

상관색온도별 LED 조명의 조광 감소에 따른 재실자의 밝기 변화 인식 및 시각적 불편함에 관한 연구

(Subjective Evaluation of Brightness Perception and Visual Discomfort by Illuminance Reduction for Different CCT LED Lights)

염현주* · 김인태 · 최안섭**

(Hyun-Ju Youm · In-Tea Kim · An-Seop Choi)

Abstract

This study conducted a subjective evaluation of brightness perception and visual discomfort according to dimming speeds and CCTs(Correlated Color Temperatures). Dimming speeds of two different CCT lights(2,700K, 6400K) were set to 1.7%/s, 3.3%/s, 5.0%/s, 6.7%/s, and 10.0%/s respectively. Subjects checked the time when they perceived the change of the brightness and visual discomfort. As a result, when dimming speeds were 1.7%/s, 3.3%/s, 5.0%/s, 6.7%/s, more than half of subjects responded the change of the brightness in 55.0~45.0% dimming ratios, and felt the visual discomfort in 35~25% dimming ratios. When the brightness was changed, dimming level responded to the brightness perception of high CCT(6,400K) was higher about 8.0% then dimming level responded to the brightness perception of low CCT(2,700K). Dimming level responded to the visual discomfort of low CCT(2,700K) was higher about 5.0% then dimming level responded to the visual discomfort of high CCT(6,400K).

Key Words : LED Lighting, Dimming Speed, CCT, Brightness Perception, Visual Discomfort

* 주저자 : 세종대학교 건축공학과 석사과정
** 교신저자 : 세종대학교 건축공학과 교수
* Main author : The master's course, Department of Architectural Engineering, Sejong University
** Corresponding author : Professor, Department of Architectural Engineering, Sejong University
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331
E-mail : aschoi@sejong.ac.kr
접수일자 : 2012년 7월 30일
1차심사 : 2012년 8월 2일
심사완료 : 2012년 9월 7일

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

친환경에 대한 관심과 함께 저에너지 녹색성장의 필요성이 대두되면서, 기존의 형광램프 및 백열전구를 대체할 수 있는 광원에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 대체 광원들 중 LED 램프는 다른 광원에 비해 낮은 소비전력과 긴 수명으로 차세대 조명으로서 각

광 받고 있다[1].

다양한 연구를 통한 LED의 효율향상은 건축조명으로써 적용을 가능하게 하였다. 건축조명으로써 LED 조명은 에너지 효율이 높고, 조광이 편리하며, 밝기와 상관색온도 조절을 통해 다양한 조명환경을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 정량적 밝기만을 제공하던 과거의 조명과는 다르게 사람의 행위 및 공간의 분위기에 따라 조명환경을 변화시킬 수 있게 하였고, 조광을 통해 주간의 과도한 빛을 조절함으로써 에너지 절감을 가능하게 하였다[2].

하지만 급격한 LED 조명의 조광 및 조명환경의 변화는 재실자의 밝기 인식 변화와 색보임의 변화를 유발할 수 있으며, 이러한 영향은 재실자에게 피로감이나 불쾌감을 느끼게 할 수 있다[3].

현재 LED 조명의 조광 및 조명환경에 대한 주관평가는 대부분 LED 조명의 밝기에 대한 인식 및 선호도에 대한 연구이거나, 상관색온도에 대한 공간선호도, 감성반응과 같은 단순한 조명환경에 관한 실험으로 [4-12], 조광 및 조명환경에서 조광을 제어함에 따라 변할 수 있는 조광제어 속도와 광량에 대한 재실자의 밝기 인식과 작업을 수행하는데 있어 느낄 수 있는 불편함에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 상관색온도별로 LED 조명의 밝기를 다양한 속도로 변화시켜 재실자의 밝기 인식과 작업 수행 시 불편함에 대해 주관평가를 수행함으로써, 다양한 상관색온도별 조광속도에 따른 재실자의 밝기 인식과 작업 수행 시 불편함을 정량적으로 분석하여, 재실자의 심리 및 생리 상태가 고려된 적절한 조광제어를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법

밝기 인식 및 조광제어에 대한 주관평가는 실험의 목적과 특성에 따라 적절한 실험방법과 비교방법을 선정해야 한다. 주관평가 관련 실험방법에는 side-by-side test, photo-image test, field test 등이 있으며, 실험에 대한 비교방법으로는 순차비교와 동시비교가 있다[4]. side-by-side test는 주로 상관색온도와 분광분포에 따른 재실자의 단순 밝기 인식 및 선호도 조사

와 같은 주관평가에 주로 사용되고, photo-image test는 다양한 실험장면이나 다수의 피험자를 대상으로 진행하는 주관평가에서 많이 사용되며, field test는 가변성이 존재하는 조명환경에서 재실자의 행위 및 작업 수행에 따른 밝기 인식 및 선호도 조사의 실험방법으로 사용된다. 실험의 비교방법 중 순차비교는 동시비교에 비해 상호 조명의 밝기 영향을 최소화할 수 있어 독립적 객관적 평가가 가능하며, 동시비교는 순차비교에 비해 더 적은 시간이 소요되고, 두 조명환경에 대한 차이를 극대화시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.

