

A Design of an LED Sensor Luminaire for Visual Function Improvement

서정남[†] · 유용수^{*} · 여인선^{**}
 (Jung-Nam Seo · Yong-Su Yu · In-Seon Yeo)

Abstract - An LED sensor luminaire for visual function improvement necessitates the control algorithm for light level adjustment and the appropriate lens design. The control algorithm adapts to surround lighting condition, and thus has the advantages of energy saving and glare reduction. The multi-cell lens design improves color temperature uniformity and spatial light distribution of the luminaire. Experimental and simulated results show that this approach contributes noticeably to energy saving and color temperature uniformity of the LED sensor luminaire.

Key Words : LED sensor luminaire, Control algorithm for light level, Lens design, Energy saving

1. 서론

출입문 조명기구로 사용되는 센서 등기구는 친환경적 광원과 에너지 절감 목적으로 백열램프를 사용하는 조명제품에서 LED를 이용한 센서 등기구로 개발이 진행 중이다. 백열램프를 사용한 센서 등기구는 단순 온·오프기능을 일정 시간 동안 유지하기 때문에 시각적 기능개선 구현에 어려움이 있다. 시각적 기능개선을 구현하기 위해 LED 센서 등기구가 개발되는데 LED를 사용하는 경우 빠른 응답속도와 색불균일도에 의하여 백열전구보다 시각적 불쾌감(Glare)을 증가시킬 수 있으며 높은 단가로 인하여 LED를 광원으로 사용하는 센서 등기구는 다양한 제품형태 개발이 느리게 진행되고 있다[1]. 이를 개선하기 위하여 센서 등기구가 설치되는 조명환경에 적합한 배광분포와 색불균일도를 줄일 수 있는 렌즈 설계기술 확보가 필요하며[2] 또한 시각적 불쾌감과 전력사용량을 효과적으로 절감할 수 있는 LED 센서 등기구 제어동작 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

2. 본론

2.1 LED 센서 등기구 설계 요건

LED를 이용한 센서 등기구개발에 있어 KS C 7657에서 정한 광학적 특성 기준[3]을 만족하면서 시각적 기능과 에너지 절감효과를 나타낼 수 있는 센서 등기구를 설계한다. 기존 백열램프 센서 등기구에서 구현할 수 없는 시각적 기능개선을 위해 LED 센서 등기구는 시각적 불쾌감을 줄이며

동시에 에너지를 절감할 수 있는 제어회로를 설계한다. 이를 구현하기 위해 명순응에 대응하기 위한 센서 등기구 시간조절이 필요하고 암순응을 유도하기 위한 광속과 시간제어를 통해 시각적 불쾌감 저감과 에너지 소비가 절감될 수 있는 제어 알고리즘을 구현한다. 또한 기존 백열램프 센서 등기구는 아크릴계열의 커버를 사용하여 빛을 확산시키지만 LED 센서 등기구에서는 LED 특성에 적합한 렌즈 형상설계를 통하여 색불균일 개선과 조명환경에 적합한 배광분포를 갖는 LED 센서 등기구를 제시한다.

2.2 LED 센서 등기구 모듈과 렌즈설계

시각적 기능 개선을 위한 LED 센서 등기구용 모듈은 5050 SMD package를 적용하여 32개 LED를 matrix 형태로 만들어 총 3조 연결된 10 [W]급 센서 등기구로 그림 1(a)과 같이 설계하였다. LED 모듈에는 조도감지 센서와 적외선 인체 감지 센서가 모듈 중앙에 장착되도록 설계하였으며 LED 배치는 중앙에서부터 방사 형태로 LED가 배치되도록 그림 1(b)과 같이 설계하였다[4]. 이와 같이 설계한 이유는 LED 배치가 일정한 균제도를 갖게 하여 배광각이 고른 특성을 갖게 하기 위해서다.

