Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2011) 25(4) : 16~23
DOI : 10.5207/JIEIE.2011.25.4.016

논문 25-4-3

LED광원을 이용한 실내상시보조인공조명(PSALI)의 성능평가에 관한 기초적 연구

(A Basic Study on Performance Evaluation of Permanent Supplementary Artificial Lighting of Interior(PSALI) using a LED Light Source)

이진숙* · 김병수 · 김소연 · 정용규**
(Jin-Sook Lee · Byoung-Soo Kim · So-Yeon Kim · Young-Gyu Jung)

Abstract

Since the first lighting light source was invented, lighting has turned into superior-quality lighting considering the amenity of occupants, and the characteristics of a light source has developed rapidly. So this research confirmed the lighting performance of a dimmer control system and an ON-OFF control system via the existing light source, and analyzed the basic lighting environment of Permanent Supplementary Artificial Lighting of Interiors(PSALI) through the physical comparison and evaluation of a LED lamp substituted for a fluorescent lamp used in a dimmer control system, showing that the lighting physical quantity characteristics of an ON-OFF control system and a dimmer control system are similar to each other and that they are effective in terms of energy saving. Besides, it was shown that introducing a LED light source to a dimmer control system improves lighting environments and largely reduces energy consumption.

Key Words : LED, PSALI, Mock-Up Experiment, Dimming Control System, ON-OFF Control System

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근에는 건축물의 에너지 절약을 위한 신기술로 LED(Light Emitted Diode)와 조광(Dimming)제어 시스템의 적용이 확대 되어 가고 있으며, 특히 실내상시보조인공조명(PSALI)[1] 적용 공간에서 Dimming이 중요한 요소이고, 녹색광원으로서 LED에 적용했을 때 성능분석이 절실하다.

이에 본 연구에서는 사무공간에 PSALI의 인공광원으로 LED를 도입하였을 때 조명물리량 특성과 에너지 성능분석을 1차 목표로 하였으며, 기존 형광등과의 성능비교를 실시하여 LED의 장단점을 분석하는데 2차적인 목적이 있다.

* 주저자 : 충남대학교 건축공학과 교수
** 교신저자 : 충남대학교 건축공학과 석사과정
Tel : 042-821-7733, Fax : 042-821-8717
E-mail : js_lee@cnu.ac.kr
접수일자 : 2011년 2월 1일
1차심사 : 2011년 2월 9일, 2차심사 : 2011년 3월 15일
심사완료 : 2011년 3월 23일

1.2 연구의 방법 및 절차

LED광원을 이용한 사무공간의 PSALI 도입을 위한 기초적 성능평가를 위해 다음과 같이 연구를 수행하였다. 1) 동일한 조건의 실물대 크기 측정공간에 동시 비교가 가능하도록 2개의 인접한 실을 구성였으며, 2) 실험은 다음과 같은 구성으로 이루어졌다.

① 2개의 인접한 실로 구성된 사무공간을 이용하여 ON-OFF제어 시스템과 조광제어 시스템을 각각 적용, 설치하여 제어조건별 실내조명환경의 성능변화를 비교 · 분석하여, 조광제어 시스템 적용의 타당성을 확인하였다. ② 각각의 측정공간에 조광제어 시스템을 적용한 형광램프와 LED램프를 설치하여 광원별 성능변화에 따른 측정 · 분석을 실시하였다.

표 1. 연구의 흐름
Table 1. Research Flow

1) 실험실 구성
2) 실험의 단계
· ON-OFF/조광제어 성능분석 · LED/형광등 조광제어 성능분석
3) 결론

2. 실험환경 구성

2.1 실험실 개요

실험실은 C대학교 공과대 정남형에 건물에 위치하였으며, 크기는 가로, 세로, 높이 각각 6,000×6,200×3,000([mm])이다. 실물대 측정공간의 자세한 사항은 표 2에 나타내었다.

2.2 램프의 사양

각각의 실험공간에는 1,200×300 크기의 조명기구를 창측면과 실안측면으로 나누어 각 2개씩 설치하였으며, 조명기구 당 2개의 직관형 램프를 설치하였다.