side-by-side test와 관련된 주관평가를 보면 Fotios et al.의 논문에서는 기존 선행 주관평가들을 바탕으로 재실자의 밝기 인식에 미치는 분광분포의 영향을 비교하기 위한 실험 방법으로 side-by-side test를 통한 동시비교가 적당하며, 5점 척도법과 7점 척도법과 같은 분류법을 통해 피험자의 객관성을 유지시켜 분석을 수행하여 주관평가를 실시해야 한다고 하였다[5]. 또 다른 Fotios et al.의 논문에서는 side-by-side test를 통한 동시비교를 진행하는데 있어 시각적 편차를 일으키는 요소로 조명의 적용상태, 조광이 되는 방향, 피험자의 선호도 등을 언급함으로써, 동시비교를 수행하는데 있어 양쪽 실험공간의 평형을 맞추는 작업의 필요성에 대해 논하였다[6]. Houser et al.의 논문에서는 형광램프의 분광분포 차이에 의한 재실자의 밝기 인식 및 색보임에 관한 연구를 수행하기 위하여 side-by-side test를 통한 동시비교방법으로 실험을 진행하였고 설문조사 방식을 통한해 분석을 진행하였다[7]. 또 다른 Houser et al.의 논문에서는 휘도비가 클수록 밝게 느껴진다는 S/P ratio이론과 밝기 인식과의 상관관계를 알아보기 위하여 side-by-side test를 통한 동시비교와 field test를 통한 순차비교를 진행하고 두 실험 결과에 대한 분석을 수행함으로써 연구의 타당성을 높였다[8].

photo-image test를 통해 주관평가를 수행한 연구로, Schielke et al.의 논문에서는 다양한 조명환경이 상업공간의 이미지에 어떤 영향을 주는지를 분석하기 위하여, 온라인을 통한 photo-image test를 수행하였고, 비교방법으로는 동시비교방법을 사용하였다[9].

Park et al.의 논문에서는 상관색온도에 따른 재실자의 선호도 및 밝기 인식에 대한 주관평가를 진행하였다. 실험방법은 photo-image test를 통한 동시비교 방법을 사용하여 간접비교를 수행함과 동시에 field test를 통한 순차비교를 통해 실제 조명환경에서의 직접비교를 진행함으로써 연구의 객관성을 높였다[10].

field test를 통해 주관평가를 수행한 연구로, 김수영의 논문에서는 청천공 조건에서 조광제어 시스템 적용시 조도변화에 대한 시각적 만족도를 분석하기 위하여 field test를 통한 순차비교를 진행하였고, 7점 척도법을 사용하여 재실자의 심리를 분석하였다[11]. Akashi et al.의 논문에서는 조도감소에 따른 재실자의 밝기 인식에 관한 주관평가를 수행하기 위하여 field test를 통한 순차비교를 진행하였고, 5점 척도법을 통한 분석을 수행하였다[12].

본 실험은 조광 제어에 따른 공간의 가변성이 존재하며, 가변성이 존재하는 실험 공간에서 피험자가 연속적인 행위를 수행한다는 특성을 가지고 있으므로, 단순한 밝기 인식 및 선호도 조사와 같은 주관평가에 주로 사용되는 side-by-side test나 photo-image test 보다는 가변성이 존재하는 조명환경에서 재실자의 행위 및 작업 수행에 따른 밝기 인식 및 선호도 조사에 사용되는 field test를 통한 순차비교가 적당하다고 판단하였다. 실험에 대한 분석 방법으로 기존 선행연구에서는 5점, 7점 척도법과 같은 분류법을 사용하여 재실자의 심리 측정을 통한 분석을 수행하였으나, 본 논문에서는 재실자의 인식 및 심리에 따른 조광율을 파악하기 위하여 시간을 측정하고 분석하였다.

본 연구에서는 실험공간을 6,400K과 2,700K로 설정하고, 다양한 조광제어 속도를 설정하여, 상관색온도별 조광제어 속도에 따른 재실자의 밝기 변화 인식 및 시각적 불편함을 느끼는 조광율을 알아보았으며, 연구에 대한 방법은 다음 아래와 같다.

- 1) 상관색온도에 의한 밝기 인식의 명확한 차이를 알아 보기 위해 6,400K과 2,700K의 높은 상관색온도와 낮은 상관색온도를 설정하였다.
- 2) 상관색온도별로 조광감소율을 5.0%, 10.0%, 15.0%, 20.0%, 30.0%로 설정하여 조광제어 속도를 변화시키고, 그에 따른 밝기 변화의 인식정도와 작업 수

행 시 불편함에 관한 주관평가를 수행하였다.

