

태양광 활용을 위한 효율적 LED 조명기구 설계 방안

정학근*, 한수빈*, 장철용*

*한국에너지기술연구원 건물에너지연구센터
(hgjeong@kier.re.kr), (sbhan@kier.re.kr), (cyjang@kier.re.kr)

Energy Efficient LED Lighting Design to utilize the Sun Light

Jeong, Hak-Geun* Han, Soo-Bin* Jang, Cheol-Yong*

*Building Energy Research Center, Korea Institute Energy Research
(hgjeong@kier.re.kr), (sbhan@kier.re.kr), (cyjang@kier.re.kr)

Abstract

LED is expected as an environmentally friendly next generation light source with its good reliability and long lifetime. The light sources for illumination have a variety of applications in the indoor and outdoor, and the variation of optical power and color rendering of the light source limits their applications. Therefore, it is necessary to research the LED lamp and its luminaire to minimize the variation of dynamic characteristics and to improve the color rendering due to that illuminating environment. Daylight is very good light source to human and can be used as primary or a secondary light source with benefits of energy, productivity and health. This paper presents the design method of LED lighting system to improve poor property in terms of CR(color rendering) characteristic to use daylight effectively.

Keywords : 엘이디 조명(LED Lighting), 태양광(Sun Light), 연색성(Color Rendering)

1. 서 론

조명의 목적은 시각적으로 편안한 상태에서 물체를 잘 볼 수 있는 환경을 만드는 데 있으며, 이러한 조명환경은 햇빛이나 전등에 의해 얻어진다. 인간은 오랜 세월 자연계의 햇빛에 익숙해 있기 때문에, 우리가 사용하는 전등 또한 햇빛에 근사한 것이 바람직하다. 또한 에너지의 이용효율이 높고, 물체의

색깔을 제대로 표현할 수 있는 것이라야 하며, 이외에도 수명이 긴 것이 요구된다. 전통적으로 조명광원의 개발은 이런 점들을 고려하여 진행되어 왔다. 최근에는 자원절약과 환경친화성 여부가 중요한 요인으로 작용하고 있으며, 앞으로는 작업능률 향상 등 사회의 흐름, 인간적인 성향의 변화도 감안해야 한다. 즉, 미래의 조명은 기술적인 면과 사회적·인간적인 면을 동시에 고려하여 개발될 것으로 예측된다.

투고일자 : 2011년 1월 14일, 심사일자 : 2011년 1월 22일, 게재확정일자 : 2011년 4월 21일
교신저자 : 장철용(cyjang@kier.re.kr)

새로운 광원에 대해서는 현재 2가지의 큰 개발 추세가 존재한다. 저출력에서는 LED를 대표로 하는 고휘도 반도체광원(Solid-State Lamp, SSL)과, 비교적 고출력에서는 무전극 형광등, 황전등(Sulfur Lamp)을 대표로 하는 무전극 방전광원이다. 이러한 신 광원 특징은 기존광원에 비해 수명이 월등하게 길고(100,000시간 이상) 견고하며, 연색성 또는 시인성이 높아 인간 친화적이고, 무공해 물질을 사용하는 소형, 고휘도의 환경 친화적 광원으로써 적용분야에 따라 30~90%의 에너지절약이 가능한 특징을 가지고 있다.

차세대 신광원으로 현재 가장 주목되고 있는 광원은 LED(Light Emitting Diode)로써, 백색 LED 조명기술은 조명분야의 혁명으로 비유될 수 있을 정도로 현재, 세계 각국에서 유수의 기업들이 개발에 박차를 가하고 있는 분야이다.¹⁾²⁾ LED는 반도체의 빠른 처리속도와 낮은 전력소모 등 장점을 가지고 있고 환경 친화적이면서도 에너지 절약효과가 높아서 차세대 국가 전략 제품으로 꼽히고 있다. 90년대 중반 이후, 갈륨나이트라이드 (GaN) 청색LED가 개발되면서 LED를 이용한 총천연색 디스플레이가 가능하게 되었으며, LED는 우리 생활 곳곳에 자리 잡기 시작했다. 가장 대표적인 예로, 휴대폰의 액정표시소자 (LCD)와 키패드를 조명용 LED를 들 수 있으며, 이외에도 LED를 이용한 디스플레이는 옥외용 총천연색 대형 전광판, 교통 신호등, 자동차 계기판, 가전제품, 네온대체 간판, 의료 및 수술장비, 항만, 공항, 고층 빌딩의 경고 및 유도등과 같은 다양한 곳에서 사용되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 LED 조명기구의 연색성과 효율의 양면성을 개선하는 방법으로 태양광을 능동적으로 이용하고자 하며, 이를 위하여 현재의 태양광 이용 방법을 분석한다. 또한 현재 디스플레이 조명, 신호용 조명기구 등에 한정적으로 사용되고 있는 LED 광원을 실내에서 사용시에 문제가 될 수 있는 연색성 특