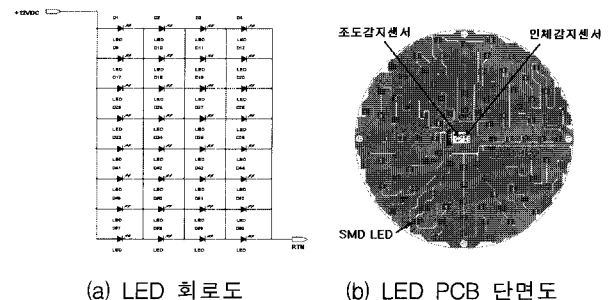


그림 1 LED 배열 회로도 및 PCB 단면도
 Fig. 1 LED Array. (a) LED array circuit diagram (b) LED PCB layout

[†] 교신저자, 정회원 : 전남대 공대 전기공학과 박사수료
 E-mail : seojn@smba.go.kr
^{*} 정 회원 : (주)라이텍코리아 연구소장
^{**} 정 회원 : 전남대 공대 전기공학과 교수 · 공학박사
 접수일자 : 2009년 9월 16일
 최종완료 : 2009년 10월 11일

렌즈설계에 있어 일반적인 LED 광원에 대한 렌즈는 개별렌즈를 사용하거나 packaging에서 배광각을 조절하는 형태로 많이 개발되고 있다. 이 방식은 원가상승과 조립이 용이하지 않기 때문에 LED 센서 등기구에 적용할 렌즈는 제작이 용이하고 원가를 절감할 수 있는 Multi-Cell(curved lenticular lens)렌즈 형태가 효과적이다. Multi-Cell 렌즈 방식은 설계에 의하여 배광각 조절이 가능하고 균제도를 개선하기 용이한 장점을 가진다[6]. 그림 2(a)는 시뮬레이션을 통하여 설계된 Multi-Cell 렌즈 패턴 도면을 나타내고 그림 2(b)는 렌즈 전체 형상을 나타낸다.

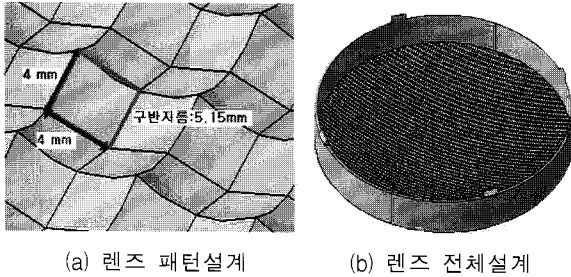


그림 2 LED 렌즈 패턴설계와 전체설계
 Fig. 2 LED lens pattern. (a) Lens pattern design (b) Lens general design

Multi-Cell 렌즈를 사용하는 경우 색조합성과 LED 광원의 종류에 관계없이 백색 조명의 색불균일을 개선할 수 있으며 양산을 위한 사출을 진행하는 경우 사출물 렌즈 각이 손상되는 현상을 줄일 수 있다. 렌즈 설계모형은 LightTools 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 통해 렌즈 곡률반경 및 렌즈 형상을 도출하였다.

렌즈적용의 배광분포 개선효과를 알아보기 위해 렌즈 패턴 형상적용 전, 후의 LED 배열의 배광특성 시뮬레이션을 그림 3에 나타낸다. 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있는 것처럼 렌즈를 적용하지 않았을 때보다 렌즈를 적용하였을 경우 중앙부분의 상관색온도는 9000에서 5600 [K]로 낮아졌고 배광 양 끝부분은 3000에서 4500 [K]로 높아져 전체적인 색불균일이 저감하는 것을 확인할 수 있었다.

