

형광등 대체용 LED 조명기구의 성능 평가

(Performance Evaluation of LEDs for the Substitution of Fluorescent Lighting Sources)

장준호* · 박병철** · 최안섭***

(*세종대학교 건축공학과 석사과정 · **세종대학교 건축공학과 박사과정 · ***세종대학교 건축공학과 교수)

(Jun-Ho Chang · Byoung-Chul Park · An-Seop Choi)

Abstract

Recently, the development of LEDs is important and prevalent in the lighting market. The purpose of this study is to evaluate the performance of white LEDs by comparing with fluorescent lightings. First, this study performed to survey technical developments and design trend of white LEDs. Second, comparing white LEDs with fluorescent lightings which are widely used, this paper evaluated physical characteristics of white LEDs. Lastly, this study performed subjective evaluation which is comparing side-by-side rooms installed LEDs and fluorescent luminaires to investigate psychological and physical evaluation. The results of this study could be used as fundamental data for the development of white LEDs.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

친환경 및 에너지 절감이 전 세계적인 문제로 대두되면서 조명분야에서도 신광원의 개발에 대한 관심이 집중되고 있다. 유럽과 호주 등에서는 국가적 제한규정을 설립하여 100여 년간 주 광원으로 사용된 백열등 및 형광등의 사용을 금지하고 있다[1]. 이와 같이 차세대 광원의 개발이 시급한 현 시점에서 조명 전문가들이 가장 유력한 광원으로 지목하고 있는 LED의 개발은 매우 시급절하다고 볼 수 있다.

현재 미국과 일본, 중국을 비롯한 여러 국가에서는 LED의 개발에 대한 중장기적인 계획을 세워 막대한 금액을 투자하고 있으며, 반도체 기술의 발달로 인해 LED 소자의 발광효율 및 생산 기술이 급격히 증가하고 있는 실정이다. 또한 반도체 가격이 낮아지면서 향후 2012년에는 LED가 형광등보다 낮은 가격에 높은 효율을 나타낼 것으로 예상되어지고 있다[2].

이처럼 차세대 광원으로 주목받고 있는 LED에 대한 관심과 함께 그 수요 또한 날로 증가하고 있다. 특히 백색 LED의 개발 및 상용화로 인해 그에 대한 관심과 투자가 급속도로 증가하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 사용되어지고 있는 형광등과 형광등 대체용 백색 LED 조명기구의 비교를 통해

백색 LED 조명기구의 물리량을 평가하고, 주관평가를 통해 사용자에게 미치는 영향을 조사하였다. 본 연구를 통하여 조사된 결과는 효율적이고 우수한 LED 조명기구의 개발을 위한 데이터베이스 구축에 사용될 것이다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 백색 LED 조명기구의 기능적 특성을 평가하기 위하여 시판품의 현황을 파악하였으며 그 범위는 실내용 백색 LED 조명기구로 제한하였다. 그리고 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 형광등 조명기구와 백색 LED 조명기구의 조도, 휘도, 색온도를 측정하여 물리량을 비교평가하였다. 또한 주관평가를 통해 형광등 조명기구와 LED 조명기구를 비교하여 사용자가 느끼는 감성 및 선호도를 조사하였다. 본 연구의 절차를 다음의 그림 1로 나타내었다.

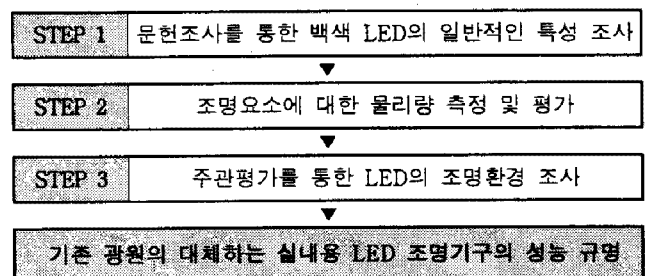


그림 1. 연구의 방법 및 절차

Fig. 1. A method and procedure of research

2. 백색 LED 조명기구의 현황

2.1 백색 LED 조명기구의 종류

현재 시판품으로 출시된 백색 LED 조명기구는 실내의 조명으로 형광등에서부터 투광기에 이르기까지 다양하다. 그러나 본 연구는 형광등 대체용 LED 조명기구에 대한 성능평가기므로 실내용 LED 조명기구를 연구 대상으로 선정하였다. 다음의 그림 2는 현재 시판품으로 출시된 백색 LED 조명기구를 조사한 것이고 그림 3은 그 설치 사례이다.