표 2. 실험실의 개요
Table 2. Outline of Mock-up

항 목	내 용
실 크 기	6,000×6,200×3,000
창면적	바닥면적의 1/4 (9[㎡])
방 위	정남향
천정	85.6[%] (2.7GY 9.3/0.2)
벽	85.5[%] (2.1Y 9.3/1.4)
바닥	26.8[%] (3.9Y 5.1/0.9)

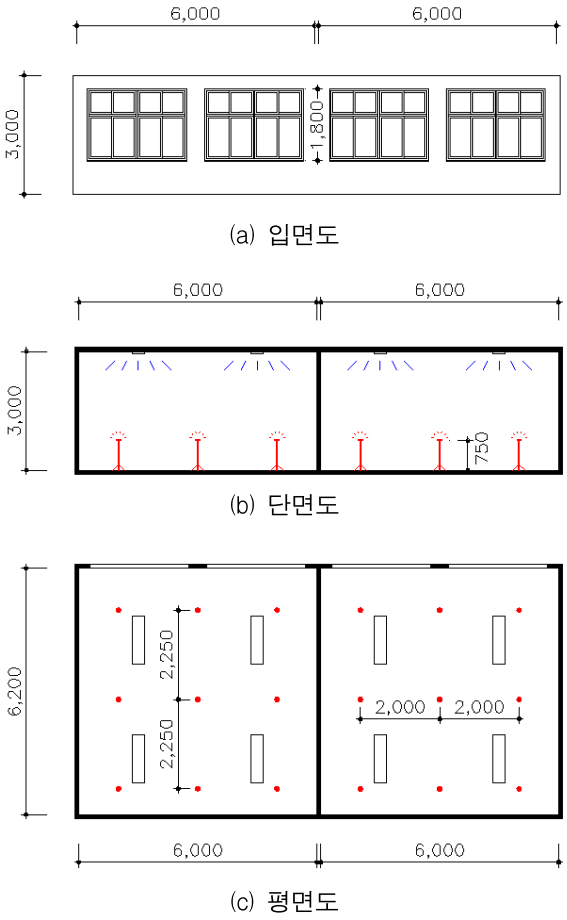


그림 1. 실험실(Mock-up)의 개요
Fig. 1. Overview of Mock-up

2.2.1 LED램프

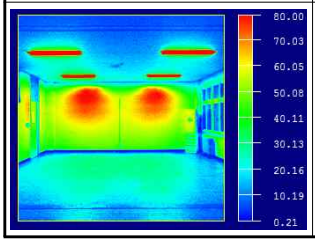
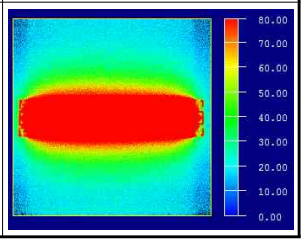
실험공간에 설치된 LED램프의 사양은 소비전력이 22[W]이며, 광원 색온도가 주광색에 가까운 제품을 선정하였다. 표 3은 선정된 조명광원에 대한 물리량으

로 제조회사에서 제시하고 있는 자료를 기본으로 하였다.

표 3. LED램프의 개요
Table 3. Outline of LED lamp

소비전력	22[W]
총 광 속	1,580[lm]
색 온 도	6,000[K]
치수(관경, 길이)	22 / 1,198

표 4. LED램프의 휘도분포
Table 4. Brightness Distribution of LED lamp

측정공간의 휘도	광원의 휘도
	

2.2.2 형광램프

실험공간에 설치된 형광램프의 사양은 소비전력이 32[W]이며, 표 5는 선정된 조명광원에 대한 물리량으로 제조회사에서 제시하고 있는 자료를 기본으로 하였다.

