

소규모 사무실의 조명색 변화에 따른 시각적 감지 및 무드 변화 분석

강 민 혜, 김 수 영[†]
연세대학교 주거환경학과

Analysis on Visual Perception and Mood for Color of Light in a Small Office

Minhye Kang, Sooyoung Kim[†]
Dept. of Housing and Interior Design, Yonsei University, Korea
(Received February 6, 2011; revision received February 25, 2011)

ABSTRACT: This study examines the influences of correlated color temperature and illuminance on visual perception and temporary mood sensation in a small office. Field measurements and surveys were conducted in a full-scale mock-up model. Twenty subjects participated in the survey under six lighting conditions formed by three color temperature and two illuminance levels. Results indicate that 4000 K color temperature was effective to mitigate glare sensation from light source. Lamps with low color temperature such as 2700 K was not recommended for office lighting since they are likely to caused glare and visual discomfort. Preferred color temperature was 4000 K and 6500 K for 750 lx and 500 lx target illuminance respectively. The increase of illuminance was not an effective contributor to improve mood perception. The illuminance should be lower than 500 lx to achieve good mood, but the illuminance level in office space should be considered with visual performance simultaneously. This study suggests that fluorescent lighting fixtures with 4000 K lamps would be usefully used for office lighting since they formed friendly conditions for better visual performance.

Key words: Color temperature(색온도), Illuminance(조도), Office lighting(사무실 조명), Visual perception(시각적 감지), Visual comfort(시각적 편안감), Mood(무드)

1. 서 론

사무실 공간에서 업무활동에 필요한 기준조도를 충족하고 조도분포를 균일(uniformity)하게 유지하기 위하여 조명환경은 형광램프를 사용하는 조명기에 의하여 주로 유지된다. 형광조명기기는 면광원

(area light source)으로 작용되어 적은 개수로 넓은 면적을 투사할 수 있으며, 소비되는 전력량에 비교하여 많은 양의 빛이 발생되므로 일반적인 업무활동이 이루어지는 사무실공간에 효율적으로 적용된다. 루버 또는 렌즈등과 같은 장치가 함께 결합된 형광조명기기에서는 시각적인 만족도확률(VCP: Visual Comfort Probability)이 높게 유지되고 있다.^(1,2)

형광램프가 적용된 조명기기에서 발산되는 빛의 분포는 조명기기의 디자인 형태에 따라 영향을 받으며 실내로 투사되어 실내조도 분포에 영향을 준

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-2123-3142; fax: +82-2-313-3139
E-mail address: sooyoung@yonsei.ac.kr

다. 이는 정량적인(quantitative) 값으로 나타나며 조도기준과 비교되어 조명환경을 평가하는 하나의 지표로 사용된다. 수치적인 조도가 유지되어 기준이 만족되는 경우에도, 조명기기에서 발산되는 빛의 특성은 사용되는 램프의 특성에 따라 변화하며, 이는 정성적(qualitative)인 측면에 영향을 주는 인자로 작용한다. 특히, 램프에서 발산되는 스펙트럼의 구성에 따라 실내조명환경은 각기 다른 색으로 조성된다. 이러한 경우, 재실자가 인지하는 시각적 및 심미적 감지효과는 다르게 나타나며, 이는 시각적인 편안감 및 일시적인 무드변화에 영향을 줄 수 있다.⁽³⁾

물리적인 조도 기준 이외의 정성적인 인자가 반영된 효과적인 조명환경의 유지를 위하여, 조명기에 적용된 램프에서 발생하는 스펙트럼의 변화에 따른 조명환경의 변화가 재실자의 시각적인 반응에 미치는 영향은 고려되어야 한다. 따라서, 본 연구는 형광램프의 스펙트럼 구성변화에 따른 색온도(color temperature) 조건에서 재실자의 시각적인 반응이 분석되어 효과적인 조명환경 유지를 위한 기초자료를 제공한다. 이를 위하여 목표조도 및 램프의 색온도 조건이 설정된 실제크기의 실험실(full-scale mock-up model)에서 현장실험 및 설문조사가 진행되었다.

2. 연구 방법

2.1 실험대상 공간 및 조명조건

현장실험 및 시각적인 감지에 대한 설문은 서울에 위치한 OO대학교 건물의 옥상에 설치된 실제크기의 실험실에서 이루어 졌다. 실험실 공간은 Fig. 1에 나타나 있으며, 크기는 폭 4.9 m, 깊이 2.8 m, 높이 2.65 m이다. 두 개의 창이 설치되어 있는 실험실 전면(facade)은 정북방향에서 서측방향으로 22° 회전되어 위치하였다. 이러한 전면에 동일한 크기의 창문(폭 : 1.15 m, 높이 : 1.5 m)이 두 개 설치되어 실험실 전면에서 유리부분이 차지하는 비율은 13.2%이었다. 또한 남서측벽면에 폭 0.9 m, 높이 0.9 m의 창문이 설치되었다. 각 슬랫의 간격과 폭이 2.54 cm인 블라인드(Venetian blind) 창문의 내면에 설치되어 외부에서 실내로 유입되는 주광을 차단하였다.

실험실 공간의 벽면은 옅은 연두색으로 마감되었으며, 바닥에는 사무실 공간에 적용되는 옅은 베이지색 계열의 바닥용 마감재가 설치되었다. 천정부

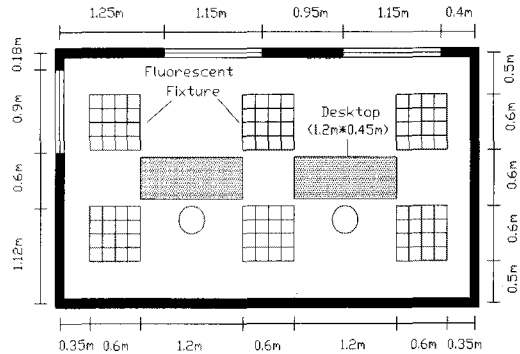


Fig. 1 Plan of full-scale mock-up model.