그림 2. 실내용 백색 LED 조명기구
Fig. 2. Examples of white LEDs for interior

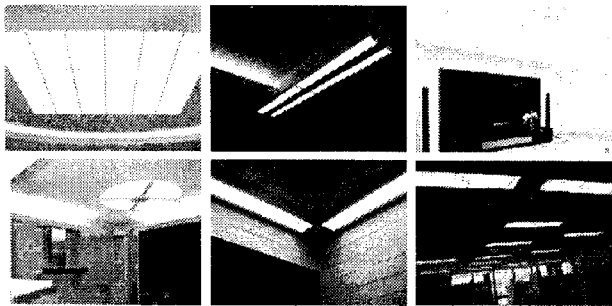


그림 3. 실내용 백색 LED 적용사례
Fig. 3. Examples of application of white LEDs for interior

2.2 일반 광원과 백색 LED의 특성 비교

현재 출시되는 백색 LED 시판품의 성능과 일반광원의 성능을 비교하였다. 비교할 일반광원으로는 가장 오래되고 많이 사용되는 대표적인 광원인 백열등과 형광등을 선택하고, 'O' 조명기구회사의 제품 카탈로그를 참고하여 각각의 성능 및 특성을 조사하였다. 그 결과를 아래의 표 1과 같이 정리하여 백색 LED의 성능과 비교하였다[3].

표 1. 일반광원과 백색 LED의 성능 비교
Table 1. Comparison of general lamps and white LED


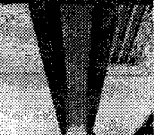



구분	발광효율 (lm/W)	광속 (lm)	색온도 (K)	연색성 (CRI)	평균수명 (hr)
백열등	10 ~ 15	200 ~ 1000	2000 ~ 2800	100	1,000
형광등	90 ~ 100	1000 ~ 5000	3000 ~ 6500	80 ~ 100	8,000
백색 LED	50 ~ 150 (국외, N사) 40 ~ 80 (국내, S사)	20 ~ 200	2600 ~ 10000	70 ~ 90	40,000 ~ 100,000

3. LED 조명기구의 물리량 측정 및 평가

3.1 물리량 측정 및 평가의 개요

실험을 위한 조명기구로는 LED 시판품(48W)을 사용하였다. LED 조명기구는 국내 'F'제조사의 시판품으로서 형광등을 대체하기 위한 실내용 LED 조명기구이다. LED 조명기구의 성능을 비교하기 위한 조명기구는 28W의 T5 형광등이 색온도별로 4개가 매입된 조명기구로서, 컨트롤러와 제어 소프트웨어를 통해 광속과 색온도를 조절할 수 있는 조명기구이다. 다음의 표 2는 실험에 사용된 조명기구와 측정 장비를 나타낸 것이다.

표 2. 물리량 평가를 위한 기구 및 장비
Table 2. Luminaires and measurement devices

조명기구		
명칭	백색 LED 조명기구	형광등 조명기구
형태		
규격	1,230×300×34(mm)	1,600×170×90(mm)
램프	백색 LED 48W	형광등 T5 28W
특성	아크릴의 양 측면에 LED 소자가 설치되어 눈부심의 발생을 최소화 한 제품	색온도가 다른 4개의 램프가 매입된 조명기구로, 컨트롤러와 제어소프트웨어를 통해 광속 및 색온도 조절
측정 장비		
		
	Minolta CL-200	Minolta LS-100
		
		Canon EOS 400D

측정 항목은 조도, 휘도, 색온도로 선정하였다. 측정은 S 대학교의 대학원 연구실에서 이루어졌으며, 좌우가 대칭이고 책상 및 칸막이 등의 기타 조건이 동일한 공간(Side-by-side room)으로 선정하여 조명기구만 달리하도록 계획하였다[4]. 다음의 그림 4는 LED와 형광등 조명기구를 설치한 실험공간의 모습이다.