3) 피험자는 책을 읽는 작업을 수행하는 동안, 색온도별로 밝기 변화를 인지하였을 때의 시간과 작업 수행 시 불편함을 느꼈을 때의 시간을 기록하였다.

4-a) 조광제어 속도에 따른 밝기 인식 시간에 대한 결과를 비교·분석하였다.

4-b) 조광제어 속도에 따른 시각적 불편함에 대한 결과를 비교·분석하였다.

5-a) 상관색온도에 따른 밝기 인식 시간에 대한 결과를 비교·분석하였다.

5-b) 상관색온도에 따른 시각적 불편함에 대한 결과를 비교·분석하였다.

2. 실험 및 분석

2.1 실험개요

본 연구에서는 피험자들을 대상으로 실험을 통해 주관평가를 수행하였으며, 객관성을 높이기 위하여 주변의 빛이 모두 차단된 공간에서 가변 상관색온도 기능이 있는 LED 조명기구를 사용하여 실험을 진행하였다. 다음 그림 1은 실험장소로 사용된 강의실의 모습을 간략하게 나타낸 것이다.

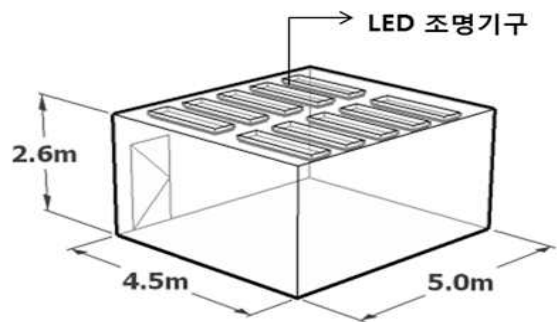


그림 1. 실험 장소
Fig. 1. Outline of Experimental Space

주관평가는 색맹 및 색약이 없는 건축공학과 학부생과 대학원생을 대상으로 수행되었다. 실험에 대한 분석을 진행하는데 있어 일정한 경향성이 없는 피험자들의 데이터를 제외하여 최종 20명의 유효 표본 집단을

을 구성하여 분석을 진행하였다. 성별은 남자 12명과 여자 8명으로 구성되었다. 또한 유효 표본 집단의 나이는 18세 부터 32세 까지 평균연령 약 23세로 이루어져 있다. 색맹 및 색약이 아니며 기억 및 시력장애가 없는 자로서 시력교정을 포함하여 평균 시력이 1.0 이상이었다. 주관평가에 대한 분석을 진행한 유효 표본 집단 구성에 대한 내용은 다음 표 1과 같다.

표 1. 유효 표본 집단 구성
Table 1. Composition of Effective Subjects

항목	내용		
성별	남자 12명, 여자 8명		
소속	건축공학과 학부생 및 대학원생		
나이	18세 ~ 32세		
시력조건	안경	콘택트렌즈	일반
	8명	4명	8명
	색맹	색약	정상
	0명	0명	20명
총원	20명		

본 실험에 사용된 LED 조명기구는 다음 그림 2와 같은 형태이며, 2,700K과 3,700K, 5,200K, 6,400K의 상관색온도를 나타내는 4가지 소자로 이루어져 있다. 이 LED 조명기구는 소자간의 조합을 통해 최소 상관색온도 2,700K에서 최대 상관색온도 6,400K까지 구현 가능하며, 본 실험에 사용된 LED 조명기구는 정전류 방식으로 조광제어된다.

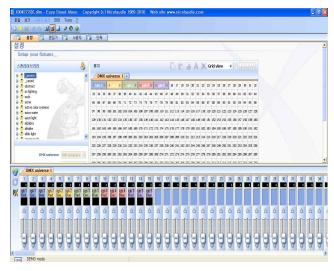




그림 2. 평판형 LED 조명기구
Fig. 2. Flat Type LED Luminaire

본 연구에서는 LED 조명기구의 특정 상관색온도 구현 및 조광제어를 위하여 다양한 측정 장비를 사용하였다. 조도계(T-10)는 작업면 조도를 측정하는데 사용되었으며, 조광제어를 위해 256단계로 조절이 가능한 조광제어소프트웨어가 활용되었다. 또한 실험공

간의 상관색온도 측정을 위하여 분광계(Spectrometer)를 사용하였다. 다음 표 2는 본 연구에서 사용한 측정 장비를 나타낸 것이다.

표 2. 측정 장비 개요
Table 2. The Outline of Measuring Devices

항목	내용	
측정 장비	분광계 : Spectrometer_MMS1 조도계 : T-10K + 5,900K LED	
	 조광제어소프트웨어	 조도계  분광계

2.2 실험 방법

피험자는 실험을 진행하는 동안 실험공간에서 책을 읽는 작업을 수행하였다. 피험자의 밝기 인지에 대한 명확한 차이를 보기 위하여 실험공간에서 구현 가능한 가장 낮은 상관색온도 2,700K와 가장 높은 상관색온도 6,400K 실험환경을 설정하였으며, 다음 그림 3은 실험공간에서 구현된 상관색온도의 분광분포이다.