성을 효율적으로 개선하는 방법에 대하여 연구를 수행하고 한다. 특히 주간에 조명의 사용이 많은 사무실 조명을 대상으로 주광의 유입량의 변화에 따라 실내의 연색성 변화 및 효율적인 LED 조명기구 설계 방안을 제시하고자 한다.

2. 태양광(자연광) 이용 기술

오늘날 급속한 도시화로 인하여 도시가 과밀화되고 고층화되어 대부분의 생활공간에 자연광을 도입하기 어렵게 되고 있다. 특히, 건축물의 일조문제는 건축법 등 여러 규제조항으로 구체화되어 있으나 인동간격의 부족과 건축물의 고층화로 일조문제가 심각한 사회문제로 부각되고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위하여 선진국에서는 이미 다양한 자연채광장치가 개발되어 사용되고 있다. 자연채광 장치는 고층화된 도시공간의 일조확보 및 지하공간 등 자연채광이 어려운 실내 공간에 태양광을 도입하여 토지이용률의 극대화와 환경친화적인 실내 환경을 조성하기 위하여 활용되고 있다.



그림 1. 자연채광과 실내환경

- 1) 정봉만, "Design Issues for LED Lighting Applications", 제2회 광반도체산업기술 국제 워킹샵, 2003. 11.
- 2) 이형재, 홍창희 외, "광 반도체 산업기술 개발을 위한 신기술 동향 및 전략 수립", 전북대 반도체물성연구소, 2003. 3.

자연광은 계절별, 시각별 그리고 천기상태에 따라 변동하며 그 양과 질이 인간의 시각적 수용범위에 있는 한 시각적·심리적으로 상쾌한 자극제로서의 역할을 수행한다. 그리고 자연광을 효과적으로 이용하는 것은 의장적으로 건축물의 기하학적 형태와 표면질감이 가능하여 새로운 건축언어를 표출할 수 있다. 실내공간에 있어서도 자연광은 계절 및 시각변화에 따라 다이내믹한 실내공간을 연출하여 재실자에게 시각적 쾌적감과 즐거움을 제공한다. 그러므로, 재실자에게 일조인식(sunshine awareness)에 의한 시간감과 계절감을 제공하고 다양한 실내 분위기를 연출함으로써 풍부한 채광환경 조성 등 실내 빛환경을 개선하여 작업능률 향상과 재실자의 크게 건강증진에 기여할 수 있다.

자연광과 인공광을 복합적으로 사용하기 위해 고안된 건축요소로서 광선반(light shelf), 광천창(top lighting), 아트리움(atrium), 돔 구조(dome structure), 루프 모니터(roof monitor) 등을 들 수 있다.

광선반은 창문 근처에 고정되어 설치되는 디자인적 요소로써, 직사일광을 천장과 벽으로 반사하고 산란시킨다. 그래서 직사일광의 실내 유입을 막아 창문 근처공간의 과도한 휘도 발생을 방지하고 반사된 빛을 실내 안쪽으로 유입시켜 실내의 주광분포를 고르게 하는데, 건물의 입면에 영향을 미치므로 건축 디자인계획과의 조화가 요구된다. 광선반의 재질로는 광선반 상부에 정반사(specular) 또는 난반사(diffuse)의 재질을 부착하는데, 두 가지의 재질이 각기 장단점을 가지고 있기 때문에 사용되는 공간의 특성을 고려해서 재질을 결정해야 한다. 그리고 단순히 고정되어 있는 광선반 뿐만 아니라 계절변화에 따른 태양의 고도변화에 대응하기 위해 광선반의 각도를 조절하여 직사일광을 반사하여 실내 깊숙히 주광이 유입될 수 있게 하기도 한다. 광선반의 청결상태 유지가 광선반의 효율에 영향을

미치는데, 광선반 위의 먼지가 반사율을 저하시키기 때문이다.