표 5. 형광램프의 개요
Table 5. Outline of Fluorescent lamp

소비전력	32[W]
총 광 속	3,100[lm]
색 온 도	6,500[K]
치수(관경, 길이)	25.5 / 1,198

2.3 센서의 사양 및 위치

실내공간의 조명물리량을 측정하기 위하여 0~32,280[lx] 범위에서 광도의 측정이 가능한 Data Logger를 사용하였으며, 실외 주광의 조도를 측정하기 위하여 0~99,990[lx] 범위에서 광도의 측정이 가능한 Illuminance Meter를 이용하여 10분 간격으로 측정하였다.

표 6. 형광램프의 휘도분포
Table 6. Brightness Distribution of fluorescent lamp

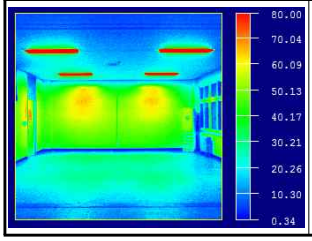
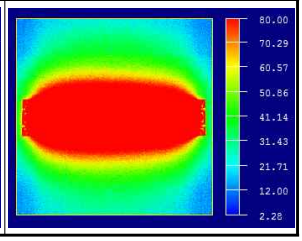
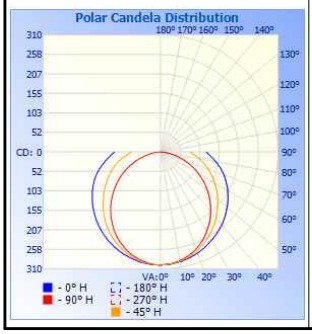
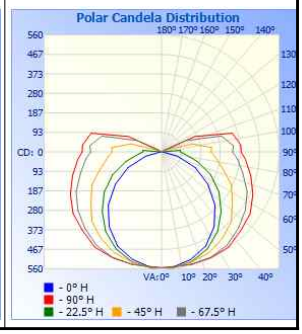
측정공간의 휘도	광원의 휘도
	

표 7. 광원의 배광분포
Table 7. Distribution of Light Source

LED램프의 배광분포	형광램프의 배광분포
	

측정위치는 예비실험을 통해 선정된 4가지 유형중 실측에 의해 조명 물리량을 가장 잘 파악 할 수 있는 최적 안으로 그림 1과 같이 배치하였으며, 측정 위치는 작업면 높이로 750[mm]로 하였다.

조광제어를 위한 센서는 받아들인 광량에 따라 점등시 100~30[%] 범위로 안정기의 출력을 10[%] 단위로 8단계로 내부통신에 의한 퍼지(Fuzzy)제어로 변화시킬 수 있는 센서 일체형 조광용 안정기로서 작업면 조도 최대 360[lx]에서 최소 60[lx]까지 범위에서 소등시에는 작업면 조도가 0[lx]가 되도록 설정되었다.

측정에 사용된 측정용 센서와 Dimming용 센서의 모습은 그림 2와 같으며, 조광용 센서의 자세한 표 8에 나타내었다.

그림 2. 조도 센서와 조광용 센서
Fig. 2. Illuminance Sensor & Sencor for Dimming

표 8. 센서 일체형 조광용 안정기 사양
Table 8. Specification for a sensor-integrated dimmer ballast stabilizer

사용전원	200~240VAC/60[Hz]
정격입력전류	0.28[A]~0.3[A]
정격입력전력	62[W]
입력역률	0.98이상
기동방식	음극전류예열방식
상대광속출력	95[%]
디밍범위	30~100[%]
감지각도	PIR센서 : 110~120[°]
디밍방식	PMV방식
조도 감지 방식	광도전

2.4 전력량 측정

외부조도의 변화에 따라 광량이 달라지는 조광제어와 광량이 일정한 ON-OFF제어의 전력량을 측정하기 위하여 [Wh]단위로 측정이 가능한 디지털 전력량계를 사용하였으며, 측정방법은 오피스빌딩 근무시간인 9시~17시까지 8시간을 기준으로, 전력량계를 통해 조명기기에 전력을 공급하는 방식으로 그림 4와 같이 7일간 측정을 하였다.

그림 3. 전력량 측정 모습
Fig. 3. Appearance of Measuring Electricity Energy

또 측정에 사용된 형광램프와 LED램프의 제어 단계에 따른 전력소비량과 작업면 높이의 조도 변화는 표 9와 같이 나타내었다.