분에는 사무실 건물에 일반적으로 적용되는 가로 0.6 m, 세로 0.6 m의 규격화된 흰색계열의 텍스가 설치되어 매립형 직접 조명방식의 조명기가 설치되었다. 실험실내에 책상 2개(가로 1.2 m, 세로 0.45 m, 높이 0.75 m)가 설치되어 주어진 업무(task)를 실시할 수 있는 조건이 조성되었다. 책상의 중심은 4개의 조명기가 설치된 곳의 중심에 위치하였다.

실의 천정에 가로 0.6 m, 세로 0.6 m 크기인 매립형 형광조명기가 2행 3열로 총 6개 설치되었다. 각 조명기에 4개의 직선형 형광램프가 설치되었으며 각 램프당 사용되는 소비전력은 18 W이었다. 형광램프가 설치된 부분의 직하부에 깊이 7.5 cm인 루버(parabolic louver)가 4행 4열(4 by 4)로 설치되어 16개의 셀(cell)을 구성하였다. 각 셀의 크기는 가로 0.15 m, 세로 0.15 m이며, 이는 램프로부터 발산되는 빛의 분포를 조절하였다.

이러한 조명기에 의하여 책상면의 조도는 500 lx 및 750 lx로 유지되어 사무실 공간에 적용되는 국제적인 기준을 충족하였다.⁽⁴⁾ 기준을 충족하는 두 가지 조도 조건에서 램프의 색온도는 2700 K, 4000 K, 및 6500 K의 3조건으로 설정되었다. 색온도는 'O' 회사에서 생산된 램프의 자료에 근거한다.⁽⁵⁾ 두 가지 조도와 세 가지 색온도의 조합으로 형성된 조명조건은 6가지이며, 이는 500 lx 조도에서 3000K, 4000 K, 6500 K 및 750 lx 조도에서 3000 K, 4000 K, 6500 K 조건이다.

2.2 설문항목 및 피험자 사전교육

설문 항목은 실험 피험자에 대한 일반적인 사항, 색온도 및 조도조건이 변화되었을 경우 감지한 조명조건에 대한 시각적인 만족도에 대한 부분 및 일

시적인 무드(mood)변화에 대한 3가지 부분으로 구성되었다. 일반적인 설문사항에는 피험자에 대한 성별, 나이, 개인의 시각적 특성 등에 관한 사항, 눈부심에 대한 민감도 정도, 조명조건에 대한 선호도, 조명에서 발생하는 색 및 밝기에 대한 선호도등이 포함되었다.

색온도 및 조도변화시 조명조건에 대한 평가항목에는 눈부심 감지정도, 밝기에 대한 평가, 램프의 색상에 대한 선호도, 시각적 만족도, 빛에 의한 시각적 자극정도, 실내공간에 대한 일시적인 무드변화 등에 대하여 18항목의 설문이 포함되었다. 사용된 설문항목 중 본 연구에서 분석된 설문내용은 Table 1,

Table 1 Questionnaire on visual sensation

No	Content
Q1	Do you feel glare from the light sources?
Q2	Is the light bright for you to do tasks?
Q3	Are you satisfied with the color of light?
Q4	Do you feel visually comfortable?
Q5	Does the light conditions make you see the letter clearly?
Q6	Does the light bother your tasks?

Table 2 Questionnaire on thresholds and mood

No	Content
M1	Does the light make you like the space?
M2	Does the light make you feel pleasant?
M3	Does the light make you feel relax?
M4	Does the light make you feel attraction?
M5	Do you feel no eye fatigue?
M6	Do you feel no visual distraction?
M7	It is not difficult to see a letter.
M8	Do you feel no visual stimulation?

Table 3 Voting scale

Answer	Voting Scale
Strongly agree	+3
Moderately agree	+2
Slightly agree	+1
Neither agree nor disagree	0
Slightly disagree	-1
Moderately disagree	-2
Strongly disagree	-3

Table 2에 나타나 있다. 피험자는 Table 3에 나타난 7단계 척도를 이용하여 설문항목에 대하여 응답하였다.

실험에 참가한 피험자는 사무실에서 진행되는 서류작업 또는 개인 컴퓨터를 이용한 문서작성 작업 등에 대한 경험이 있는 20대 남녀 대학생 20명(여자 11명, 남자 9명)으로 구성되었다. 이들의 나이 범위는 21~26세이며, 평균 나이는 25세이었다. 피험자들은 책상에서 서류 및 컴퓨터와 관련된 업무를 일일 평균 각각 3.2시간 및 4시간 수행하는 것으로 분석되어 사무작업에 익숙한 것으로 나타났다.

피험자 20명 중 6명은 안경을 착용하였으며, 5명은 콘택트렌즈(contact lens)를 착용하여 교정시력은 정상이었다. 나머지 9명의 피험자는 시력교정 기구를 사용하지 않았다. 피험자의 건강상태에 대한 설문조사가 실험 전에 진행되어 이들은 건강한 상태에서 실험에 참가하였다.

피험자들은 실험이 진행되는 장소에 도착 후, 준비실에서 실험진행에 대한 사전교육을 15분 동안 받았다. 사전교육에는 용어설명, 설문항목에 대한 설명, 설문 응답방법 및 척도에 대한 설명등이 포함되었다. 교육이 진행되는 동안 피험자의 눈은 실내의 조명환경에 충분히 순응하였으며, 순응시간 부족으로 인한 실험데이터의 잠재적인 오차는 예방되었다.

사전교육이 실시된 후 피험자는 두 명씩 실험실로 입장하여 주어진 자리에 착석 후 일반적인 문서 작업용 A4지에 출력된 문장을 읽고 ‘은’과 ‘는’ 또는 ‘을’과 ‘를’을 식별하여 표시하는 업무를 수행하였다. 문장은 MS Word 프로그램에 의하여 사전에 작성되었다. 글자는 고딕체 크기(font) 9.5이며, 각 문장간의 줄 간격은 1(single spacing)로 이루어졌다. 피험자는 읽기 및 식별 업무를 30분간 진행한 후 설문에 응답하였다. 각 피험자는 설정된 6가지의 조도 및 색온도의 모든 경우에 대하여 실험에 참여하였다.