그림 4. LED(좌)와 형광등(우) 조명기구의 설치모습
Fig. 4. Installation scenes of LEDs and dimming FL

3.2 물리량 측정 및 평가의 결과

물리량 평가의 첫 번째 단계로 Minolta CL-200(색차계)을 사용하여 LED 조명기구의 조도와 색온도를 측정하였다. 동일한 조명환경에서 조명기구의 성능을 비교하기 위해서는 조도 및 색온도가 동일한 조명기구가 필요하다. 이를 위해 조도 컨트롤러와 컴퓨터 제어 소프트웨어를 사용(6000K-64.8%, 4000K-41.8%)하여 형광등 조명기구의 조도와 색온도를 LED 조명기구의 물리량과 동일하게 설정하였다. 또한 두 조명기구의 효율을 비교하기 위하여 사용전력을 계산하였다. 다음의 표 3은 측정된 LED 조명기구 및 설정한 형광등 조명기구의 직하부 조도, 색온도 및 소비전력을 나타낸 것이다.

표 3. 실험을 위한 조도, 색온도 및 소비전력 측정
Table 3. Illuminance, CCT and power consumption of LEDs and FL

구분	측정한 LED 조명기구	설정된 형광등 조명기구
조도	334.7 lx	334.6 lx
색온도	5024K	5035K
소비전력	48 W	약 30W

다음은 작업면에 떨어지는 조도분포를 측정하였다. 조명기구의 직하부의 중심점과 그 주위로 가로는 250mm, 세로는 200mm 간격으로 총 9점의 조도를 측정하여 아래의 그림 5와 같이 나타내었다.

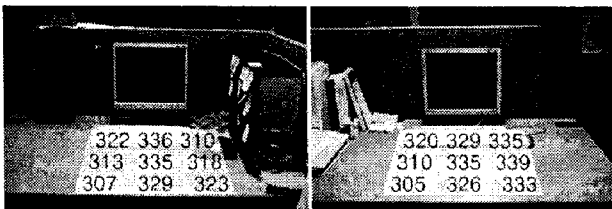


그림 5. 작업면의 조도분포 비교
Fig. 5. Illuminance distribution of the work plan

다음으로 눈부심에 가장 큰 영향을 미치는 조명요소인 휘도를 측정하기 위하여 Minolta LS-100(휘도계)을 사용하였다. 그림 5의 촬영위치에서 광원 자체의 휘도를 측정하여 비교한 결과 형광등 조명기구의 광원 휘도는 6,218 cd/m²로 높은 수치를 보인 반면, LED 조명기구의 발광면 휘도는 1,827 cd/m²로 낮게 측정되었다.

그러나 휘도계를 사용한 휘도 측정법은 특정 지점의 휘도만 측정이 가능하므로 본 연구에서는 작업면의 전체적인 휘도 분포를 측정하기 위해 Photolux 소프트웨어를 사용하였다. Photolux 소프트웨어는 디지털카메라로 촬영한 이미지를 변환하여 상대적인 휘도를 산출하는 소프트웨어이다. 본 연구에서는 Canon EOS 400D로 촬영한 이미지를 다음의 그림 6과 같이 Photolux 소프트웨어로 변환하여 작업면 휘도를 산출하였다.



그림 6. Photolux 소프트웨어를 이용한 휘도 측정
Fig. 6. Luminance by Photolux software

휘도 산출 결과, LED 조명기구에서의 작업면 휘도는 15.0~61.0 cd/m²의 범위로 측정되었고, 형광등 조명기구에서는 20.5~66.0 cd/m²의 범위로 나타났다. Photolux로 측정된 중앙부 작업면의 휘도와 LS-100으로 측정된 휘도를 아래의 표 4와 같이 비교하였다. 휘도측정 결과 두 조명환경에서 현저한 차이는 없으나, 형광등 조명기구의 조명환경에서의 휘도가 LED 조명기구에 비해 다소 높은 것으로 조사되었다.

