

LED 조명의 응용 기술 동향

이정호 <삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소 파장> · 신승호 <삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소 소장>

1. 시작하며

최근 지구를 보존하기 위한 녹색기술이 글로벌 이슈화 되면서 전 산업분야에서 친환경 저에너지 기술이 개발되고 있으며, 조명 분야에서도 LED가 4~5년 전부터 서서히 두각을 나타내면서 미래 조명, 차세대 광원이라는 관심을 받으면서 지속적인 개발이 진행 되고 있다. 더불어 매출, 수요의 증가와 더불어 수 많은 기업과 일자리들이 생겨나고 있는 추세이다.

도입 초창기와 비교하여 광효율이나 색온도 같은 소자의 성능 측면에서 많은 개선이 되었고, 응용 분야도 확대되면서 실제로 많은 사람들이 경험하면서 다양한 개선사항들도 도출되고 있는 상황이다. 하지만 LED가 갖고 있는 하드웨어적 성능과 소프트웨어인 장점을 최대한 활용한 응용 분야 발굴에 있어서 여전히 산업 전반의 기대치에는 못 미치고 있는 실정이다. 본 원고에서는 미에너지성(US DOE)에서 발간한 자료를 기초로 LED 기술의 현 수준과 응용 분야에 대한 현황 파악을 통해 앞으로의 전망 예측을 위한 참고 자료가 되고자 한다.

2. LED 조명의 응용분야

LED는 작은 소자 크기와 직진성이 강한 배광 특

성을 이용하면 전반 조명으로써 다양하게 활용될 수 있다. 다운라이트, 선반 하부 매입 조명, 작업 조명, 옥외 조명, 디밍 시스템 등 전 조명 분야에서 활용이 가능하며 각각의 장·단점을 가지고 있다. LED만의 특징을 가장 잘 활용한 분야와 제어를 통해 이를 극대화 시키는 기술의 융·복합이 필요한 시점이다.

2.1 다운라이트

다운라이트는 가장 일반적인 조명의 형태이자 LED 적용을 통해 에너지 저감의 효과를 크게 볼 수 있는 아이템이다. 실제로 매입형 다운라이트는 주방, 복도, 욕실 및 기타 공간에서 등에서 가장 보편적으로 많이 활용되고 있으며, 사용되는 광원은 기존에 백열램프, 리플렉터형 백열램프가 많이 사용되어 왔고 현재는 컴팩트형 형광램프(이하 CFL)가 많이 대체되어 사용되고 있다. 이 중 리플렉터형 백열램프는 빛을 반사시켜 하부로 모아주는 역할을 하지만 일반백열램프와 CFL은 빛의 배광이 확산형태가 되므로 기구 내 손실이 발생하여 실제 전체 광속의 40~50[%]의 효율 저하가 발생하는 문제점이 있다. 주거용 건물의 조명현황을 살펴 보면 해외(미국 기준)는 세대 전기 사용량의 15~20[%], 국내는 10[%] 정도 수준이다. 색온

도나 연색성 같은 조명의 질적인 측면도 많이 개선되어 대체 적용하기에 큰 문제가 없으며 효율 측면에서 LED가 백열램프 대비 75(%)의 에너지 저감이 가능하다. 아파트 내 백열램프가 사용되던 현관 센서등이나 할로겐 다운라이트는 점차적으로 LED로 대체되고 있는 추세이다.

2.2 책상 작업 조명

작은 사이즈와 LED 소자의 직진성을 활용하면 다양하고 혁신적인 작업(Task) 조명의 디자인이 가능하다. 책상 조명은 가정과 사무실에서 전반조명과는 별도로 작업면에 충분한 조도를 공급하기 위해 일반적으로 40×30(cm) 정도의 면적을 비추는 역할을 한다. 균일하고 그림자가 없는 분포로 조명이 되어야 하며, 원하는 방향으로 비추기 위해 각도 조절이 가능한 구조를 가지고 있어야 한다. 또한 사용자에게 눈부심을 발생시키지 않고 연색성이 좋은 광원이 적용되는 것이 바람직하다.