2.3 데이터 모니터링

실험공간에 대한 조도분포를 파악하기 위하여 책상면 및 각 벽면에서 조도분포가 측정되었다. 측정은 M 회사에서 생산된 이동식 조도계를 이용하여 실시되었으며, 이 조도계는 CIE에서 제안하는 파장범위를 6% 이내 오차범위로 측정한다.⁽⁶⁾ 피험자가 착석 후 이들의 시야에 포함될 수 있는 범위인 북측, 동측 및 서측의 벽면의 지점에 대하여 조도를 측정하였다.

책상면과 동일한 높이와 그 높이를 기준으로 책상면에서 0.6 m 상부지점 및 1.2 m 상부지점에서의 수평선과 천정면에 설치된 텍스의 격자선을 (가로 0.6 m, 세로 0.6 m) 각 벽면으로 연장하였을 경우 교차되는 모든 지점에 대하여 조도의 측정이 이루어졌다. 동측 및 서측벽면에서 12지점 (가로 4행, 세로 3열), 북측벽면에서 24지점(가로 8행, 세로 3열)에 대하여 측정이 실시되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대상공간의 조명환경 및 피험자 특성

실내공간에서 책상면의 목표조도가 유지되는 경우, 재실자의 시각적인 감지 범위에 포함되는 실내벽면에서 조도의 변화분포는 시각적인 반응에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 고려된 책상면의 조도가 500 lx 및 750 lx로 유지되는 조건의 경우 각 벽면에서 조도변화는 Fig. 2~Fig. 3에 나타나 있다. 그래프에서 N, W, E는 피험자가 실험실에 앉아서 주어진 업무를 수행하는 경우에서 시야의 전면이 북측, 좌우측이 각각 서측 및 동측임을 나타낸다.

전반적으로 책상면과 동일한 높이에서 벽면의 조도가 가장 낮았으며 책상에서 높아질수록 조도가 높게 나타났다. 패러볼릭(parabolic) 루버가 설치된 직접조명방식이 적용되어 조명기로부터 투사되는 빛의 분포는 책상에서 거리가 높을수록 강하게 나타나, 벽면의 조도가 높은 값으로 측정되었다. 피험자가 책상에서 주어진 업무를 수행하는 조건에서 시선이 벽으로 향하는 경우, 벽면의 조도는 순간적인 시각적 감지에 영향을 줄 수 있다.

책상면 조도가 500 lx로 유지되는 경우, 피험자가 위치한 곳에서 전면 및 좌, 우측면에서 조도분포는 347 lx~725 lx로 변화하였다. 동측의 경우 평균 348 lx~577 lx로 변화하였으며, 서측의 경우 평균 340 lx~563 lx의 범위내로 변화하였다. 피험자의 시야에 가장 영향을 미치는 북측벽면의 조도는 책상위 1.2 m 선에서 최저 442 lx, 최고 715 lx로 변화되어 책상면 기준 조도의 88.4% 및 143%의 범위로 나타났다. 또한 책상면에서 0.6 m 되는 선에서 최저 347 lx 최고 523 lx로 나타나 책상면상부 1.6 m 선에 비교하여 각각 19% 및 38.4% 낮은 것으로 나타났다.

이러한 범위의 값은 실험에 사용된 업무수행 중 피험자의 시야가 이동되어 벽면을 바라보는 경우가

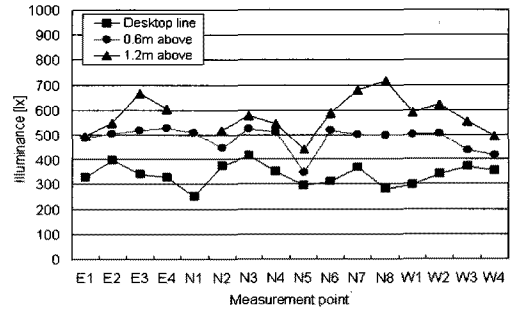


Fig. 2 Illuminance on wall(500 lx condition).

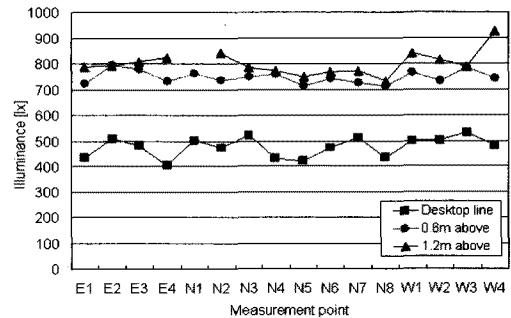


Fig. 3 Illuminance on wall(750 lx condition).

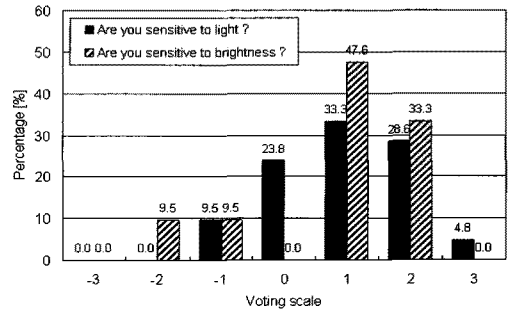


Fig. 4 Subjects' sensitivity to light.

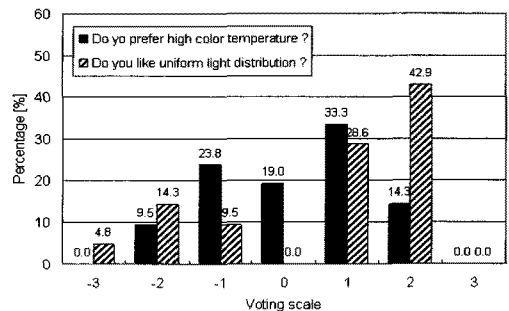


Fig. 5 Subjects' preference to light.

