으로 사료된다. 이번 연구는 red·green·blue LED 광원을 이용한 조명환경 하에서 수행되었지만 유사한 색환경이 컬러렌즈로도 구현될 수 있으므로 비교하여 연구하는 것도 의미 있는 일이라 사료된다.

결 론

선호하는 색환경이 읽기속도에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 20대에서 50대, 총 130명(남 65명, 여 65명)을 대상으로 11가지 색상조명과 백색조명에서의 성별 및 연령에 따른 읽기속도를 비교하였고, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 동일 조명 아래에서 성별에 따른 비교: 백색조명에서 남성과 여성의 읽기속도 평균에는 유의한 차이가 없었다. 색상조명에서도 동일하였다.
2. 동일 조명 아래에서 연령별에 따른 비교: 백색조명에서 읽기속도 평균은 20대, 30대, 40대 사이에서는 유의한 차이가 없었지만, 이들 연령층과 50대 사이에서는 유의한 차이가 있었다. 색상조명에서도 동일하였다.
3. 백색조명과 색상조명에서의 비교: 성별이나 연령별에 관계없이 색상조명에서의 읽기속도는 백색조명에서보다 유

의하게 향상되었다. 읽기속도 향상률은 피검자 전체로는 10.2%, 남성 9.6%, 여성 10.7%이었고, 연령별로는 40대에서 11.3%로 가장 많이 향상되었다.

4. 읽기속도의 향상률은 색상을 선택한 피검자수나 조도 와는 유의한 상관성이 없는 것으로 나타났지만, 색상을 선택한 피검자수와 조도 사이에는 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다.

색환경이 백색조명에서보다 읽기속도에 어느 정도는 긍정적 환경을 제공할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다. 색상조명과 백색조명 환경에서 읽기속도는 성별이나 연령에 관계없이 색상조명에서 읽기속도가 유의하게 향상되었으며, 읽기속도는 조명의 색상을 선택한 피검자수나 조도에는 영향을 받았다고는 할 수 없지만 조명의 색상 선택 시에는 조명의 밝기가 어느 정도는 관여한 것으로 사료된다. 관련된 결과를 개개인의 학습력이나 주의집중력과 관련된 분야에 적용하면 다양한 색환경에서의 학습효율 등에 대한 영향을 유추할 수 있고, 조명분야에 적용하면 개인맞춤형 색상조명 개발 등에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2020학년도 건양대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임.