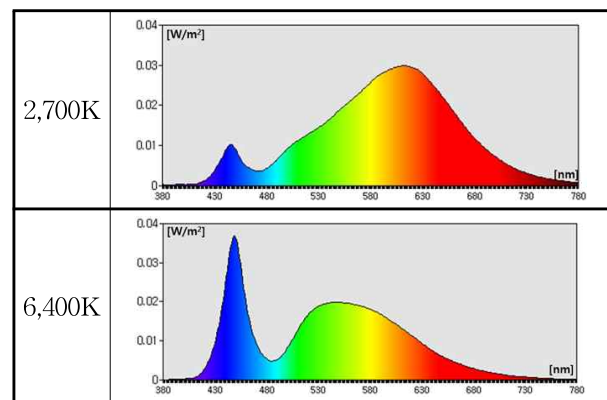


그림 3. 상관색온도에 따른 분광분포
Fig. 3. Spectral Power Distribution according to CCTs

각 상관색온도별로 조광감소율을 5.0%, 10.0%, 15.0%, 20.0%, 30.0%로 설정하였다. 재실자는 10초 동안 조광율 20%감소 구간까지 밝기변화를 인지하지 못한다는 선행연구[13]를 토대로 본 실험의 최소 조광감소 5%를 기준으로 3초의 조광감소속도를 설정하여 조광율이 100.0%인 상태에서 5초 동안 밝기를 유지시키고 3초 동안 조광감소율에 따라 조도를 낮춰 조광감소 속도를 다르게 함으로써 실험공간의 밝기를 변화시켰다. 상관색온도별 조광감소 속도에 따라 실험공간의 밝기가 변화하는 동안 피험자는 책읽기 등의 작업을 수행함으로써 작업면 이외의 조명기구 및 실험공간을 바라보지 않게 하였다. 피험자는 밝기 변화를 인지하였을 때와 작업 수행 시 불편함을 느낀 시간을 기록하였고 상관색온도별 조광감소 속도에 따라 5번의 실험을 수행하여 총 10번의 실험을 수행하였다. 다음 표 3은 조광제어 방법과 조광감소율에 따른 조광제어 속도를 나타낸다.

표 3. 조광제어 방법 및 조광제어 속도
Table 3. Dimming Control Methods and Speeds

조광제어 방법	1회 조광감소율 (%)				
	5%	10%	15%	20%	30%
1회 조광감소율	5%	10%	15%	20%	30%
1회 조광제어 속도	1.7 %/s	3.3 %/s	5.0 %/s	6.7 %/s	10.0 %/s
	9.7 lx/s	19.4 lx/s	29.0 lx/s	38.7 lx/s	58.0 lx/s

2,700K의 최대 작업면 조도는 576lx, 6,400K의 최대 작업면 조도는 583lx로 설정하여 상관색온도별 최대 작업면 조도의 오차율 약 1.2%내에서 실험을 진행하

였다. 다음 그림 4는 상관색온도별로 조광비율에 따라 조명기구 직하에서 측정된 작업면의 조도 변화이며, x축은 조광율을 의미하며 y축은 작업면 조도를 나타낸다. 그림 4와 같이 최대 작업면 조도는 실험에서 설정한 조광비율에 따라 일정하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 두 상관색온도 모두 조광 감소율과 작업면 조도 감소가 선형비례임을 의미한다.

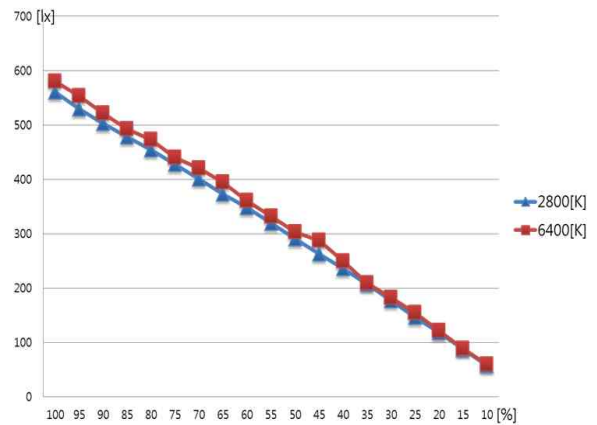


그림 4. 상관색온도별 조도 감소에 따른 작업면 조도
Fig. 4. Illuminance on Workplane according to Dimming

3. 결과 및 고찰

3.1 조광제어 속도에 따른 결과

본 연구에서는 설정 조광감소율에 따라 1초당 변화된 조광율을 기준으로 조광제어 속도를 1.7%/s, 3%/s, 5.0%/s, 6.7%/s, 10.0%/s로 설정하여 피험자의 밝기 인식 및 시각적 불편함에 관한 연구를 진행하였다. 다음 표 5는 조광제어 속도에 따른 밝기 인식에 관한 결과이며, 표 6은 조광제어 속도에 따른 피험자의 작업 수행 시 불편함을 느낀 구간에 대한 결과이다. 다음 표 4, 5에 나타난 그래프는 조광제어 속도가 다름에 따라 발생하는 구간범위의 차이를 통일하고, 상관색온도별 밝기 인식에 대한 차이를 명확하게 알기위해 누적 인원에 대한 결과 값을 선형보간 하였다. 이때 x축은 조광율이며, y축은 밝기 변화를 느낀 사람의 누적 값이다.