발생하여도 시각적인 순응(adaptation) 문제점은 없는 범위로 평가된다. 이는 조도범위가 주간시야조건(photoptic vision) 범위내에 존재하여 시각적인 업무수행(visual performance)을 하는데 있어 조도변화가 시각적인 감지에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.⁽⁴⁾

책상면 조도가 750 lx로 증가되어 조정되는 경우, 동측벽면의 조도는 평균 455 lx~802 lx로 변화하였으며, 서측벽면의 경우 평균 503 lx~841 lx 범위내에서 변화하였다. 북측벽면의 경우, 책상위 1.2 m 선에서 조도는 730 lx~839 lx, 책상위 0.6 m 선에서 조도는 757 lx~711 lx로 나타나 책상면의 목표조도와 유사한 범위에 포함되었다. 이러한 경우에도 조도차이에 의한 순응과정으로 인하여 발생하는 시각적인 문제는 없는 조건으로 분석되었다.

피험자들의 조명조건에 대한 민감도 및 선호도에 대한 일반적인 특성은 Fig. 4, Fig. 5에 나타나 있다. 응답자중 66.7%는 빛의 변화에 대하여 민감하게 반응하는 것으로 분석되었으며, 9.5%는 민감하게 반응하지 않는 것으로 나타났다. 민감도와 상관없다는 중성적인 반응도 23.8%로 나타났다. 빛의 밝기를 나타내는 조도에 대하여 70.9%의 피험자가 민감하게 반응한다고 응답하였으며, 19%는 민감하지 않은 것으로 나타났다.

빛에서 나타나는 색에 대하여 본 연구의 실험에 참가한 피험자의 62.4%는 램프의 색온도가 낮은 붉은계열 보다 색온도가 높은 푸른 계열색을 선호하는 것으로 나타났다. 33.3%는 붉은 색 계열의 빛을 선호하는 것으로 나타났으며, 중성적인 응답을 한 피험자는 19%이었다. 71.5%의 피험자는 실내에서 균등한 조도분포(uniform illuminance distribution)를 선호하였으나, 피험자중 28.6%는 균등한 조도분포를 선호하지 않았다.

실험에 참여한 피험자들은 빛의 변화에 대하여 전반적으로 민감하게 반응하는 집단으로 분류된다. 또한, 이들을 시각적으로 만족시키기 위하여 붉은색 계열보다는 색온도가 높은 푸른색 계열의 램프가 적용되어 어두운 조건을 형성하는 조도를 조성하지 않아야 할 것으로 판단된다.

3.2 시각적 만족도 변화

조명기기에 적용된 램프의 색온도에 따른 시각적인 반응 변화는 목표조도가 500 lx 및 750 lx로 유

지되는 조건에서 분석되어 비교되었다. 이러한 조건에서 램프의 색온도 변화에 따른 피험자의 시각적인 반응(visual perception) 변화 분포는 Fig. 6~Fig. 9에 나타나 있다.

램프에서 투사되는 색의 변화에 따른 눈부심 정도(Q1)는 색온도가 높아짐에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 책상면 목표조도 500 lx 조건에서 색온도가 2700 K의 경우 눈부심에 대한 감지는 없는 것으로 나타났으며(Q1, M = -0.85, SD = 0.32), 색온도가 6500 K로 증가함에 따라 눈부심 정도는 더욱 감소하였다(Q1, M = -1.65, SD = 0.29). 책상면 조도가 750 lx로 상향 조정됨에 따라 눈부심 정도는 증가하는 경향으로 나타났다. 색온도 2700 K 조건에서 눈부심은 발생할 수 있는 것으로 나타났(Q1, M = 0.85, SD = 0.23). 그러나 색온도가 4000 K 및 6500 K로 증가함에 따라 눈부심에 대한 감지는 감소되어 눈부심은 감지되지 않는 것으로 분석되었다(Q1, M = -0.20, SD = 0.29).

이는 실제공간의 조도값이 조명 디자인에서 제안되고 있는 최저 조도를 초과하는 조건에서 눈부심 정도를 감소하기 위하여 색온도가 높은 램프를 사용하면 효과적인 것을 의미한다. 사무실 조건에 필요한 목표조도 범위의 중간범위인 750 lx를 유지하는 경우, 가시광선 영역의 스펙트럼 중 파장이 긴 범위의 스펙트럼이 주류로 구성되는 색온도가 낮은 붉은 색 계열의 램프는 적당하지 않은 것으로 판단된다.

실내조명환경이 밝게 감지되는 정도(Q2)는 동일 조도 조건에서 램프이 색온도 4000 K의 경우 가장 낮게 나타났다. 500 lx 조건에서 4000 K 램프는 밝은 조건을 형성하지 않는 것으로 평가되었다(Q2, M = -0.60, SD = 0.17). 750 lx로 조도가 증가됨에 따라 응답척도상의 값은 1.1만큼 증가하였다(Q2, M = 0.20, SD = 0.16).

이는 4000K 램프를 사용하는 경우 500 lx 보다는 상향조정된 목표조도인 750 lx로 유지하는 것이 효과적임을 의미한다. 반면 색온도 2700 K, 6500 K의 램프를 활용하는 경우, 책상면 조도 750 lx 밝은 느낌을 주는 것으로 분석되었다. 이러한 두 종류의 램프를 사용하면 750 lx보다 낮은 범위에서 목표조도를 유지하여도 채실자에게 밝은 감각을 줄 수 있다는 것을 의미한다.