표 9. 제어단계별 전력량 변화
Table 9. Changes in watt-hour by control steps

디밍 범위	형광램프	LED램프
	전력량 [W]	전력량 [W]
100[%]	60.61	53.58
90[%]	53.34	46.68
80[%]	48.92	42.49
70[%]	45.23	39.36
60[%]	35.34	31.81
50[%]	31.67	29.70
40[%]	28.37	27.69
30[%]	25.64	26.27

3. 제어조건에 따른 성능분석

3.1 실험 개요

제어조건에 따른 사무공간의 실내 조명환경의 성능 변화를 비교하기 위하여 형광램프가 설치된 ON-OFF 제어 시스템과 조광제어 시스템의 겨울철 시간대별 조명환경 변화를 10시, 12시, 14시에 각각 측정하였다.

ON-OFF제어 시 조명기구의 출력을 100[%]로 설정하였으며, 조광제어시 100~30[%] 범위의 PWM (Pulse Width Modulation)방식으로 자동 Dimming 되도록 설정되었다.

3.2 조명환경 분석

측정일 천공조건은 외부 수평면 평균조도는 40,000 [lx]로 부분 담천공에 가까웠으며, 시간대별 조도분포는 태양이 남중하는 12시를 기준으로 태양의 입사각도와 방위에 영향에 따라 조명환경이 크게 변화하는 것으로 분석되었다.

조명기기의 제어방식별 조명환경은 비슷한 양상의 분포를 보이며, 작업면 평균조도는 조광제어를 설치하

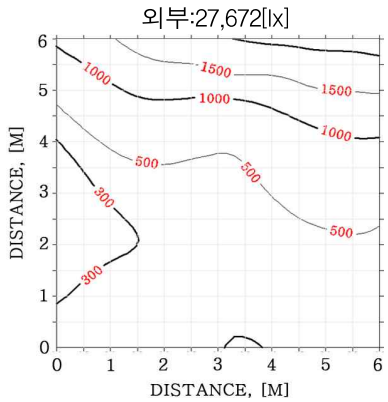


그림 4. FL_조도분포(조광_10시)
Fig. 4. FL_Illuminance Distribution (Dimming_10 o,clock)

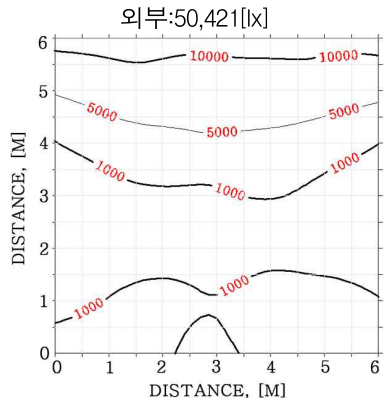


그림 5. FL_조도분포(조광_12시)
Fig. 5. FL_Illuminance Distribution (Dimming_12 o,clock)

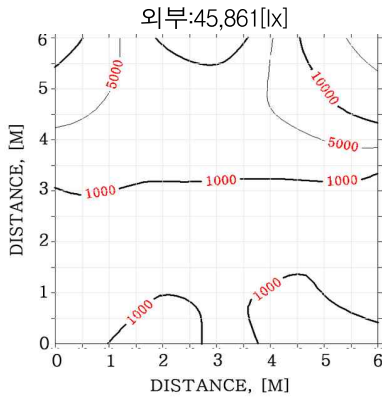


그림 6. FL_조도분포(조광_14시)
Fig. 6. FL_Illuminance Distribution (Dimming_14 o,clock)

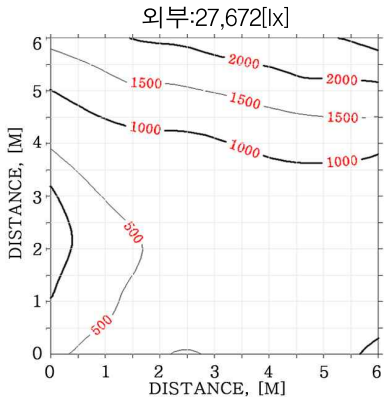


그림 7. FL_조도분포(ON-OFF_10시)
Fig. 7. FL_Illuminance Distribution (ON-OFF_10 o,clock)