표 4. 조광제어 속도에 따른 밝기 인식 정도
Table 4. The Brightness Perception according to Dimming Speeds

조광제어 속도	결과	
1.7 %/s	2,700 K	
	6,400 K	
3.3 %/s	2,700 K	
	6,400 K	
5.0 %/s	2,700 K	
	6,400 K	

조광제어 속도	결과	
6.7 %/s	2,700 K	
	6,400 K	
10.0 %/s	2,700 K	
	6,400 K	

위 그래프의 음영이 짙은 두 개의 막대그래프 중에 왼쪽의 막대그래프 값은 피험자가 밝기 변화인식을 시작한 구간의 누적인원수이며, 오른쪽의 막대그래프 값은 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인식한 구간의 누적인원수다. 조광제어 속도별로 피험자의 밝기 변화 인식에 대한 결과는 다음과 같다.

- 모든 조광제어 속도 : 조광율 75.0~70.0% 구간에서 피험자들이 밝기 변화를 인지하기 시작하였다.
- 1.7%/s : 조광율 55.0~50.0% 구간에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였다.
- 3.3%/s : 조광율 55.0~50.0% 구간에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였다.
- 5.0%/s : 조광율 55.0~45.0% 구간에서 피험자의

- 과반수가 밝기 변화를 인지하였다.
- 6.7%/s : 조광율 55.0~50.0% 구간에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였다.
 - 10.0%/s : 조광율 70.0~60.0% 구간에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였다.

표 5. 조광제어 속도에 따른 시각적 불편함
Table 5. Visual Discomfort according to Dimming Speeds

조광제어 속도	결과	
1.7 %/s	2,700 K	
	6,400 K	
3.3 %/s	2,700 K	
	6,400 K	
5.0 %/s	2,700 K	

조광제어 속도	결과	
6.7 %/s	2,700 K	
	6,400 K	
10.0 %/s	2,700 K	
	6,400 K	

다양한 조명제어 환경에서 적절하게 조광을 제어하기 위하여 조광제어 속도를 최소 1.7%/s에서 최대 10.0%/s까지 변화시켜 피험자의 밝기 변화 인식에 대한 주관평가를 수행하였다. 연구결과 조광제어 속도와 관계없이 조광율 75.0~70.0% 구간에서 밝기 변화 인지를 시작하였으며, 조광제어 속도 10.0%/s를 제외

한 조광제어 속도 1.7%/s, 3.3%/s, 5.0%/s, 6.7%/s에서는 조광율 55.0~45.0% 구간에서 피험자들의 과반수가 밝기 변화를 인지하였다. 따라서 조광제어 속도 10.0%/s를 제외한 다른 조광 감소 속도에서는 밝기 인지하는데 있어 큰 차이를 보이지 않고, 조광 제어 속도 10.0%/s에서 급격한 밝기 인식이 이루어짐을 알 수 있다.

위 그래프의 음영이 짙은 두 개의 막대그래프 중에 왼쪽의 막대그래프 값은 피험자가 시각적 불편함을 나타내기 시작한 구간의 누적인원수이며, 오른쪽의 막대그래프 값은 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 나타낸 구간의 누적인원수이다. 조광제어 속도별로 피험자의 작업 수행 시 느낄 수 있는 불편함에 대한 결과는 다음과 같다.

- 모든 조광제어 속도 : 조광율 55.0~50.0% 구간에서 피험자들이 작업 수행 시 시각적 불편함을 느끼기 시작하였다.
- 1.7%/s : 조광율 35.0~30.0% 구간에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 나타냈다.
- 3.3%/s : 조광율 30.0~25.0% 구간에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 나타냈다.
- 5.0%/s : 조광율 30.0~25.0% 구간에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 나타냈다.
- 6.7%/s : 조광율 35.0~30.0% 구간에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 나타냈다.
- 10.0%/s : 조광율 60.0% 구간에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 나타냈다.