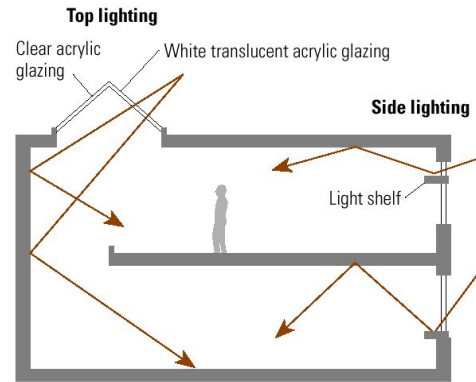


그림 2. 광천창 및 광선반의 단면

광천창은 천장에 설치된 수평적 창으로 많은 양의 주광이 공간 전체에 영향을 준다. 광천창의 레이아웃과 간격은 공간의 주광분포를 결정하여 주며, 유리창의 특성도 실내의 주광량과 주광분포에 영향을 준다. 빛의 출구에는 다중의 유리를 통해 과도한 휘도, 열 발생을 방지하며, 빛이 산란될 수 있도록 광학패널(optical panel)을 사용하기도 한다. 광천창은 대규모 쇼핑센터나 미술관/박물관에 많이 적용되고 있는데, 전시공간에 있어서는 전시물에 주광에 의한 변질 등의 역효과가 발생할 수 있기 때문에 특별히 주광이용에 신경을 써야 한다. 또한, 평면계획상 구조, 시공상의 문제점이 있고 특히 방수처리에 어려움이 있다.

돔 구조, 루프 모니터, 아트리움 등은 로비 등의 공용부에 주광을 유입함으로써, 건축공간에 역동적 느낌을 줄 수 있는 액센트를 주고 에너지 절감에도 기여할 수 있다.

주광의 이용에 있어서의 가장 큰 난점은 주광량이 시간과 계절 변화에 따라 계속 변화하는데 있다. 특히, 태양의 고도와 방위 변화에 따라 건축공간에서의 주광량이 계속 변화한다. 그래서 능동 시스템은 수동 시스템에 비해, 적극적으로 태양을 추적하면서 이용 가능

한 실내의 주광량을 되도록 많고 일정하게 하려는 시스템이다. 이 시스템도 수동 시스템과 마찬가지로, 집광부, 전송부, 산광부로 나누어 볼 수 있다. 광센서, 펄스모터, 컴퓨터 등을 이용해 태양을 추적하여, 거울과 렌즈에 의한 직사일광은 광학적 패널 등을 통해 실내의 원하는 곳으로 산란시키는 것이다.

대표적인 능동 시스템으로 솔라 추적시스템(solar tracking system)을 들 수 있다. 이 시스템은 거울을 옥상에 설치하고 태양을 광센서로 지속적으로 추적하여 모터로 제어되는 거울을 통해 반사된 빛을 실내로 유입시키고 광학적 패널을 통해 실내공간으로 산란시킨다. 이 시스템은 주로 대규모 쇼핑공간에 적용되며 맑은 날씨의 비율이 높은 미국의 서부지역에서 주로 사용되고 있다. 예를 들면, 미국 어느 회사의 시스템은 한 유니트가 약 600~800 watt 형광등 램프의 밝기에 해당된다고 하는데, 이 수치는 외부의 기상조건에 따라 변화될 수 있다.