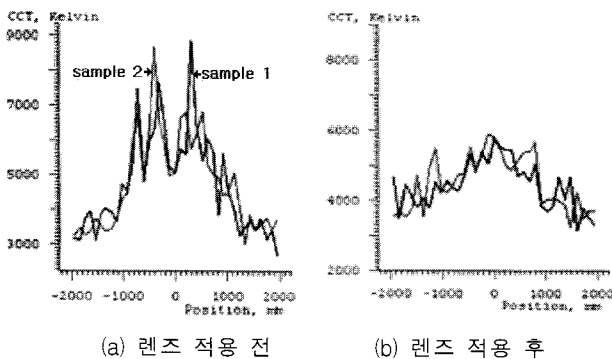
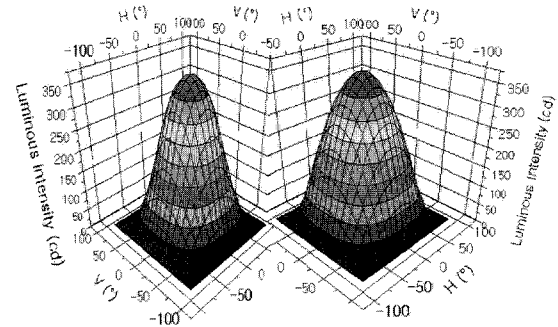


그림 3 LED 렌즈 배광 시뮬레이션
 Fig. 3 LED lens distribution. (a) Without lens (b) With lens

또한 LED 모듈에 Multi-Cell 렌즈를 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 LED 모듈 배광특성을 그림 4와 같이 측정한 결과 배광특성은 좌·우측 배광이 완전한 대칭으로

측정되어 LED 센서 등기구가 적용되는 조명환경에 적합한 down-light용 조명기구의 배광특성을 나타내고 있다.



(a) 렌즈 적용 전 (b) 렌즈 적용 후
 그림 4 LED 모듈의 배광특성
 Fig. 4 Characteristic distribution of LED module. (a) Without lens (b) With lens

그림 4(b)와 같이 Multi-Cell 렌즈를 적용하였을 때 배광이 렌즈를 적용하지 않았을 때보다 10 [°]정도 빛이 확산되어 색불균일도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 측정은 배광 측정 장비인 Neolight 3000을 이용하여 실시하였다.

렌즈 적용 여부에 따른 광학적·전기적 특성은 표 1과 같이 센서 등기구에 렌즈가 없을 경우 총광속은 1020 [lm]이 측정되었고 렌즈를 적용하였을 경우는 총광속이 876 [lm]이 측정되어 조명기구 효율은 85.9 [%]로 렌즈 적용에 따른 조명기구 효율은 높게 측정되었다.

표 1 LED 모듈의 광학·전기적 특성
 Table 1 Optical and electrical characteristics of an LED module

	광속	광효율	전류	색좌표		색온도	연색지수
	lm	lm/W	mA	x	y	K	
KS C 7657	250 이상	35 이상	-	-	-	5700 기준	70 이상
렌즈무	1020	79	61.2	0.322	0.332	5978	75.4
렌즈유	876	68	61.2	0.323	0.331	5941	76.6

또한 렌즈가 있을 경우 색온도에는 변화가 거의 없었으나 연색지수는 75.4에서 76.6으로 1.2 [%] 상승되는 것을 확인하였다. 설계된 LED 센서 등기구는 KS C 7657에서 정한 광학적 특성 값인 연색성, 효율, 광속 기준값에 모두 적합하였다.

2.3 LED 센서 등기구 제어회로 설계

기존 백열램프 센서 등기구는 센서 동작에 따른 단순 온·오프기능만을 구현하기 때문에 제어회로 설계가 복잡하지 않았으나 LED 센서 등기구에서는 인체감지 및 주광감응 센서와 사용자 환경에 따른 설정 등 많은 기능을 운용하고 통제할 수 있는 제어 시스템이 필요하므로 One-chip 마이크로 컨트롤러를 사용한 설계가 필요하다. 본 회로에서 사용된