램프에서 발생하는 색에 대한 만족도(Q3)는 전반적으로 높지 않은 것으로 나타났다. 500 lx 조건에서 만족하는 경우를 제외하고(Q3, M = 1.20, SD = 0.3)

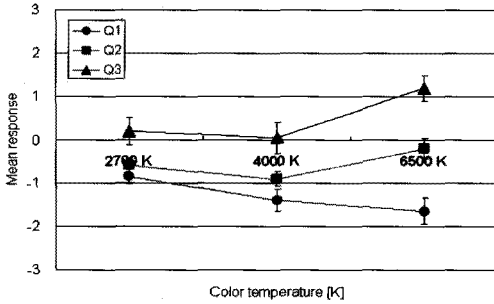


Fig. 6 Variation of visual perception(500 lx).

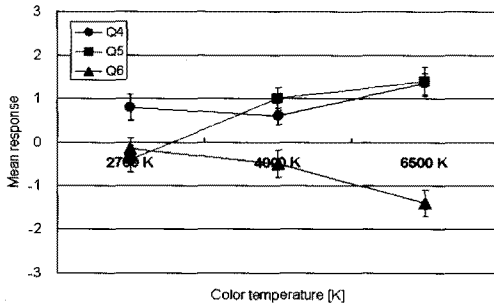


Fig. 7 Variation of visual perception(500 lx).

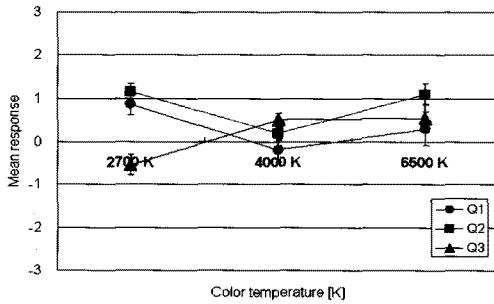


Fig. 8 Variation of visual perception(750 lx).

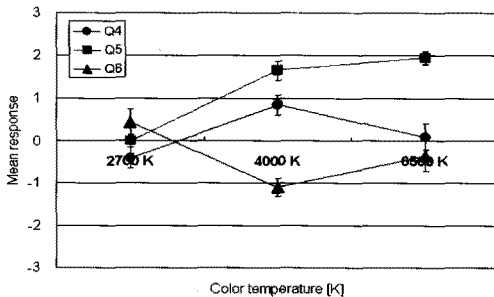


Fig. 9 Variation of visual perception(750 lx).

모든 조도조건에서 피험자의 응답은 만족도 불만족도 하지 않는 중성적인 범위에 속하는 것으로 분석되었다(Q3, M = -0.55, SD = 0.23~M = 0.55, SD = 0.32). 이는 조도조건이 형성되는 경우 램프에서 발생되는 색에 대한 만족도는 상대적으로 고려되는 정도가 약한 것임을 의미한다.

본 연구에서 고려된 두 가지 조도조건에서 시각적인 편안함(Q4)은 색온도가 변화함에 따라 변화되는 것으로 나타났다. 500 lx가 유지되는 조건에서 시각적인 만족도는 750 lx 조건에서 보다 높게 나타났다. 재실자의 시각적인 편안함을 효과적으로 유지하는 조명환경을 조성하기 위하여 500 lx 목표조도 조건에서는 6500 K 램프를 적용하고(Q4, M = 1.35, SD = 0.24), 750 lx 조건에서는 4000 K 램프를 조명기에 설치하는 것이 타당할 것으로 분석되었다(Q4, M = 0.85, SD = 0.23).

읽기 업무를 수행하는데 있어 램프의 색온도가 증가할수록 서류에 출력된 글자가 효과적으로 인식(Q5)되는 것으로 나타났다. 색온도가 2700 K에서 6500 K로 증가함에 따라 500 lx 조건에서는 응답평균이 1만큼 증가하였으며(Q5, M = 1.4, SD = 0.33) 750 lx 조건에서는 1.95만큼 증가하였다(Q5, M = 1.95, SD = 0.15). 색온도 4000 K 조건에서도 업무에 필요한 글자를 읽기에는 효과적인 것으로 나타났지만, 2700 K 색온도 조건은 사무업무에 수반되는 글자를 효과적으로 인식하는데 필요한 조명환경을 조성하는데 권장될 수 없는 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 읽기 업무수행에 대한 응답과 직접적인 연관성을 나타낸다. 500 lx 2700 K 조건에서 시각적인 방해감(visual annoyance)은 중성적인 범위내로 나타났지만(Q6, M = -0.15, SD = 0.25), 색온도가 증가할수록 이는 감소하여 6500 K 조건에서 가장 적은 것으로 분석되었다(Q6, M = -1.4, SD = 0.29). 책상면 조도가 750 lx로 증가함에 따라 2700 K 색온도 조건에 의하여 형성되는 시각적인 방해감은 증가하였다(Q6, M = 0.45, SD = 0.3). 따라서 사무업무에 필요한 조명환경을 유지하기 위하여 500 lx 및 750 lx 조건에서 6500 K 및 4000 K의 램프가 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 시각적 자극 인자 및 무드(mood) 변화

조명환경을 구성하는 요소의 하나인 램프의 색온도가 피험자의 일시적인 무드 시각적인 자극요인

(visual thresholds)에 대한 분석이 이루어 졌다. 색 온도에 따른 각각의 시각적 반응 변화분포는 Fig. 10, Fig. 11에 나타나 있다. 일시적인 무드의 변화를 분석하기 위하여 사용된 4개의 설문문항(M1-M4)의 평균값은 응답척도 상에서 최저 -0.55, 최고 1.15 값을 보이며 변화하였다.

4개의 문항에 대한 응답은 500 lx 조건에서 2700 K 및 6500K 램프가 적용되었을 경우 긍정적으로 나타났다. 피험자는 6500 K 램프가 적용되었을 경우 조성되는 공간의 분위기를 전반적으로 선호하였다(M1, M = 1.15. SD = 0.27), (M2, M = 0.85. SD = 0.28). 이는 피험자의 일반적인 특성분석에 나타난 것과 같이, 피험자들이 색온도가 높은 계열의 램프를 선호하여 나타난 결과로 판단된다.