REFERENCES

- [1] Jee SD, Kim CB. Evaluation of concentration and visual discrimination according to the color temperatures of LED illumination. *J Korean Inst Educ Facil.* 2011;18(3): 23-33.
- [2] Han SS. Emotional lives of students in the classroom space LED fluorescent lamp for sensitivity lighting. *J Korea Acad Industr Coop Soc.* 2010;11(9):3446-3450.
- [3] Seo E, Lee J, Kim DH, et al. Study on learning proper type of lighting environment derived in accordance with attention and concentration. *Korean Society of Color Studies Conference.* 2016;86-92.
- [4] Park GL, Na NR, Suk HJ. User-centered evaluation of LED lighting in classroom. *Korean Society of Public Design Conference.* 2012;59-62.
- [5] Lee CW, Jeong KI, Cho NR, et al. Research on the influence of the accommodative power and the phoria from correlated color temperature and illuminance of LED lighting. *Korean J Vis Sci.* 2012;14(4):363-371.
- [6] Jung MC, Choi EJ. Effects of CCT of LED lightings and color lenses on color perception. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2017;22(4):417-425. DOI: <http://doi.org/10.14479/jkoos.2017.22.4.417>
- [7] Shin CG. Study on eye movement and reading ability for normal subjects wearing the preferred color filter lenses. *Korean J Vis Sci.* 2016;18(4):587-595. DOI: <http://doi.org/10.17337/JMBI.2016.18.4.587>
- [8] Oh BH, Lee JH, Jung SH, et al. The change of the accommodative amplitude in accordance with the color of the spectacle lens or object. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2008;13(1):119-124.
- [9] Choi HS, Park SJ, Lee SJ, et al. The change of phoria in accordance with the color and concentration of the color lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2011;16(3):339-343.
- [10] Choi HS. The influence of the color and the color density of lens on the accommodative amplitude and the accommodative facility. *Korean J Vis Sci.* 2012;14(1):47-54.
- [11] Wilkins A, Neary C. Some visual, optometric and perceptual effects of coloured glasses. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1991;11(2):163-171. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1991.tb00216.x>
- [12] Helveston EM. Scotopic sensitivity syndrome. *Arch Ophthalmol.* 1990;108(9):1232-1233. DOI: <https://doi.org/10.1001/archopht.1990.01070110048023>
- [13] Lee BJ. Basic research on lighting design for learning effect. *J Korea Acad Industr Coop Soc.* 2020;21(4):518-524. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.518>
- [14] Barten PGJ. Contrast sensitivity of the human eye and its effects on image quality, 1st Ed. Knegsel: HV Press, 1999;13.
- [15] Chung STL, Legge GE, Cheung S, et al. Letter-recognition and reading speed in peripheral vision benefit from perceptual learning. *Vis res.* 2004;44(7):695-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.09.028>
- [16] Park GL, Na NR, Choi GA, et al. An exploration of contents on LED lighting for educational environment -focusing on math and multimedia based task for the 4th grade elementary school students. *Korean Society for Emotion and Sensibility Conference.* 2012;36-37.
- [17] Shin JY, Chun SY, Lee CS, et al. Analysis of the effect on attention and relaxation level by correlated color temperature and illuminance of LED lighting using EEG signal. *J Korean Inst Illum Electr Install Eng.* 2013;27(5):9-17. DOI: <http://doi.org/10.5207/JIEIE.2013.27.5.009>
- [18] Chong MY, Chong YS, Hong UC, et al. A study on effect of color light on memory function. *Korean Society for Emotion and Sensibility Fall Conference.* 2001;149-153.
- [19] Lee HW, Jeong DH, Joo DW, et al. A study on illumination consequent on attention concentration and brain wave as against color temperature variations. *Korean Society of Color Studies Conference.* 2016;80-83.
- [20] Yang HK, Ko HW, Kim MH, et al. Evaluation of fatigue by analysis of relation between subjective rating score and working performance with color temperature, *Sci Emot Sensib.* 2001;4(2):63-68.
- [21] Baik SH, Jeong IY, Shin HY, et al. Effects of correlated color temperature of LED light sources and a fluorescent light source on visual performance. *J Korean Inst Illum Electr Install Eng.* 2009;23(1):18-26.

- [22] Park SH, Kim SH, Cho YA, et al. The effect of colored filters in patients with Meares-Irlen syndrome. J Korean Ophthalmol Soc. 2012;53(3):452-459. DOI: <http://doi.org/10.3341/jkos.2012.53.3.452>
- [23] Ji CG, Lee JW, Kim SG. A study on the revision of Korean industrial standards.(KSA 3011). J Institute of Lighting and Electrical Equipment. 1993;7(6):404-414.
- [24] Jeong KI, Lee CW, Song WJ, et al. Effects of correlated color temperature of LED light sources and illumination on visual performance at near. Korean J Vis Sci. 2012; 14(3):189-195.

선호하는 색상과 백색 LED 조명 하에서의 읽기속도 비교

정명훈¹, 최은정^{2,*}

¹건양대학교 안경광학과, 학생, 대전 35365

²건양대학교 안경광학과, 교수, 대전 35365

투고일(2021년 5월 4일), 수정일(2021년 5월 22일), 게재확정일(2021년 6월 8일)

목적: 색환경 하에서의 읽기작업에 대한 연구의 일환으로 선호하는 색상과 백색 LED 조명 하에서의 읽기속도를 비교하였다. **방법:** 사용된 조명의 색상은 총 12가지로 LED 광원의 조합으로 구현하였으며, 읽기속도는 선호하는 색상과 백색 LED 조명 하에서 각각 1분 동안 측정하였다. **결과:** 성별이나 연령별에 관계없이 색상조명에서의 읽기속도는 백색조명에서보다 유의하게 향상되었다. 피검자 전체에 대하여 읽기속도는 10.2% 향상되었다. 성별로는 남성이 9.6%, 여성이 10.7% 향상되었지만 유의한 차이는 없었다. 연령별로는 40대에서 11.3%로 가장 많이 향상되었다. **결론:** 색환경이 백색조명에서보다 읽기속도에 어느 정도는 긍정적 환경을 제공할 수 있다는 점을 확인할 수 있었다. 이러한 결과들이 개개인의 학습력이나 주의집중력과 관련된 분야에 적용될 수 있기를 기대한다.

주제어: LED 조명, 색상 LED 조명, 디지털 색파장 검사기, 읽기속도, 선호색상