표 1. 작업 조명의 광원 비교

	Halogen	Non-ES CFL	Energy Star CFL	LED 1	LED 2	LED 3
색온도(K)	2856	3432	2891	4390	6255	3631
연색성(CRI)	100	79	81	88	74	71
광속(Lumens)	351	236	700	148	301	430
소비전력(Watts)	38	10	16	10	11	10
광효율 (lm/W)	9	24	43	16	27	42

〈출처〉 www.eere.energy.gov

기존에는 할로겐, 백열전구, CFL이 주로 많이 사용되었고, 조명기구는 60도 각도 내의 조사각을 갖도록 디자인 되었다. 이러한 램프들은 기구와 근접시 적외선 복사로 인해 열적 불쾌감을 유발하는 단점도

있다. 현재 수많은 LED 작업 조명이 나와 있고 미에너지성에서 몇 가지 타입에 대하여 기존 광원과 비교 테스트한 결과가 아래 표와 같다. 할로겐 램프와 비교해서는 LED 성능이 우수하나 에너지스타 인증 CFL과 비교해서는 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 기술의 발전 속도가 빠르고 신제품이 끊임없이 나오고 있는 상황이므로 아래 결과를 일반화할 수 없기 때문에 제품별 항목별 비교를 통해 적용성 여부를 판단해야 한다.

2.3 옥외 조명

옥외 조명은 도로, 차도, 주차장, 보행용 조명으로 메탈할라이드와 나트륨 램프가 주로 많이 사용되고 있다. 이 두 광원은 에너지 효율이 좋고 성능에 대한 검증이 되어 오랫동안 사용되어 왔지만 최근 LED 기술은 더 적은 에너지를 소모하면서 동일한 밝기의 빛을 제공하는 것을 가능케 하고 5만 시간 이상의 장수명은 보통 1만5천에서 3만 시간인 고휘도 방전램프에 비해 유지보수 측면에서도 장점을 갖추고 있다. 또한 수은과 납이 포함되어 있지 않아 환경보호에 유리하며 재점등시 지연시간 없이 순간 점등이 가능하다.

제조사마다 LED 제품의 질적 차이가 다양하므로 용도에 맞는 제품 선정에 주의를 해야 한다. LED 제품의 성능은 열과 전기적 특성에 민감하므로 취약시 급격한 광속 저하나 수명의 조기 단축이 일어나기도 한다. 더욱이 기술의 초기 단계로 장기간 사용에 대한 데이터 축적된 것이 없기 때문에 사용자들은 CALiPER¹⁾ 테스트와 GATEWAY²⁾ 프로그램 보

- 1) 미에너지성에서 신뢰할 수 있는 반도체 조명의 성능 확보를 위해 일반조명으로써의 활용성에 대한 다양한 제품 테스트를 수행하는 프로그램. Commercially Available LED Product Evaluation and Reporting (CALiPER)
- 2) 미에너지성 주관의 주거 및 상업용 일반조명으로 고성능 LED 제품의 적용성에 대한 시연

특집 : LED 조명 응용 기술

고서와 같은 성능과 수명에 대한 정보 자료를 통해 예측을 해야 한다.

옥외 조명 적용시 설계와 사양별 고려사항 : 에너지 효율, 내구성, 연색성, 수명, 광속 유지율, 배광, 글래어, 비용

에너지 효율성은 광도와 소비전력이 포함된 광효율, 조명기구의 효율, 그리고 최적화된 배광을 포함한 개념이다. 목적은 필요한 최소의 전력으로 적절한 밝기와 질의 조명을 제공하는 것으로 첫 번째 단계는 광원별 배광 분포를 검토하는 것이다. 기준 배광인 IES 형식의 파일은 공식인증기관이나 공인된 제조사에서 측정되어야 하며 프로토타입이나 컴퓨터 모델이 아닌 실제 제품의 배광이어야 한다.