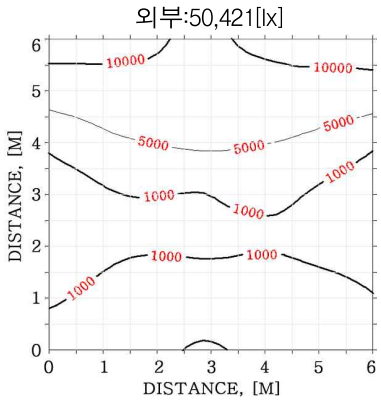


그림 8. FL_조도분포(ON-OFF_12시)
Fig. 8. FL_Illuminance Distribution (ON-OFF_12 o,clock)

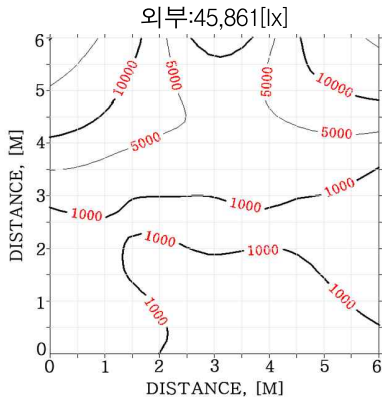


그림 9. FL_조도분포(ON-OFF_14시)
Fig. 9. FL_Illuminance Distribution (ON-OFF_14 o,clock)

였을 경우 10시에 32.63[%], 12시에 14.34[%], 14시에 28.17[%] 낮고, 주광률은 10시 1.24[%], 12시 1.11[%], 14시1.92[%] 낮은 것으로 분석되었다. 하지만 시간대별 균제도는 0.30[%], 0.03[%], 0.38[%] 증가하여 조광제어 적용 시 평균조도와 주광률은 낮아지지만 실내 조명환경의 조도 밸런스는 미미하게 개선되는 것으로 분석되었으며, 분석결과는 표 10과 그림 4~9에 나타내었다.

3.3 사용 전력량 분석

형광램프를 광원으로 한 ON-OFF제어와 조광제어 시 제어조건별 조명사용량 측정 결과는 다음과 같다.

표 10. 제어조건에 따른 조명환경
Table 10. Lighting environment consequent on control condition

구 분	평균조도	균제도	주광률
10시 조광	708[lx]	51.69[%]	2.56[%]
10시 ON-OFF	1,051[lx]	51.39[%]	3.08[%]
12시 조광	3,338[lx]	25.61[%]	6.62[%]
12시 ON-OFF	3,897[lx]	25.59[%]	7.73[%]
14시 조광	2,238[lx]	39.94[%]	4.88[%]
14시 ON-OFF	3,116[lx]	39.57[%]	6.80[%]

ON-OFF제어 시스템과 조광제어 시스템 각각 일평균 1,844[Wh], 1,043[Wh]로 측정되었으며, 기존

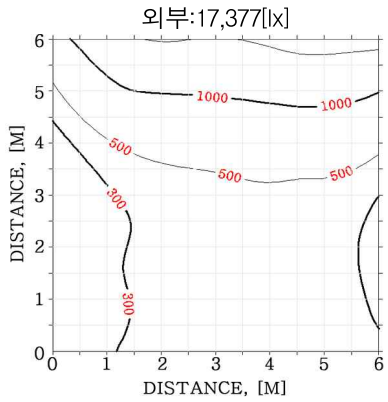


그림 10. 조도분포(LED램프_10시)
Fig. 10. Illuminance Distribution (LED lamp_10 o,clock)