공간에서 감지되는 편안감(relax)은 색온도가 낮은 경우 효과적인 것으로 나타났다. 2700 K의 경우 500 lx 조건에서 피험자에게 편안감을 제공한 것으로 분석되었다(M3, M = 0.95. SD = 0.29). 6500 K 조건에서도 공간에 대한 편안감은 적절한 것으로 나타났다(M3, M = 0.85. SD = 0.33), 공간에 대한 매력적인 느낌(attraction, M4)이 2700 K 조건에서 양호하게 나타나 전반적인 편안감은 2700 K 조건에서 더욱 효과적인 것으로 판단된다.

조도가 750 lx로 증가함에 따라 일시적인 무드 변화는 색온도에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 4000 K의 한 가지 경우를 제외하고(M1, M = 0.90. SD = 0.25), 응답평균이 최소 -0.55에서 최대 0.55 사이의 범위에 있어, 조도의 증가가 무드에는 긍정적인 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 따라서 일시적인 무드감지를 향상하기 위하여 조도는 500 lx를 초과하여 유지되지 않아야 할 것으로 판단된다. 그러나 사무실의 경우 시각적인 업무수행(visual performance)라는 변수가 재실자의 일시적인 무드감지와 동시에 존재하므로, 사무실 조명설계를 하는 경우 이에 대한 고려가 동시에 이루어져 사무실 용도에 맞는 우선 순위가 결정되어야 한다.

동일한 조도조건에서 램프의 색온도 변화에 따른 시각적인 자극인자(M5-M8)에 대한 반응의 변화는 Fig. 12, Fig. 13에 나타나 있다. 모든 색온도 조건에서 시각적인 자극이 강하다는 부정적인 응답이 발생되지 않았지만, 색온도가 높은 조건에서 받는 시각적인 자극정도는 경감하는 것으로 분석되었다.

눈의 피로도는 500 lx, 2700 K 조건에서 발생하지 않는 것으로 나타났으나(M5, M = 0.30. SD =

0.31), 조도가 750 lx로 증가함에 따라 피로감이 약하게 발생하기 시작한 것으로 분석되었다(M5, M = -0.45. SD = 0.37). 눈의 피로가 발생하는 경우는 조도의 상승에 영향을 받는다. 그러나 조도가 높지 않게 감지된 500 lx 조건에서 램프의 색온도가 증가함에 따라 눈의 피로도인자에 대한 느낌은 응답 척도상에서 1.52 만큼 감소되는 것으로 나타나(M5, M = 1.55. SD = 0.34), 사무업무가 이루어지는 공간에서 눈의 피로도를 낮추기 위하여 색온도가 낮은 계열의 램프는 적용하지 않는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

색온도 변화에 따라 시각적인 산란감(visual distraction, M6)은 발생하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 색온도가 낮은 조건 보다는 높은 조건에서 산란감이 적게 감지되는 것으로 분석되었다. 색온도가 2700 K에서 6500 K로 증가하면, 시각적인 산란감에 대한 반응은 500 lx 조건에서는 응답척도상에서 1.4 감소하였고(M6, M = 1.20. SD = 0.31), 750 lx 조건에서는 응답척도상에서 1.15 경감하는 것으로 나타났다(M6, M = 0.95. SD = 0.25). 이는 사무업무에 관련된 시각적인 업무수행(visual performance)이 필요한 사무실 공간에서 색온도가 높은 조건이 효과적으로 작용함을 의미한다.

색온도가 낮은 경우에 비교하여 색온도가 높은 경우 종이에 출력된 글자를 인지하는데 효과적인 것으로 분석되었다. 500 lx, 2700K 조건에서 글자 인지에 대한 어려움은 없는 것으로 나타났지만(M7, M = -0.05. SD = 0.29), 색온도가 6500 K로 증가함에 따라 글자를 인지하는데 더욱 효과적인 것으로 분석되었다(M7, M = 1.05. SD = 0.37). 이는 동일한 조도가 유지되는 경우, 글자에 대한 효과적인 시각적 인지를 향상하기 위하여 색온도가 높은 램프를 적용하여야 함을 의미한다.

조도가 750 lx로 증가함에 따라 글자 인지에 대한 어려움은 더욱 경감되었다. 색온도가 낮은 2700 K 조건의 경우 조도증가에도 불구하고 응답평균값은 응답척도상 0.35 경감되었다(M7, M = 0.30. SD = 0.23). 그러나 색온도가 높은 6500 K 조건의 경우 응답척도상의 증가폭은 0.95로 더욱 넓게 나타났다(M7, M = 2.00. SD = 0.22). 이는 색온도가 낮은 램프를 적용하는 경우 글자인지 효과를 높이기 위하여 조도상승폭을 높게 결정하여야 함을 의미한다. 그러나 조도가 상승되는 경우 이에 따른 눈부심(glare)이 감지되어 시각적인 불쾌감이 발생할 수 있다.

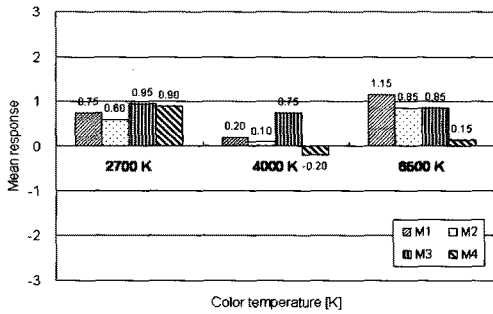


Fig. 10 Variation of mood(500 lx).

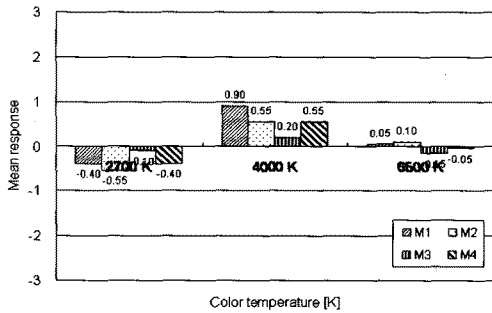


Fig. 11 Variation of mood(750 lx).