표 2. 광원별 옥외 조명의 배광 비교

	나트륨 150(W) HPS	메탈할라이드 150(W) CMH	LED 150(W)
소비전력	183(W)	167(W)	153(W)
색온도(K)	2,000(K)	3,000(K)	6,000(K)
연색성(CRI)	22	80	75
초기 광속(lm)	16000	11900	n/a
하향 배광 비율	70(%)	81(%)	n/a
하향 배광 광속(lm)	11,200	9,639	10,200
조명기구 효율	61(lm/W)	58(lm/W)	67(lm/W)

조명기구는 광학적 정밀도에 따라 성능이 달라진다. 배광자료는 조명기구에서 빛이 하향으로 향할 때의 효율을 나타내며 조금 더 세분화하면 도로방향인지, 집으로 향하는지로 구분이 된다. 이러한 배광이 실제 노면위에서 나타나는 효과를 파악하기 위해서는 조명 시뮬레이션과 측정을 통해 확인할 수 있다.



그림 1. 70(W) 나트륨 가로등



그림 2. LED 3열 가로등

표 3은 그림 1(70(W) 나트륨 가로등)과 그림 2(LED 3열 가로등)의 조도 측정 데이터와 2열 LED 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. LED 가로등 2가지 케이스 모두 나트륨 가로등에 비해 최대 조도는 떨어지지만 균제도는 향상된 것을 알 수 있다.

옥외 조명은 기구 상부에 먼지나 물기가 쌓이지 않는 구조로 설계되어야 한다. 유지보수에 대한 노력을 줄이기 위해 글라스나 아크릴과 같은 광학부위도 깨끗한 상태로 유지되는 재질이 고려되어야 한다. 보호등급(IP지수)은 먼지와 수분으로부터 조명기구의 저항에 대한 등급을 표기한 것으로 두 자리 숫자로 표현된다. 예를 들면 IP65에서 6은 먼지에 대한 최고등급으로 전혀 먼지가 들어가지 않는 구조에 5는 8단계인 방수에 비해서는 낮은 단계로 비가

내리는 경우 보호가 가능한 수준이다. 장기간 내구성을 위해서는 개스킷이나 기구 이음매의 실링부위의 예상 수명을 문의하고 5년 내 파손시 교체 가능여부를 확인해야 한다.

표 3. 광원별 옥외 조명의 배광 비교

	나트륨 가로등 (70[W])	LED 3열 가로등	LED 2열 가로등 (옵션)
소비전력	97[W]	72[W]	48[W]
평균조도	38[lx]	39[lx]	26[lx]
최대조도	81[lx]	55[lx]	36.5[lx]
최소조도	13.4[lx]	10[lx]	13.6[lx]
Max/Min Ratio (균제도)	6.04:1	2.68:1	2.68:1
기구당 소비전력	425(kWh/yr)	311(kWh/yr)	210(kWh/yr)
기구당 에너지 절감율	-	114(kWh/yr) (26.8%)	215(kWh/yr) (50.6%)

가장 효율이 높은 백색 LED의 색온도는 4,500~6,500[K]이다. 이 범위는 순백색에서 약간 차가운 느낌의 백색까지의 분포이다. 목표 색온도를 만들기 위해 다양한 색온도의 소자를 혼용하여 사용하기도 한다. 연색성도 제조사, 제품, 색온도에 따라 달라진다. 일반적인 LED의 연색성은 70에서 75로 나트륨램프의 22, 일반 메탈램프의 65에 비해 우수한 성능으로 대체하기에 무리가 없다고 보인다. 하지만 최근 적용되고 있는 연색지수 80이상의 세라믹 메탈할라이드 램프에 비해서는 부족한 측면이 나타난다. 색온도와 연색성을 판단하기 위해 분광분포스펙트럼(SPD, spectral power distribution)을 사용하면 다른 광원과의 상대적인 비교가 쉬워진다. 그림 3은 다른 광원과의 분광스펙트럼 비교를 보여주고 있다.