마이크로컨트롤러는 AVR 계열의 ATmega48 Chip으로 고성능, 저전력에 8비트형 CPU이며 A/D 포트를 8채널까지 지원함으로써 조도센서의 구동 설정값이나 인체감지 민감도를 사용자가 설정할 수 있어 제어 알고리즘 구현을 가능하게 하였다. 주변 조명환경에 따라 센서 등기구의 동작여부를 결정하는 주광센서(CdS)는 주변 조도가 일정값 이하에서만 동작하도록 하여 불필요한 점등을 억제 시킨다. 인체감지를 위한 적외선센서(PIR)는 인체에서 발산되는 아날로그 형태의 적외선을 감지하여 A/D컨버터로 분석처리 하도록 하였다.

주광감응 제어기능과 duty값 조절에 따른 제어 알고리즘을 구현하기 위하여 마이크로컨트롤러의 펄스폭변조(Pulse Width Modulation : PWM) 기능을 사용하였고 이는 전류의 실효값을 제어하는 방식으로 duty값에 따라 다양한 LED 제어를 가능케 한다. LED 센서 등기구의 제어회로 내부 회로 블록도를 그림 5에 나타낸다.

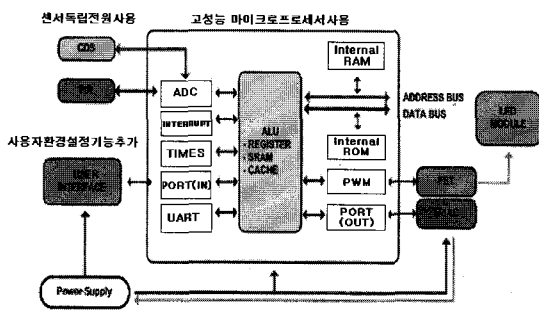


그림 5 LED 센서 등기구 제어회로 내부 블록도
Fig. 5 Block diagram of control circuit in an LED sensor luminaire

마이크로컨트롤러는 CDS와 PIR 데이터를 A/D변환포트를 통해 감지하여 센서 등기구의 동작여부를 결정한다. 이때 프로그램 내부에서 User Interface로 설정한 CDS 조도값과 PIR 감도 설정값을 비교하여 설정 이상의 값이 A/D변환포트에 입력되면 마이크로컨트롤러에서는 입출력포트를 통해 TRIAC을 구동하여 LED 모듈에 전원을 공급하게 되며 LED 모듈에 안정된 구동전원을 공급 받을 수 있도록 일정 시간 동안 대기한 후 마이크로컨트롤러에서 LED 모듈에 공급되는 PWM신호를 FET로 전달하여 LED 모듈에 전원을 스위칭하도록 설계하였다.

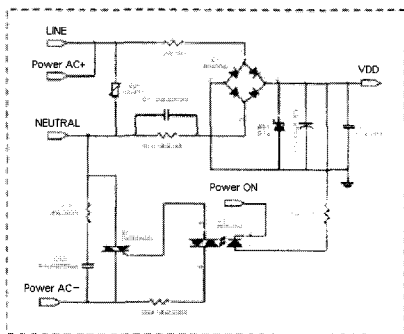


그림 6 제어회로 전원부
Fig. 6 Power supplying part of control circuit

제어회로는 인체신호감지 및 조도감지를 지속적으로 유지하여야 하기 때문에 별도의 독립전원을 필요로 하게 되는데 본 연구에서는 용량이 적고 DC전원을 가장 간단하게 구현할 수 있는 전원방식을 채용하였으며 LED 모듈에 전원을 공급하는 전원회로와 독립적으로 동작하도록 그림 6과 같이 설계하였다.

2.4 LED 센서 등기구 제어알고리즘 개발

LED 센서 등기구의 기본 제어 알고리즘은 조도와 인체감지를 통하여 동작여부가 결정되면 마이크로컨트롤러에서 지원하는 PWM기능을 이용하여 LED모듈을 점등하게 된다. 이 때 LED모듈의 점등시간과 광속제어를 통해 최초 점등시 명순응에 따른 시각적 피로감을 최소화하고 암순응을 유도하기 위해 소등시간과 광속제어를 하여 인체의 시각적 특성을 고려한 제어 알고리즘으로 그림 7과 같은 순서도로 동작한다.