표 4. 휘도계 및 Photolux를 이용한 휘도 산출
Table 4. Luminance calculation

구분	LED 조명기구			형광등 조명기구		
	LS-100	Photolux	오차	LS-100	Photolux	오차
측정점1	61.5	61.0	0.5	64.1	66.0	-1.9
측정점2	35.4	30.1	5.3	35.9	34.0	1.9
측정점3	34.7	27.9	6.8	35.1	29.0	6.1

흥미로운 점은 그림 5에서 나타나듯이 작업면조도 및 휘도가 유사하게 나타났음에도 불구하고 LED 조명기구의 빛 분포가 형광등 조명기구에 비해 분산되지 않고 중앙부에 집중되는 현상을 보였다. 향후 LED 광원의 특성을 고려한 조명기구의 광학설계 및 프리즘 개발을 통해 보다 넓은 배광을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

4. LED 조명기구의 주관평가

4.1 주관평가의 개요

주관평가는 S 대학교의 대학원 연구실에서 실시되었다. 실험대상은 S 대학교의 건축과 대학원생 및 학부생을 대상으로 하였으며 할당표본추출을 위하여 남녀 각각 11명씩 총 22명을 대상으로 주관평가를 실시하였다. 주관평가의 개요는 다음의 표 5와 같다.

표 5. 주관평가의 개요
Table 5. Summary of subjective evaluation

기간	2007년 10월 5일 ~ 2007년 10월 7일
장소	S대학교 연구실 - 사무실
대상	S대학교 건축과 대학원연구생 및 학부생(남11, 여11)
방법	비확률표본 추출법 중 할당표본추출 표준화 면접조사

실험을 위해 피험자의 성별 및 연령대에 해당하는 일 반사항과 작업능률을 평가하였다. 조명환경에 대한 작업능률 평가는 사물의 모양 및 색채의 구분을 위한 평가로서, 그림 7과 같이 유사한 두 그림에서 제한된 시간동

안 틀린 부분을 찾아내는 방식으로 이루어졌다. 각 조명 환경에서 수 십 가지의 틀린 그림 중 임의로 6장의 사진을 선정하여 오류검색작업을 실시하였다. 찾아낸 오류의 개수를 조사하는 방식으로 작업능률을 평가하였다.



그림 7. 틀린그림찾기의 예시
Fig. 7. Examples of Spot-the-difference

작업능률평가와 함께 조명 환경에 대한 사용자의 느낌에 해당하는 쾌적성, 작업성, 집중도, 긴장도, 피로도, 편안함, 밝기, 눈부심의 8가지 항목을 조사하였다. 다음의 그림 8과 같이 -3에서 3까지의 7점 스케일을 사용하여 조사한 후 각 값을 평균화하여 수치로 나타내었다.

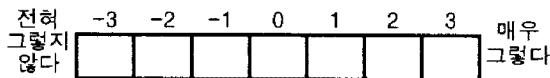


그림 8. 7점 스케일
Fig. 8. 7 points scale of color image

4.2 주관평가의 결과

작업능률평가를 통한 결과를 비교한 결과, 형광등 조명기구에서는 24.864/36점(정답률 69.1%)의 평균값으로 LED 조명기구의 평균값인 24.5/36점(정답률 68.1%)에 비해 더 높은 정답률이 나타난 것으로 조사되었으나 큰 차이는 없었다. 반면 두 조명환경에서 정답 개수의 차이(형광등-LED)가 -9에서 14에 이르기까지 다양하여 개인의 능력차에 따른 정답률의 차가 크게 발생한 것으로 조사되었다.

다음은 조명환경의 8가지 항목에 대한 주관평가의 결과를 조사하였다. 다음 그림 9는 그 결과를 정리한 것이다.