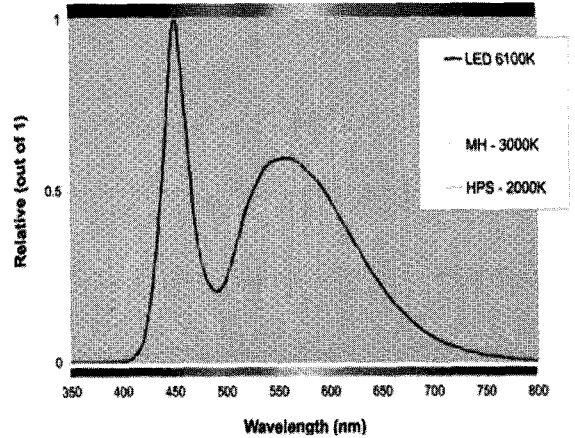


그림 3. LED 분광분포스펙트럼 비교

장기간에 걸친 완전한 테스트가 되지 않기 때문에 LED의 수명에 대해 예측하는 것은 논쟁의 소지가 있다. 또한 기술도 지속적이고 빠르게 진화하면서 과거의 테스트 결과가 무의미해지고 있는 상황이다. 대부분의 제조사에서 사용하는 것이 초기 광량의 70[%]까지 광속이 저감될 때까지를 수명으로 보고 인테리어는 5만 시간, 옥외조명은 10만에서 15만 시간까지 목표로 설정한다. 제조사는 최대 구동 전류와 접점의 온도를 초기 광량 70[%] 이상 유지되도록 설정을 하며 이 경계 조건보다 이하에서 동작시 수명은 늘어나게 되어 있다.

열은 LED의 수명과 출력을 직접적으로 영향을 미치므로 열처리 LED의 장기가 성능을 위해 중요하다. 특히 다이오드와 보드의 접점 온도는 성능에 영향을 미치므로 LED와 전원공급장치를 위해 방열설계가 잘 되어야 한다. 기구 제조사에 동작허용온도를 요청하고 온도와 광출력, 광속저감과의 영향도에 대해서도 확인을 해야 한다.

실제 모든 광원은 광속이 점차적으로 감소하기 때문에 조명설계시는 평균 광속을 사용해야 한다. 일반적으로 광원 수명의 약 40[%]에 이르렀을 경우의 광속값으로 나트륨램프는 초기 광량의 약 90[%], 메탈할라이드는 75[%], 세라믹 메탈할라이드는

특집 : LED 조명 응용 기술

이드는 80(%) 수준으로 보면 된다. 그림 4는 HID 램프와 2개의 LED 램프의 광속유지곡선을 나타낸 것이다. LED중 하나는 5만 시간의 유효수명을 가지고 설계가 되었고, 다른 하나는 그 이상을 목표로 설계된 것이다.

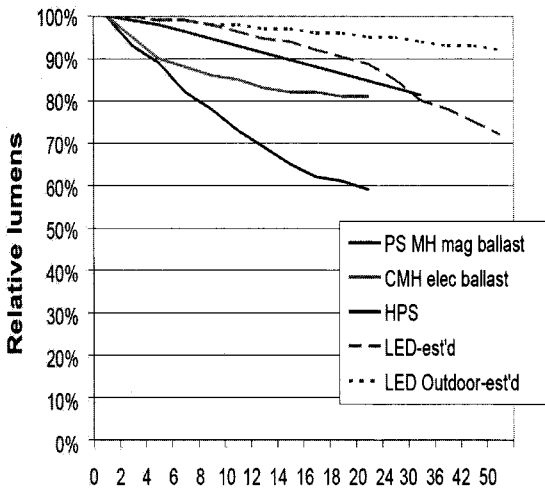


그림 4. HID광원과 LED 광속저감율

개별 LED는 각각의 광원이기 때문에 메탈할라이드나 나트륨 램프와는 다른 광학 특성을 가지게 된다. 효과적인 LED 조명기구 설계는 LED의 직진하는 특성을 잘 살려 손실을 최소화하고 효율을 극대화 하며 정밀한 차단각과 균일한 배광 분포를 갖도록 하는 것이다.