그림 3. 솔라 추적시스템

또한 최소한의 동력을 통해 태양을 추적하고 프리즘을 이용해 주광을 산란시키는 방법을 이용하기도 한다. 확인된 태양의 위치에 따라 프리즘의 각도를 조절하여 많은 양의 주광을 집광하는 것이다. 집광부의 먼지나 잦은 기후 변화가 시스템 전체의 효율을 저하시킬 수 있다. 또 하나의 능동 시스템으로서 태양광 조명시스템이 있다. 외부의 태양광 집광기

로 주광을 집광하여 광섬유를 통해 실내로 유입하는 것이다. 태양광 집광기는 효율을 높이기 위해 태양을 광센서로 추적하여 집광기를 구동시키거나 프로그래밍을 통해 시간변화에 따라 자동으로 집광기를 구동시켜 보다 많은 주광량을 실내로 유입할 수 있도록 한다. 현재, 집광기는 국내 몇몇 업체에 의해 국산화되어 있으나 아직까지는 경제성 때문에 많이 적용되고 있지는 못하는 실정이다. 그러나 이 시스템은 지하공간에 주광을 이용할 수 있다는 측면에서 경제성 문제 이상의 다른 장점들을 고려해야 할 것이다. 특히 햇빛이 안 들어오는 곳에서 식물을 재배할 때 유용하게 사용될 수 있다. 광섬유의 실내 말단 부분에 설치되는 산광부는 렌즈(fresnel lens)와 반사각의 형태로 빛의 확산각을 조절할 수 있도록 하여 스포트(spot) 조명, 확산 조명에 이용하고 있다.

3. LED 조명기구 설계 방안

LED는 1960년대에 개발되었지만, 불과 지난 10년 사이에 다양한 조명활용이 가능한 LED가 나오게 되었으며(Stringfellow and Craford, 1997), 점차 수많은 LED사용 조명제품을 개발되었다. 초기의 LED광원 응용제품들은 조명(illumination)이 아닌 표시(indication)에 적합한 LED의 특성을 잘 이용한 것들이다. 표시용(indication)은 간판, 신호, 전자장비의 표시등과 같이 자신이 빛을 내는 물체로서 자신이 직접 보여주는 위한 광원의 사용을 말한다. LED indication 응용의 성공적인 예가 바로 비상구 표시등, 교통 신호등이다. 반면, 조명용은 대부분의 방안에서 볼 수 있는 일반조명(general lighting) 또는 많은 책상위에서 볼 수 있는 작업등(task lighting)과 같이 그로부터 반사된 빛으로 다른 물체를 보여주게 하는 광원의 사용을 말한다. LED는 색을 필요로 하는 조명응용에 매우 효과적이고 효율적이다. 백색광원과 색이 있는 유리나 플라스

틱 필터 또는 렌즈 등을 사용하는 기존의 간판이나 신호등과는 달리 고유한 파장대를 발광하는 LED는 색 필터가 필요 없다. 종래의 제품에서는 필터에 의해 흡수된 빛은 필연적으로 버려졌고, 이에 반해 LED광원을 채택한 신호등과 간판의 조명효율은 백색광을 사용하던 기존의 제품보다 매우 높다.

1990년대 중반에 개발된 백색 LED와 같은 최근의 기술적 진보는 LED의 조명시스템 응용이 가능하게 되었고, 많은 제품들이 지금 시장에 출시되어 있다. 현재도 LED 조명기술은 빠르게 발전하고 있고, 특정한 성능(luminous efficacy, light output) 표준이 주기적으로 향상되고 있다.

현재 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있는 GaN 백색 LED의 제작 방법으로는 모두 네 가지로 나눌 수 있다. 단일 칩 형태의 방법으로서 청색이나 혹은 UV LED 칩 위에 형광물질을 결합하여 백색을 얻는 각각의 방법과 멀티 칩 형태로 두 개나 혹은 세 개의 LED칩을 서로 조합하여 백색을 얻는 방법 등이 있다.

백색광 LED를 구현하는 방법들 중에서 상용화되어 사용되고 있는 방법이 1996년 니치아 화학에서 처음으로 청색 LED를 여기광원으로 사용하고, YAG(Yttrium Aluminum Garnet)의 노란색(560nm)을 내는 형광 물질을 접목시키는 방법이다. 그러나 청색과 노란색과의 파장 간격이 넓어서 색 분리로 인한 섬광효과 (Halo effect)로 인해 색 좌표가 동일한 백색 LED의 양산에 어려우며, 또한 조명 광원에서 중요한 변수인 상관 색온도(Correlated Color Temperature: CCT)와 연색 평가지수(Color Rendering Index: CRI)의 조절도 매우 어렵다. 이에 따라 적색을 내는 형광물질을 첨가하여 발광 스펙트럼을 넓혀서 이러한 단점으로 보완하는 방법을 사용하였다.