피험자가 시작 작업을 수행하는 동안 조광제어 속도를 변화시켜 작업 수행 시 느낄 수 있는 시각적 불편함에 대한 주관평가를 수행하였다. 연구결과 조광제어 속도와 관계없이 조광율 55.0~50.0% 구간에서 피험자들은 작업을 수행하는데 시각적 불편함을 나타내기 시작했다. 조광제어 속도 10.0%/s를 제외한 1.7%/s, 3.3%/s, 5.0%/s, 6.7%/s에서는 조광율 35.0~25.0% 구간에서 피험자들의 과반수가 작업을 수행하는데 있어 시각적 불편함을 나타냈다. 따라서 조광제어 속도 10.0%/s를 제외한 다른 조광 감소 속도에서는 작업을 수행하는데 시각적 불편함을 인지하는데 큰 차이를 보이지 않으며, 조광을

10.0%/s의 속도로 제어했을 때 피험자는 작업 수행 시 시각적 불편함을 빠르게 인지하는 것을 알 수 있다.

3.2 상관색온도에 따른 결과

상관색온도별로 조광을 감소시킬 때, 피험자의 밝기 인식과 작업 수행 시 느낄 수 있는 시각적 불편함에 대한 분석을 수행하였다. 다음 그림 5는 상관색온도별 조광제어에 따른 밝기 인식 정도를 나타낸 것이다. 그림 6은 상관색온도별 조광제어에 따라 피험자가 시각적 불편함을 느낀 구간을 나타낸 것이다. 다음 그림 5, 6에 나타난 그래프는 조광 비율이 다름에 따라 발생하는 구간범위의 차이를 통일하고, 상관색온도별 밝기 인식에 대한 차이를 명확하게 알기위해 누적인원에 대한 결과 값을 선행보간 하였다. 이때 x축은 조광율을 나타낸 것이고, y축은 조광감소에 따른 피험자의 적인원을 나타낸 것이다.

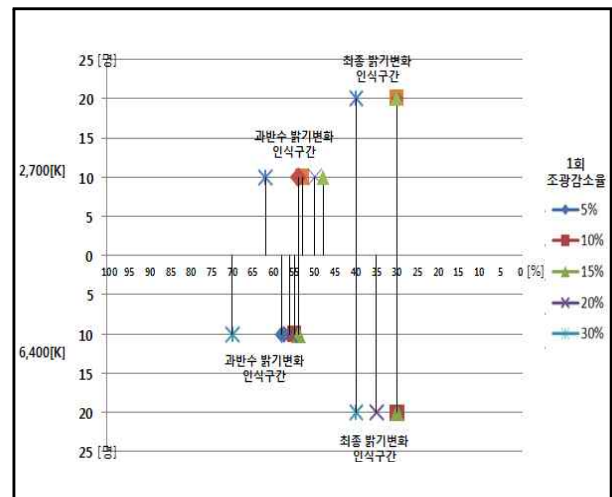


그림 5. 상관색온도별 조광제어 속도에 따른 밝기인식 정도
 Fig. 5. The Brightness Perception according to Dimming Speeds and CCTs

상관색온도별 조광제어에 따른 밝기 변화 인식에 대한 결과는 다음과 같다.

- 낮은 상관색온도(2,700K)의 경우 조광제어 속도

10.0%/s를 제외하고, 조광을 54.0~46.0% 사이에서 피험자의 과반수가 밝기에 대한 변화를 인지하였다.

- 낮은 상관색온도(2,700K)의 경우 조광제어 속도 10.0%/s일 때, 조광을 62.0%에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였다.
- 높은 상관색온도(6,400K)의 경우 조광제어 속도 10.0%/s를 제외하고, 조광을 58.0~54.0% 사이에서 피험자의 과반수가 밝기에 대한 변화를 인지하였다.
- 높은 상관색온도(6,400K)의 경우 조광제어 속도 10.0%/s일 때, 조광을 70.0%에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였다.

상관색온도별로 조광을 제어하는데 있어서 속도와 관계없이 과반수의 피험자가 높은 상관색온도(6,400K)에서 낮은 상관색온도(2,700K)보다 약 8% 정도 더 빨리 밝기 변화를 인지하였으며, 조광제어 속도 10.0%/s에서는 다른 조광제어 속도에 비해 더 빠른 구간에서 밝기 변화 대한 인식이 이루어 졌다. 따라서 상관색온도별로 조광을 제어함에 있어 높은 상관색온도의 경우 낮은 상관색온도보다 빠르게 밝기에 대한 변화를 인식된다고 사료된다.