배광분포도를 통해 수평면과 수직면상 빛의 분포는 파악할 수 있다. 일반적으로 수직면상 70~90(°) 사이에 발생하는 휘도를 줄여야 눈부심과 빛의 침투(light trespass)을 방지할 수 있다. 또한 90~100(°) 사이 발생하는 빛을 제거해야 백광(sky glow)현상을 막을 수 있다. 그림 5와 그림 6은 조명 분류시스템(Luminaire Classification System) 상에서 전방향과 상방향 빛의 방향을 나타내고 있다. 그림 7은 수평면상의 배광 형상을 나타낸 것으로 기

구 간격을 결정하기 위해 사용된다.

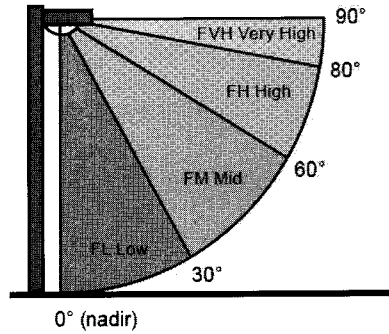


그림 5. 전방향 배광 단면

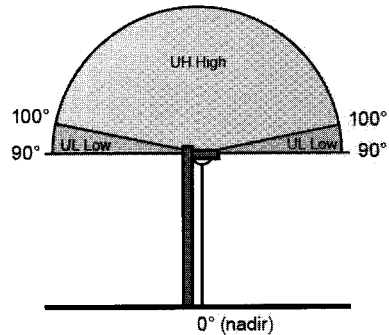


그림 6. 상향 배광 단면

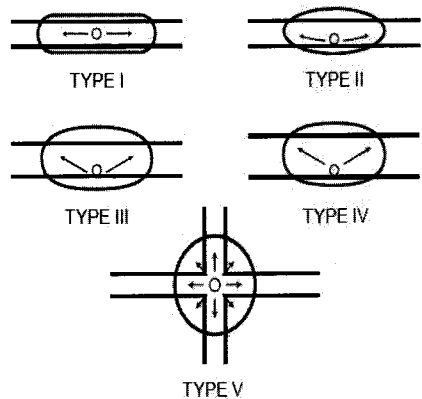


그림 7. 옥외조명분포(IESNA기준)

옥외 조명을 위한 점검항목

옥외 조명은 LED 적용 전망이 있는 분야로 정기적으로 신제품이 출시되고 있다. 아래 항목들은 지금까지 언급된 주요 내용에 대한 요약이다.

- 배광데이터 및 조도 분포
- 조명기구의 보증기간
- 용도에 맞는 보호등급(IP) 적용
- 동작 온도와 광효율과 광속저감과의 관련 정보
- 용도에 맞는 색온도
- 눈부심 평가
- 경제성 평가(에너지, 장비, 유지보수 및 제어 비용 고려)

2.4 LED 디밍 시스템

이론상 LED는 완전하게 디밍이 가능하지만 기존 디머와는 상호 호환이 되지 않는다. 백열램프는 복사 방식의 광원으로 전압조절에 의해 쉽게 디밍이 가능하지만 방전램프의 경우는 디밍 효율이 떨어지는 문제를 가지고 있다. CFL도 백열램프와 같은 전압조절을 통해 디밍이 가능하지만 저가의 안정기로 인해 일반적으로 광도의 20[%] 레벨 단위로 디밍이 된다. 정밀하게 제작된 전자식 안정기는 연속디밍을 통해 5[%] 이하 레벨변화가 가능하지만 실질적인 경제성이 떨어진다. 핀타입의 CFL 중 독립형 디밍 안정기를 사용하면 0에서 10volt DC 제어를 통해 내장형 디머를 장착한 제품은 1[%] 수준까지도 레벨 제어가 가능하지만 대부분은 5~20[%] 레벨 제어 수준이다. LED램프도 CFL과 유사하게 별도의 저전압 디머가 필요하며 조명기구와 전자적으로 특성이 일치해야 효율을 발휘할 수 있다.