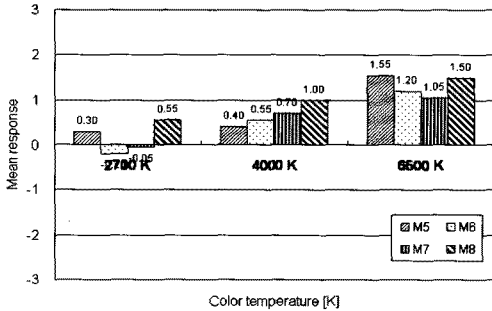


Fig. 12 Variation of visual threshold(500 lx).

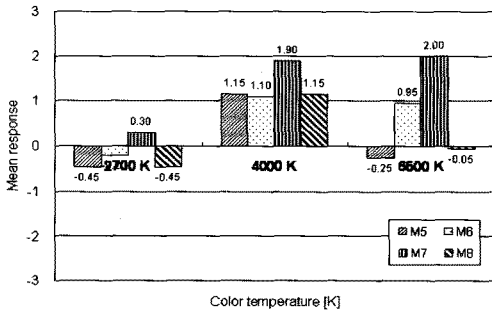


Fig. 13 Variation of visual threshold(750 lx).

반면, 색온도가 높은 램프의 경우, 조도증가 범위를 넓게 결정하지 않아도 글자에 대한 인지효과를 효과적으로 증가할 수 있음을 의미한다. 따라서 사무업무가 진행되는 공간에서는 색온도가 낮은 램프는 적절하지 않으며, 색온도범위가 4000 K 이상 되는 램프를 적용함이 타당할 것으로 판단된다.

시각적인 자극(visual stimulation, M8)이 감지되는 정도는 500 lx 조건에서 색온도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 2700K 조건에서는 중성적인 응답이 나타났으나(M8, M = 0.55. SD = 0.29), 4000 K 이상 조건에서 시각적인 자극은 효과적으로 감소되는 것으로 분석되었다(M8, M = 1.50. SD = 0.21). 조도가 750 lx로 증가함에 따라 2700 K 조건에서 조명으로 인한 시각적인 자극은 약하게 감지된 것으로 나타났다(M8, M = -0.45. SD = 0.31). 색온도가 4000 K로 증가함에 따라 시각적인 자극 감지 정도는 매우 경감되는 것으로 나타났다(M8, M = 1.15. SD = 0.26). 한편, 6500 K로 유지되는 경우 시각적인 자극정도는 중성적인 범위이내인 것으로 분석되었다.

이러한 분석결과는 글자를 인지하기 위하여 조도를 상향조정 하는 경우 4000 K 이하의 낮은 색온도를 사용하는 조명조건에서 시각적인 자극이 발생할 수 있음을 의미한다. 따라서 낮은 색온도를 지닌 램프는 사무업무와 같은 시각적인 업무수행(visual performance)이 수반되는 공간에는 적절하지 않은 것으로 판단된다. 이와 같은 공간에는 4000 K 이상의 색온도를 지닌 형광램프가 적용되어야 효과적인 조명환경이 유지될 것으로 판단된다.

3.4 시각적 만족도 예측

조명환경이 각기 다른 색온도를 지닌 램프가 적용된 조명기기에 의하여 유지되는 경우, 색온도 변화에 따른 시각적인 만족도가 다중선형 회귀분석(multiple linear regression)을 사용하여 예측되었다. 피험자가 감지한 시각적인 편안감(visual comfort, Q4)이 종속변수로 설정되었으며, 실험에 사용된 설문조사 내용중 시각적 자극인자(visual thresholds)로 작용할 수 있는 응답이 독립변수로 설정되어 예측식에 고려되었다. 고려된 변수는 적정 신뢰도수준 (Sig. = 0.05)에서 검증되어 이를 만족하는 변수만이 최종 예측식에 포함되었다.

램프의 색온도 조건별 시각적 만족도에 대한 예

측된 식은 Table 4~Table 6에 나타나 있다. 각 예측식에 대한 결정계수(r^2)는 0.4391~0.7897 범위에서 변화하였다. 이는 각 색온도 조건에서 고려된 독립변수가 적용되어 시각적인 만족도를 예측하는 경우, 예측에 대한 변화량(error variation)이 43.91%~78.97%감소하는 것을 의미한다. 예측모델식은 신뢰도 수준 0.01이하에 유효한 것으로 검증되어 유효한 것으로 분석되었다.⁽⁷⁾

고려된 모든 색온도 조건에서 시각적인 편안함에 공통적으로 영향을 미치는 인자는 눈부심 현상의 감지정도(Q1)로 분석되었다. 색온도 2700 K 또는 6500 K 조건의 경우 눈부심 감지정도가 시각적인 만족도에 미치는 영향은 큰 것으로 나타났으나, 색온도 4000 K 조건에서 눈부심 감지정도의 영향이 가장 낮게 나타났다. 이는 사무실 조건에서 눈부심으로 인하여 발생하는 시각적인 불만족도를 감소하기 위하여 4000 K 정도의 색온도가 적절함을 의미한다.

각 조건에서 조명에 의한 색의 변화(Q3)가 시각적 편안함에 미치는 영향도 색온도 2700 K 또는 6500 K 조건에서 중요한 영향인자로 분석되었으나, 4000 K 조건에서는 중요하지 않은 인자로 결정되었다. 이는 색온도가 4000 K보다 낮거나 높은 경우 붉은색 계열과 푸른색 계열의 스펙트럼이 강하게 방출되어 피험자의 색에 대한 시각적인 감각반응을 전반적으로 지배하여 발생된 것으로 판단된다. 따라서, 조명환경을 조성하는 색의 변화로 인하여 시각적인 불만족도의 변화를 최소화하기 위하여 색온도가 높거나 낮은 램프는 적용되지 않아야 할 것으로 판단된다.