이러한 방법으로 제작되는 백색광 LED 램프는 연색성과 효율의 중요 성능지수가 서로 반대하는 특성이 있다.

표 1에서 보는 것과 같이 현재 상용화되어 시판되고 있는 백색광 LED는 색온도가 낮은 LED에 비해 색온도가 높은 LED가 광효율이 우수한 것을 알 수 있다. 또한 연색지수는 그 반대의 특성임을 알 수 있으며, 통상적으로 사무실 조명에 사용하기 위해서는 연색지수가 80 이상이 권장되고 있다.

표 1. LED의 색온도별 효율 특성

종류	효율(lm/W)	연색지수
2900K LED	60	80
5000K LED	80	72
6000K LED	75	76

실내로 유입되는 태양광의 비중에 따라 실내의 조도 환경 및 연색성 특성의 변화를 측정하기 위하여 그림 4와 같은 테스트 베드를 구성하였다. 테스트 베드에 사용되는 조명기구는 그림 4에서 보는 것과 같이 형광램프용 조명기구를 대체할 수 있는 연색성 가변형 LED 조명기구가 사용하였다.



그림 4. LED 조명기구의 설치 모습

태양광의 유입량은 그림 5에서 보는 것과 같이 창측에 블라인드를 설치하여 태양광의 비중을 조절할 수 있도록 하였다. 바닥면에 설치된 조도 센서를 이용하여 인공광과 자연광의 유입량의 비중을 계산하였고, 연색성 변화 특성은 분광기(Spectrometer, PR650)를 이용하여 분석하였다.

자연광의 유입량에 따라 연색성의 변화 특성을 표 2와 같이 측정되었다.



(a) 차단된 모습 (b) 자연광 유입 모습

그림 5. 자연광의 유입량 제어

표 2. 태양광 유입량에 따른 연색성 변화

태양광의 비중 (광속, lm)	연색지수		
	2900K LED	5000K LED	6000K LED
0	80	72	76
300	86	83	85
600	89	87	88
900	91	89	90
1200	93	91	92

4. 결 론

본 연구는 차세대 신광원으로 주목받고 있는 LED 광원에 주광을 능동적으로 이용함으로써, LED 광원의 연색성과 효율의 양면성을 개선 방안을 제안, 실험을 수행하였다.

실험을 통하여 자연광의 유입량에 따라 각 램프의 연색지수는 많은 변화를 보임을 알 수 있었고, 사무실 조명에 사용을 위한 최소 80 이상의 연색지수를 확보하기 위해서는, 연색성이 좋은 2900K LED 램프와 효율이 우수한 5000K LED 램프를 적절히 조합하는 방법이 효율적인 것으로 제안되었다.

태양광이 유입되는 주간 시간대에서는 고효율의 5000K 광원을 주로 사용하고, 자연광의 유입이 없는 저녁 및 심야 시간대에는 효율보다는 연색성 특성이 우수한 2900K LED

램프를 사용함으로써, 효율향상과 조명환경 개선의 두 가지 조명요소를 해결할 수 있다.

후 기

본 논문은 한국연구재단 일반연구자지원사업(기본연구)의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 정봉만, "Design Issues for LED Lighting Applications", 제2회 광반도체산업기술 국제 워크숍, 2003. 11.
2. 이형재, 홍창희 외, "광 반도체 산업기술 개발을 위한 신기술 동향 및 전략 수립", 전북대 반도체물성연구소, 2003. 3.
3. 김지동, "LED 조명기술동향", 한국과학기술정보연구원, 2004. 1.
4. "Solid-State Lighting Systems", Lighting Research Center, 2001. 4.
5. "Lighting Answers", NLPPI, Vol. 7 Issue 3, 2003. 5.
6. L정유근, 김정태, "지하공간 활성화를 위한 반사거울형 채광장치의 성능평가", 대한건축학회논문집, 17권 5호, 통권151호, 2001.05., pp.197~202.
7. 김정태 · 정유근 · 김선국, 황민구 · 강용혁 · 임상훈, "광 파이프 시스템의 채광성능 평가", 대한건축학회논문집, 17권 4호, 통권 150호, 2001. 04., pp.119~224.