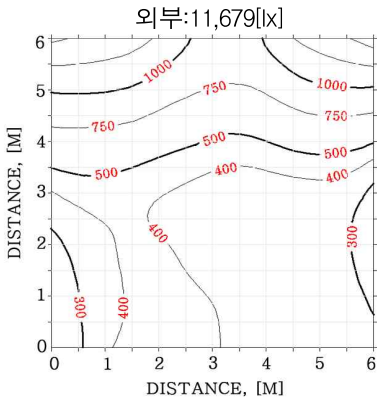


그림 11. 조도분포(LED램프_12시)
Fig. 11. Illuminance Distribution (LED lamp_12 o,clock)

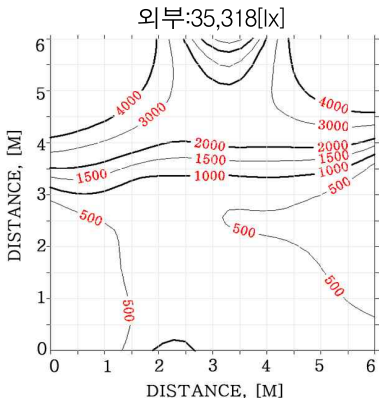


그림 12. 조도분포(LED램프_14시)
Fig. 12. Illuminance Distribution (LED lamp_14 o,clock)

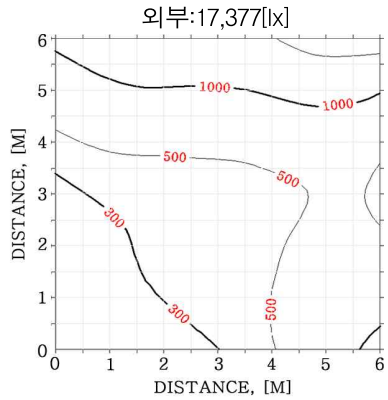


그림 13. 조도분포(형광램프_10시)
Fig. 13. Illuminance Distribution Fluorescent lamp_10 o,clock)

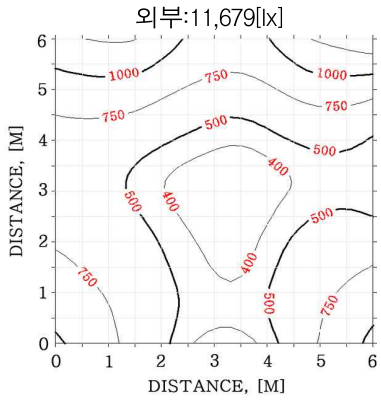


그림 14. 조도분포(형광램프_12시)
Fig. 14. Illuminance Distribution Fluorescent lamp_12 o,clock)

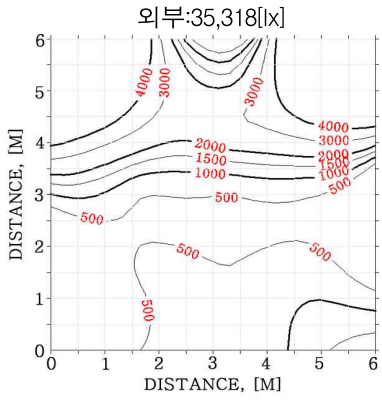


그림 15. 조도분포(형광램프_14시)
Fig. 15. Illuminance Distribution Fluorescent lamp_14 o,clock)

ON-OFF제어 시스템을 조광제어 시스템으로 교체할 경우 전체 에너지 사용량의 43.4[%]를 절감할 수 있는 것으로 표 11과 같이 분석되었다.

표 11. 조명에너지 사용량
Table 11. Lighting energy use

구 분	ON-OFF	조광
총사용량	12,908[Wh]	7,301[Wh]
측정기간	12월 30~1월 4일(7 Day)	
일평균 사용량	1,844[Wh]	1,043[Wh]

4. LED와 형광등의 성능분석

4.1 실험 개요

형광램프의 제어조건에 따른 실험에서 사무공간의 ON-OFF제어를 조광제어로 대체할 경우 조명환경은 대체로 유사하였으며, 에너지 절약측면에서 유효한 것으로 분석되었다. 이에 조광제어 시스템 적용된 두 사무공간에 형광램프와 LED램프를 각각 적용하여 광원 특성별 조명환경 물리량을 측정 · 평가하였다.