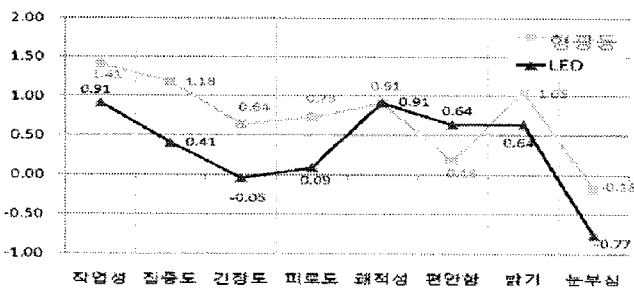


그림 9. 주관평가 결과
Fig. 9. Results of subjective evaluation

- 작업성, 집중도 : 형광등이 LED 조명기구에 비해 높게 평가되어 작업능률이 더 좋은 것으로 평가
- 긴장도, 피로도 : 형광등 조명기구가 LED 조명기구에 비해 높게 평가, 작업 시 LED 조명기구의 경우 긴장이 덜 되며 피로도가 낮은 것으로 조사
- 쾌적성, 편안함 : 쾌적성의 경우 두 조명환경이 동일

한 결과를 보였으나 LED 조명기구가 형광등 조명기구에 비해 좀 더 편안한 것으로 조사

- 밝기 : 두 조명환경이 동일한 조도임에도 불구하고 형광등 조명기구의 조명환경(16명)이 LED 조명기구(5명)에 비해 더 밝은 것으로 조사
- 눈부심 : 두 조명환경 모두 낮게 조사되었으나, 17명의 응답자가 형광등 조명기구에서의 눈부심이 LED 조명기구(2명)에서 보다 높다고 응답, 이는 조명기구 자체 및 작업면의 휘도가 높기 때문인 것으로 사료

5. 결론 및 향후 연구계획

본 연구는 기존 광원인 형광등과 형광등 대체용 LED 조명기구를 비교하여 성능을 평가하였다. 측정기구 및 컴퓨터 소프트웨어를 활용하여 조명의 물리량을 측정평가하였고 주관평가를 통하여 조명환경에 따른 사용자의 느낌을 분석하였다.

물리량 측정 결과, LED 조명기구의 조도는 348 lx, 색온도는 4998K으로 측정되었으나, 동일한 조도 및 색온도의 형광등 조명기구와 비교할 때 빛의 분포가 중앙부에 집중되는 것을 알 수 있다. 작업면 휘도의 경우 LED 및 형광등 조명기구에서 유사하게 측정되었으나 형광등 조명기구에서 다소 높은 것으로 조사되었다.

주관평가에서는 형광등 조명기구의 경우 작업성 및 집중도, 긴장도 및 피로도에서 LED 조명기구에 비해 높게 평가되었다. LED 조명기구가 형광등 조명기구에 비해 더 편안하고 눈부심의 발생도 낮은 것으로 평가되었다. 또한 동일한 작업면조도 환경에서 조사했음에도 불구하고 피험자들은 LED 조명기구 보다 형광등 조명기구에서 더 밝게 느끼는 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 LED 조명기구의 성능평가를 위해 형광등 조명기구만을 비교하였으나 향후 연구에서는 보다 다양한 광원의 조명기구와 비교하여 성능 평가가 실시되어야 할 것이다. 이를 통해 보다 실용적이고 우수한 LED 조명기구의 개발이 이뤄질 것이다.

감사의 글

이 연구는 한국건설교통기술평가원 연구비 지원(06건설핵심D17)에 의한 결과의 일부이며, 저자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았다.

참고 문헌

- [1] EU 집행위원회, EU 전기전자제품 유해물질제한지침(RoHS), 무역·환경 정보네트워크, 2006. 10
- [2] http://www.kbizweek.com/article/view.asp?vol_no=536&art_no=26244
- [3] 장준호 외, 시제품 조사를 통한 백색 LED의 기능적 특성에 관한 연구, 한국조명전기설비학회 학술발표대회논문집, 2007. 5
- [4] Xin Hu, Higher Color Temperature Lamps May Not Appear Brighter, LEUKOS Vol 3 No1, 2006. 7