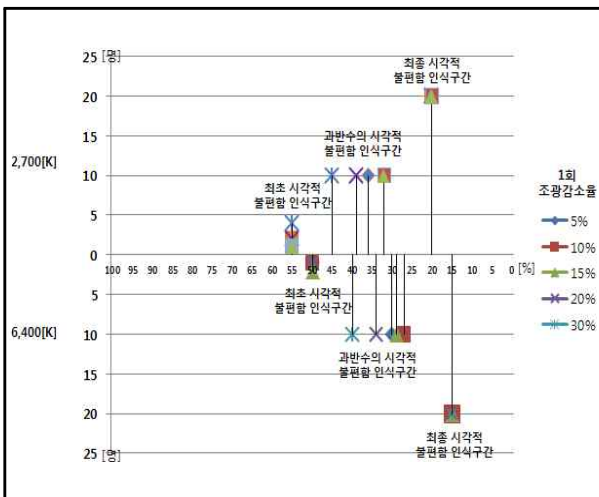


그림 6. 상관색온도별 조광제어 속도에 따른 시각적 불편함
Fig. 6. Visual Discomfort according to Dimming Speeds and CCTs

상관색온도별 조광제어에 따른 작업 수행 시 느낄 수 있는 시각적 불편함에 대한 결과는 다음과 같다.

- 낮은 상관색온도(2,700K)의 경우 조광을 55.0% 구간에서 시각적 불편함을 느끼기 시작하였다.
- 높은 상관색온도(6,400K)의 경우 조광을 50.0% 구간에서 시각적 불편함을 느끼기 시작하였다.
- 낮은 상관색온도(2,700K)의 경우 조광제어 속도 10.0%/s를 제외하고, 조광을 39.0~32.0% 사이에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 인식하였다.
- 낮은 상관색온도(2,700K) 경우 조광제어 속도 10.0%/s일 때, 피험자의 과반수가 조광을 45.0%에서 시각적 불편함을 인식하였다.
- 높은 상관색온도(6,400K)의 경우 조광제어 속도 10.0%/s를 제외하고, 조광을 34.0~27.0% 사이에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 인식하였다.
- 높은 상관색온도(6,400K)의 경우 조광제어 속도 10.0%/s일 때, 조광을 40.0%에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 인식하였다.
- 낮은 상관색온도(2,700K)의 경우 조광을 20.0%에서 모든 피험자가 시각적 불편함을 인식하였다.
- 높은 상관색온도(6,400K)의 경우 조광을 15.0%에서 모든 피험자가 시각적 불편함을 인식하였다.

상관색온도별로 조광을 제어하는데 있어서 처음으로 시각적 불편함을 인지한 구간, 과반수가 시각적 불편함을 인지한 구간, 모든 피험자가 시각적 불편함을 나타낸 구간의 경우 모든 조광제어 속도에서 낮은 상관색온도(2,700K)가 높은 상관색온도(6,400K)보다 약 5.0% 정도 빠른 구간에서 시각적 불편함을 나타냈으며, 조광을 10.0%/s로 제어했을 때 피험자는 작업수행 시 시각적 불편함을 가장 빠르게 인지하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 2가지 상관색온도(2,700K, 6,400K)별 LED 조명의 밝기를 5초 동안 유지시키고 3초 동안 낮추어가며 실험을 진행하였다. 밝기가 변하는 3초 동안 실험에서 설정한 조광감소율(5%, 10%, 15%, 20%,

30%)에 따라 조광제어 속도를 변화시켜 실험을 진행하였으며, 피험자의 밝기 변화 인식 정도와 시각적 불편함에 관한 주관평가를 수행하였다. 주관평가에 대한 결과는 다음과 같다.

1) 조광제어 속도에 따른 주관평가 수행 결과 조광 감소 속도 10.0%/s를 제외한 1.7%/s, 3.3%/s, 5.0%/s, 6.7%/s의 경우 조광율 55.0~45.0% 구간에서 피험자들의 과반수가 밝기 변화를 인지하였으며, 조광율 35.0~25.0% 구간에서 피험자들의 과반수가 작업을 수행하는데 있어 시각적 불편함을 나타냈다.

이와 같은 결과를 통하여 10.0%/s의 조광제어 속도를 제외한 다른 조광제어 속도에서는 밝기에 대한 인식이 이루어진 후 조광 20.0%에서 모든 피험자가 시각적 불편함을 나타내는 것을 알 수 있다.

2) 상관색온도별 주관평가 수행 결과 조광제어 속도 10.0%/s를 제외한 1.7%/s, 3.3%/s, 5.0%/s, 6.7%/s의 경우 낮은 상관색온도(2,700K)에서는 조광율 54.0~46.0% 사이에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였으며, 조광율 45.0%에서 시각적 불편함을 인식하였다. 높은 상관색온도(6,400K)의 경우 조광율 58.0~54.0% 사이에서 피험자의 과반수가 밝기 변화를 인지하였고, 조광율 34.0~27.0% 사이에서 피험자의 과반수가 시각적 불편함을 인식하였다.

이와 같은 결과를 통해 높은 상관색온도가 낮은 상관색온도 보다 약 8.0% 빠르게 밝기 변화를 인지하는 것을 알 수 있으며, 작업 수행 시 시각적 불편함은 낮은 상관색온도가 높은 상관색온도 보다 약 5.0% 빠르게 나타남을 알 수 있다. 이는 작업을 수행하는데 있어 동일한 조도의 밝기 인식에 있어 높은 상관색온도가 낮은 상관색온도 보다 밝게 느낀다는 선행연구의 결과[14]와 같이 높은 상관색온도의 경우가 낮은 상관색온도보다 밝기 변화 인식에 더 민감하며, 작업 수행 시 동일 조도에서 높은 상관색온도를 더 밝게 느낌으로써 낮은 상관색온도에서 더 빠르게 시각적 불편함을 나타냈음을 알 수 있다.