백열램프 디밍시 필라멘트의 온도는 낮아지고, 방출하는 색은 더욱 붉게 보인다. 50[%] 디밍시 15(lm/W)의 발광 효율은 10(lm/W)로 변하게 된다. 하지만 CFL은 디밍에 관계없이 색상이 변하지

않는다. 광효율도 40~50[%]까지 디밍되기 전까지는 거의 변화가 없다. 대부분의 백색 LED는 파란색 LED 소자에 형광체를 입혀 차갑거나 따뜻한 느낌의 백색을 만든다. 디밍시 백열램프와 같은 색온도의 변화는 일어나지 않지만 낮은 디밍 레벨에서는 드라이버의 효율저하 만큼 전반적인 효율이 떨어진다.

LED 제어 기술도 효율면에서 보완이 필요하지만 제어의 용이성은 LED의 미래 전망에 장점으로 활용될 것이다. 기존 조명 시장에서 디밍은 대부분 백열램프 계열에 적용되거나 형광램프가 사용되는 상업용 건물에서는 특별한 목적을 갖는 장소에만 적용되었다. 고가의 가격 때문이기도 하고 조명 제어에 대한 필요성에 대해 크게 인식을 하지 않기 때문이었다. 장기적인 관점에서 LED 조명의 보급은 광원의 변화뿐 아니라 조명제어 시장의 확대를 의미한다. 복잡하고 세밀한 제어가 가능해지고 다양한 통신 방식과의 융합을 통해 제어 가능한 에너지 저감 조명으로 인식되어 적용될 것이다.

3. 마시머

LED 소자를 조명으로 응용하기 위한 장점들을 요약하면 다음과 같다:

- 빛의 직전성
- 작은 크기
- 파손에 대한 내구성
- 저온 구동
- 순간 점등 가능, 워밍업 불필요
- 빠른 복원(잦은 점등으로 인한 수명 저하 발생하지 않음)
- 제어 용이성
- 적외선 자외선 방출 없는 광원

이 중 소자의 작은 크기와 제어가 용이한 점은 기존

광원과 큰 차별화를 보여줄 수 있는 강점이다. 건물에
너지 부하의 1/3을 점유하고 있는 조명이지만 지금까지
지도 제어가 이루어지지 않고 있는 점은 디밍을 위한
설비의 비용도 문제였지만, 정밀 제어가 되지 않기 때
문이다. 광원별, 기구별 세밀하게 제어가 된다면 에너
지 절감율도 높일 수 있고 다양한 제어요구에도 대응
이 가능하기 때문에 향후 적용성은 높다고 보인다. 현
재 아래와 같은 분야에서 조명용도로 LED가 활용되
고 있으며, 여러 가지 장점들을 복합적으로 접목한다
면 기존 조명과는 다른 개념의 조명설계가 가능한 미
래형 조명으로써의 활용성이 높아질 것이다.

- 선반 하부 조명
- 선반 내부 엑센트 조명
- 작업 조명
- 냉장고 내부 조명
- 옥외 조명
- 엘리베이터 조명
- 매입형 다운라이트
- 엑센트 조명
- 보행용 스텝 조명
- 간접 조명
- 재실 센서 연동 조명
- 음식물 매장
- 매장 전시 조명

◇ 저 자 소 개 ◇



이정호(李正鎬)

1974년 5월 26일생. 1998년 한양
대학교 건축공학과 졸업. 2000년 한양
대학교 건축공학과 졸업(석사). 현재
삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소
과장. 2010년~현재 본 학회 편수위원.



신승호(辛承浩)

1958년 10월 10일생. 1982년 성균관
대학교 기계공학과 졸업. 2000년 한양
대학교 건축공학과 졸업(석사). 1982
~1994년 삼우종합설계. 현재 삼성물산
건설부문 친환경에너지연구소장.