4.2 조명환경 물리량 분석

측정일 천공조건은 수평면 평균조도 23,000[lx]로 비교·분석 결과는 다음과 같다.

조광제어가 적용된 각 광원의 평균조도는 7~8[%] 정도의 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 특히 12시의 경우 두 광원의 평균조도 차이는 2[%]미만으로 매우 유사한 것으로 분석되었다. 하지만 시간대에 따른 두 광원 균제도는 10시 7.20[%], 12시 5.43[%], 14시 7.39[%] 차이를 보이는 것으로 나타났으며, LED램프가 설치된 사무공간에서 시간별 균제도가 상대적으로 높게 나타났다.

주광률은 LED램프가 설치된 사무공간에 태양이 남중하는 12시 0.01[%]의 매우 유사한 것으로 분석되었으며, 12시를 기준으로 10시에 0.34[%] 증가한 반면 14시에 0.40[%] 감소한 것으로 분석되었다. 분석결과는 표 12와 같으며, 그림 10~15은 광원의 종류에 따른 시간대별 실내 조도분포를 나타낸 등조도 곡선이다.

표 12. 광원에 따른 조명환경
Table 12. Lighting environment consequent on light source

구 분	평균조도	균제도	주광률
10시 LED	714[lx]	1.97[%]	24.34[%]
10시 FL	654[lx]	2.01[%]	26.56[%]
12시 LED	556[lx]	1.89[%]	21.01[%]
12시 FL	555[lx]	1.74[%]	21.06[%]
14시 LED	1,681[lx]	2.71[%]	21.01[%]
14시 FL	1,822[lx]	3.55[%]	19.39[%]

4.3 사용 전력량 분석

32[W] 형광램프와 22[W] LED램프의 조명에너지 소비량 분석결과, 조광제어가 적용된 사무공간의 일평균 에너지 소비량은 LED램프 937[Wh], 형광램프 1,156[Wh]로 측정되었으며, LED램프를 사용할 경우 형광램프 보다 에너지 소비량이 15.82[%] 절감하는 것으로 분석되었으며, 결과는 표 13과 그림 16에 나타내었다.

표 13. 조명에너지 사용량
Table 13. Lighting energy use

구 분	LED 램프	형광 램프
총사용량	6,812[Wh]	8,092[Wh]
측정일	1월 6~1월 14일(7 Day)	
일평균 사용량	937[Wh]	1,156[Wh]

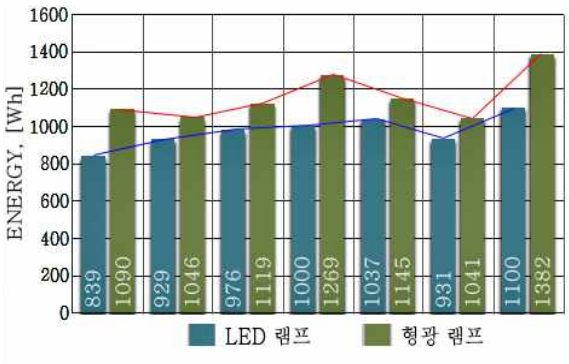


그림 16. 측정기간 조명에너지 사용 현황
Fig. 16. Lighting energy usage measurement period

5. 결 론

실내상시보조인공조명(PSALI)을 도입하기위한 기초적 연구로 제어조건별, 광원특성별 측정공간의 조명환경 비교·분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 제어조건에 따른 조명환경 분석결과 조광제어 공간의 평균조도가 ON-OFF제어 공간보다 일평균 25.04[%] 낮았고, 주광률은 0.23[%] 낮게 나타났다.

그러나 균제도에는 일평균 1.42[%] 높게 나타났으며 KS에서 규정하고 있는 평균조도 600[lx] 이상으로 에너지 측면에서 약 43.4[%] 절감할 수 있어 조광제어의 적용이 유효한 것으로 나타났다.