시각적인 산란감(M6) 및 자극(M8)에 대한 감지 정도는 2700 K 및 6500 K 조건에서 시각적인 편안함에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 램프에서 방출되는 스펙트럼에 의하여 조성되는 조명환경의 전체적인 색이 강렬한 경우 피험자의 시각적인 감각에 영향을 받아 발생된 것으로 판단된다. 색온도 4000 K 조건이 조성되는 경우, 시각적 자극 및 산란감 보다는 글자를 명확하게 볼 수 있는 정도(Q5)에 대한 반응이 시각적인 편안감에 영향을 미친 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서 고려된 3가지 색온도 조건 중, 사무실 공간에서 시각적인 편안감을 향상하기 위하여 효과적으로 적용될 수 있는 색온도 조건은 4000 K인 것으로 판단된다.

Table 4 Relationship between visual comfort and visual thresholds(2700 K)

Variable	U.C		t	Sig.
	B	S.E		
Constant	0.266	0.15	1.79	0.08
Q1	-0.389	0.10	-3.74	0.00
Q3	0.463	0.16	2.84	0.01
M8	0.301	0.11	2.76	0.01
ANOVA	$r^2 = 0.5901$, F(3, 36) = 17.27, Sig. = 0.00			

Table 5 Relationship between visual comfort and visual thresholds(4000 K)

Variable	U.C		t	Sig.
	B	S.E		
Constant	-0.045	0.19	-0.24	0.81
Q1	-0.190	0.08	-2.50	0.02
Q5	0.466	0.11	4.37	0.00
ANOVA	$r^2 = 0.4391$, F(2, 37) = 14.38, Sig. = 0.00			

Table 6 Relationship between visual comfort and visual thresholds(6500 K)

Variable	U.C		t	Sig.
	B	S.E		
Constant	-0.145	0.14	-1.03	0.31
Q1	-0.407	0.07	-6.15	0.00
Q3	0.250	0.10	2.55	0.02
M6	0.351	0.11	3.29	0.00
ANOVA	$r^2 = 0.7897$, F(3, 36) = 45.04 Sig. = 0.00			

4. 결 론

본 연구에서는 소규모 사무실공간을 대상으로 형광램프의 색온도 변화에 의하여 발생하는 시각적인 반응 및 일시적인 무드변화에 대한 분석이 이루어졌다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 실제공간의 조도값이 조명 디자인에서 제안되고 있는 최저 조도인 500 lx를 초과하는 조건에서 눈부심 정도를 감소하기 위하여 색온도 4000 K 이상의 램프를 사용하면 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 경우, 시각적인 자극정도는 경감되며, 사무업무에 수반되는 글자에 대한 시각적 인지가 향상되는

것으로 분석되었다. 사무실 조건에 필요한 목표조도 범위의 중간값인 750 lx로 유지되어 사무업무가 이루어지는 공간에서 색온도가 낮은 붉은색 계열의 램프의 사용은 적절하지 않은 것으로 분석되었다.

2) 조도의 증가가 무드에는 긍정적인 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다. 따라서 일시적인 무드감지를 향상하기 위하여 조도는 500 lx를 초과하여 유지되지 않아야 할 것으로 판단된다. 사무실에는 시각적인 업무(visual performance)라는 변수가 동시에 존재하므로, 사무실 조명설계를 하는 경우 이에 대한 고려가 동시에 이루어져 용도에 맞는 우선 순위가 결정되어야 한다.

3) 색온도가 낮은 램프를 적용하는 경우 글자인지 효과를 높이기 위하여 조도 상승폭이 높게 결정되어야 하는 것으로 분석되었다. 색온도가 높은 램프의 경우, 조도증가 범위를 넓게 결정하지 않아도 글자에 대한 인지효과를 효과적으로 증가되었다. 따라서 낮은 색온도를 지닌 램프는 사무업무와 같은 시각적인 업무(visual performance)가 수반되는 공간에는 적절하지 않은 것으로 판단된다. 이와 같은 공간에는 4000 K 이상의 색온도를 지닌 램프가 적용되어야 효과적인 조명환경이 유지될 것으로 판단된다.

4) 재실자의 시각적인 편안감을 효과적으로 유지하기 위하여 조명기기에 의한 눈부심 현상은 각 색온도 조건에서 공통적으로 최저화 되어야 하는 것으로 분석되었다. 또한, 색온도가 가장 낮거나 높은 두 조건은 시각적인 편안감에 영향을 줄 수 있는 잠재적인 인자를 포함하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 조명환경을 조성하는 색의 변화로 인하여 시각적인 불만족도의 변화를 최소화하기 위하여 이러한 두 가지 조건은 적용되지 않으면 효과적인 것으로 판단된다.

5. 연구의 한계점 및 향후연구

본 연구에서는 사무실 공간을 형성한 실험실 공간에서 제한된 실험조건에서 직접조명 방식으로 조성되는 조명환경에 대한 시각적인 반응의 변화가 분석되었다. 사무실공간에는 다양한 형태의 조명조건이 형성될 수 있으므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 판단된다. 또한, 특정연령대에 있는 20대 대학생을 대상으로 연구가 진행되었으므로 보다 다양한 연령대에 있는 피험자를 대상으로 연구가 진행될 필요성이 있다. 본 연구에서 설정된 조명조건보다 다양한 색온도 및 조도조건에서 추가적인 연구가 진행되면 효과적인 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Lithonia lighting, 2010, Product catalogue.
2. Columbia lighting, 2010, Product catalogue.
3. Kim, S. and Baik, Y., Influence of color temperature of lighting lamps on visual responses in a small office, Journal of Korean Society of Living Environmental System Architectural Research, Vol. 6, pp. 630-638.
4. Rea, M., 2002, IESNA Handbook 9th editions, The Illuminating Engineering Society of North America, USA.
5. Osram lighting, 2010, Product catalogue
6. Konica Minolta, 2008 Illuminance and Luminous meter operation manual.
7. Neter, J., Kutner, M., Nachtsheim, S., and Wasserman, W., 1996, Applied linear statistical models, WBC McGraw-Hill New York.