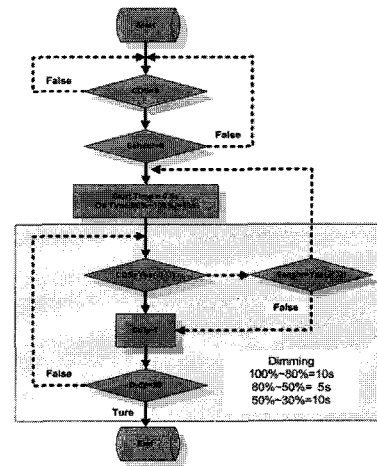


그림 7 제어 알고리즘 순서도
Fig. 7 Flow chart of control algorithm

제어 알고리즘에서는 LED 모듈을 구동할 때 특정기능과 사용목적에 따라서 5단계의 제어 구간으로 구분하여 효율적인 제어가 가능하도록 하였다. 각 구간은 As(LED 점등구간), Aw1(밝기 증가 동작구간), Aw2(밝기 감소 동작 구간), Ad1(에너지 절감 및 인체감지 시작 구간-1), Ad2(에너지 절감 및 인체감지 시작 구간 2)로 각 구간의 광속과 시간제어가 가능토록 한다. 그림 8은 이상적 알고리즘 시간대가 적용된 LED 센서 등기구의 동작모드를 나타내고 있다.

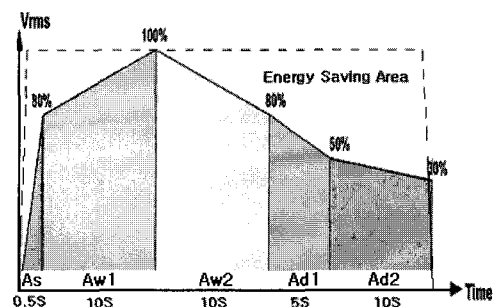


그림 8 LED 센서 등기구 점등과 소등 구간 타임차트
Fig. 8 Time chart of On-Off section in an LED module

첫 번째 점등구간 As는 사람의 시각에 자극을 주지 않는 최소한의 시간을 선정하여 구동하는 구간으로 0에서 80 [%]까지 0.5초 동안 점등이 이루어지는 구간이다. 이는 기존 백열램프의 초기 점등시간(0.15초)보다 긴 시간을 갖도록 하여 점등에 따른 시각적 자극을 최소화 한다. Aw1은 사람의 시각으로 밝기 변화를 인지하지 못하는 구간으로 80 [%]에서 100 [%]까지 10초의 시간을 두고 증가하도록 하였다. Aw2는 시각으로 밝기 감소 변화를 인지하지 못하는 구간으로 100 [%]에서 80 [%]까지 10초의 시간을 두고 점차적으로 감소하도록 제어하였다. Ad1은 암순응 유도구간으로 밝기 변화에 민감한 시각을 갖는 사람이 밝기 감소를 인식할 수 있는 구간이다. 이 구간에서는 80 [%]에서 50 [%]까지 5초의 시간을 두고 감소하며 인체의 움직임 감지하는 구간으로 이 구간에 인체의 움직임이 감지되면 Duty 0 [%]부터 80 [%]까지 바로 증가 하도록 하여 최초 점등 구간 다음부터 다시 동작하게 된다. Ad2는 암순응 유도구간으로 밝기 감소가 급변하는 구간이기 때문에 밝기 감소를 누구나 인식할 수 있는 구간이며 50 [%]에서 30 [%]까지 10초의 시간을 두고 감소한다. 이 때 인체의 움직임이 감지되지 않고 30 [%]까지 감소되면 LED 센서 등기구는 완전히 소등된다. 각 구간의 동작모드에 대한 특성을 표 2에 나타낸다.