2) 조광제어 시스템이 적용된 LED램프 사무공간의 균제도는 형광램프가 설치된 사무공간보다 일평균 균제도가 3.06[%] 높았으며, 주광률의 경우 일평균 0.24[%] 감소 한 것을 나타났다. 반면 전력량 측정결과 측정기간 중 사용한 총 전력량은 LED램프 6,812[Wh], 형광램프 8,092[Wh]로 LED램프 적용시 15.82[%]를 절감 할 수 있는 것으로 나타났다.

이상의 실험을 종합한 결과 사무공간에서 주간 재실

자의 쾌적성을 높이고 조명환경의 개선을 위해 사용되는 보조조명으로서 조광제어 시스템을 도입할 경우 조명물리량 특성은 유사하며, 에너지절감 측면에서 효과적인 것으로 나타났다. 또한 LED광원을 조광제어 시스템에 도입할 경우에도 조명환경은 개선되고 에너지 사용량이 절감되는 것으로 나타나 LED광원의 조광제어 시스템의 도입이 매우 효과적인 것으로 나타났다.

본 연구를 바탕으로 향후 연구에서는 물리적 측정실험의 한계를 인식하고, 실제 사무공간의 물리적 특성 변화에 따른 감성평가를 실시하여 조명성능과 조도변화 및 광원특성이 인간에게 미치는 영향에 대한 연구가 진행 될 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No. 2010-0014603)

References

〔1〕 Hopkinson, R. G., and Longmore, J. : The permanent supplementary artificial lighting of interior, Trans. Illum. Engng. Soc., 24, pp.121-127, 1959.
〔2〕 김병수, 임오연, LED램프를 적용한 사무소 건물의 실내조명환경 및 에너지성능분석, 대한건축학회지, 2009.
〔3〕 이진숙, 박용조, 김원도, 김희동, 주형석, LED조명의 거주성 평가에 관한 연구, 대한건축학회지, 2010.
〔4〕 김병수, 그린스쿨 교실에 설치된 조광용 형광등의 실내조명환경 및 에너지성능분석, 대한건축학회지, 2009.
〔5〕 이진숙, 한상필, 실내상시보조인공조명(PSALI)을 도입한 실내의 쾌적환경조성을 위한 실험적 연구, 대한건축학회지, 2002.
〔6〕 정연홍, 김유신, 최안섭, 사무공간에서 형광램프 조명기구와 백색 LED 조명기구의 색온도 비교를 통한 선호도에 관한 연구, 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2008.
〔7〕 이진숙, 김원도, 김소연, 색온도 특성에 따른 LED조명과 형광램프의 감성반응 비교분석, 대학건축학회 논문집, 2009.
〔8〕 백승헌, 정인영, 신화영, 김정태, LED광원과 형광광원의 상관색온도가 시작업 성능에 미치는 영향, 한국조명전기설비학회 논문집, 2009.
〔9〕 정봉만, 조명측면에서 본 LED광원 특성과 조명시스템 응용, 조명,전기설비학회지, 2006.
〔10〕 이호열, 이주윤, 송규동, 자연채광을 고려한 인공조명 제어를 위한 실험모델 구축, 대한건축학회 논문집, 2004.
〔11〕 건축조명개론, 기문당.

◇ 저자소개 ◇

이진숙(李眞淑)
1960년 6월 17일생. 1982년 충남대학교 건축공학교육과 졸업. 1984년 충남대학교 대학원 건축공학과 졸업(석사). 1989년 일본 Tokyo Institute of Technology 졸업(박사). 1989년～현재 충남대학교 건축공학부 교수.

김병수(金炳秀)
1974년 2월 20일생. 1997년 한밭대학교 건축설비공학과 졸업. 1999년 충남대학교 건축공학과 졸업(석사). 2003년 충남대학교 건축공학과 졸업(박사). 2011년 비이엠에스컨설팅/주원기술사 사무소 소장.

김소연(金昭蓮)
1983년 8월 17일생. 2007년 충남대학교 건축학과 졸업. 2009년 충남대학교 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 건축공학과 박사과정.

정용규(鄭溶規)
1982년 8월 27일생. 2010년 한밭대학교 건축공학과 졸업. 현재 충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정.