본 연구에서 피험자들은 일정 작업에 몰입함으로써 밝기 변화에 대하여 민감하게 인식하지 못하는 것으로 나타났으며, 이는 인간의 시각각이 다른 감각기

관에 비해 둔감함을 의미한다고 볼 수 있다. 본 연구는 field test를 통한 순차비교방법으로 주관평가를 진행하였으나, 추후 side-by-side test를 통한 동시비교방법으로 실험을 진행하여 연구의 객관성을 높일 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 20120005537)이며, 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 "IT융합 스마트조명 고급인력양성사업"의 지원을 받음. (NIPA-2012-H0401-12-1002).

References

- [1] H.S. Kim, Y.S. Kim, A.S. Choi, A Study on the Subjective Evaluation of Color Appearance under the Different LED CCT Conditions, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, p43~52, 2011.
- [2] K.Y. Jeong, M.G. Hwang, Y.S. Kim, AS Choi, A Study on the Calibration Method and the Polling Period for Daylight Responsive Dimming Systems in Sky Conditions, JUNAL of Architectural Institute of Korea, 23-1, p255~262, 2007.
- [3] I.H. Jang, A.S. Choi Subjective Evaluation of LED Lights for Mixed LED Luminous, JUNAL of The Society of Environment System, Korea p144~147, 2011.
- [4] S.A. Fotios and C. Cheal, A comparison of simultaneous and sequential brightness judgements, Lighting Research and Technology, pp.183~197, 2010.
- [5] S.A. Fotios and K.W. Houser, Measuring Lamp SPD Effect on the Perception of Interior spaces: frequently this is misleading, JOURNAL of Leukos, pp.261~281, 2012.
- [6] S.A. Fotios, K.W. Houser, and C. Cheal, Counterbalancing Needed to Avoid Bias In Side-By-Side Brightness Matching Tasks, JOURNAL of Leukos, pp.207~233, 2008.
- [7] K.W. Houser, D.K. Tiller, X. HU, Tuning the Fluorescent Spectrum for the Trichromatic Visual Response: A Pilot Study, JOURNAL of Leukos, pp.7~23, 2004.
- [8] K.W. Houser, S.A. Fotios and M.P. Royer, A test of the S/P ratio as a correlate for brightness perception using rapid- sequential and side-by-side experimental protocols. JOURNAL of Leukos, pp.119~138, 2009.
- [9] T. Schielkel, Light and corporate identity: Using lighting for corporate communication, JOURNAL of Lighting Research and Technology, pp.285~295, 2010.
- [10] B.C. Park, J.H. Chang, Y.S. Kim, A.S. Choi. A Study on the Subjective Response for Corrected Colour Temperature Conditions in a Specific Space, JOURNAL of Indoor and Built Environment, pp.623~637, 2010.

[11] S.Y. Kim, The Influence of Illuminance Variation by a Daylight Dimming Control System on Visual Comfort Under Clear Sky Conditions, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, p553~561, 2010.

[12] Y. Akashi and P.R. Boyce, A Field Study of Illuminance Reduction, Energy and Buildings pp.588~599, 2006.

[13] G.R. Newsham, S. Mancini and R.G. Marchand, Detection and Acceptance of Demand-Responsive Lighting in Offices with and without Daylight, JOURNAL of Leukos, pp.139~156, 2008.

[14] I.H. Jang, M.J. You, A.S. Choi, Subjective Evaluation of LED Lights for Various CCT Focused on the Brightness Perception, The 4th Lighting Conference of China, Japan and Korea, pp.406~410, 2011.

[15] Y. Akash and J. Neches, Detectability and Acceptability of Illuminance Reduction for Load Shedding, JOURNAL of Illuminating Engineering Society, pp.3~13, 2004.

[16] Y. Akash and J. Neches, Potential Recommendations for Illuminance Reductions by Load Shedding, JOURNAL of Lighting Research and Technology, pp.133~153, 2005.

[17] M.S. Rea and M.J. Ouellette, Relative Visual Performance: A Basis for Application, JOURNAL of Lighting Research and Technology, pp.135~144, 1991.

◇ 저자소개 ◇



염현주 (廉玄珠)

1989년 12월 18일생. 2012년 세종대 건축공학과 졸업. 현재 세종대 건축공학과 석사과정.



김인태 (金仁泰)

1985년 7월 27일생. 2010년 세종대 건축공학과 졸업. 2012년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.



최안섭 (崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축공학과 교수. 본 학회 이사.