표 2 LED 센서 등기구 동작구간 모드
Table 2 Operation mode in an LED sensor luminaire

구간	동작 모드
As	LED 초기 점등 시간 (시각에 자극을 주지 않는 범위 내에서 시간 선정)
Aw1	밝기 증가 구간 (시각적 밝기 변화를 인지 못하는 구간으로 밝기 증가 구간)
Aw2	밝기 감소 구간 (시각적 밝기 변화를 인지 못하는 구간으로 밝기 감소 구간)
Ad1	에너지 절감 및 인체감지 시작 구간 1단계 (암순응 유도구간으로 밝기변화에 민감한 시각을 갖는 사람이 밝기 감소를 인식하는 구간)
Ad2	에너지 절감 및 인체감지 시작 구간 2단계 (암순응 유도구간으로 밝기감소가 급변하는 구간으로 밝기 감소를 누구나 인식하는 구간)

명·암순응 제어 알고리즘으로 센서 등기구의 LED 모듈 제어를 통하여 총 5구간별 에너지 절감률을 합산할 경우 기존 센서 등기구보다 27.8 [%]의 추가 에너지 절감을 확보할 수 있었다. 또한 제안된 LED 센서 등기구는 사용자 요구에 따라 각 구간별 시간 설정변경이 가능하기 때문에 설치 환경조건을 고려한 최적의 시각적 기능과 에너지 절감을 구현할 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 LED 광원을 사용한 센서 등기구 개발 시 LED 조명의 단점인 시각적 불편감을 줄이며 에너지도 절감 할 수 있는 명·암순응 제어 기능의 점·소등 제어 알고리즘을 개발하였고 알고리즘을 구현할 수 있는 제어회로 개발을 하여 기존 센서 등기구보다 27.8 [%]의 에너지절감효과를 보

았다. 또한 LED 센서 등기구의 조명환경에 적합한 렌즈 설계를 통하여 색불균일 및 눈부심을 개선하고 약 85.93 [%] 조명기구 효율을 갖는 렌즈 설계를 통하여 기존 백열램프를 사용하는 센서 등기구를 시각적 기능과 에너지 절감이 향상된 LED 센서 등기구로 대체할 수 있는 센서 등기구를 제안 하였다.

참 고 문 헌

- [1] F. M. Steranka et. al., "High Power LEDs - Technology Status and Market Applications", Lumileds Lighting, July 2002.
- [2] G. Dionyz et. al., "Specific Problem of Exterior Glare", CIE 26th Session, 2007.
- [3] 전기응용 기술심의회, "KS C 7657-'09(LED 센서 등기구의 안전 및 성능 요구사항)", 지식경제부 기술표준원, 2009.
- [4] 한수빈, "LED구동 전원기술", 서울산업대학교 에너지기술인력양성센터, 2005.
- [5] M. S. Rea, "IESNA Lighting Handbook", 9/e, IESNA, 2000.

저 자 소 개



서 정 남 (徐廷男)

1973년 8월 19일생. 2000년 서울산업대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~2004년 LG산전 전력연구소 연구원. 2008년 전남대 대학원 박사과정 수료. 현재 중소기업청 시험연구지원팀 공업연구사
Tel : 062-360-9156
Fax : 062-366-9669
E-mail : seojn@smba.go.kr



유 용 수 (柳龍秀)

1974년 10월 28일생. 1999년 서남대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)라이텍코리아 연구소 연구소장
Tel : 062-973-2033
Fax : 062-973-1036
E-mail : dragew@yahoo.co.kr



여 인 선 (呂寅善)

1957년 6월 11일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 전남대 공대 전기공학과 교수
Tel : 062-530-0714
Fax : 062-530-1749
E-mail : isyeo@chonnam.ac.kr