

반도체 LED조명기술의 특성과 응용

정봉만 <한국에너지기술연구원>

1. 조명기술과 에너지

우리나라 총 전력소비량 대비 조명용 전력은 1990년 18[%]에서 2003년 22.4[%](66(TWh))로 크게 증가하여 미국의 25[%] 수준에 근접하는 많은 에너지를 소비하고 있다.

이에반해 조명기기는 투입된 에너지 중 광원의 가시광선 방사효율이 3~30[%]로 낮고, 안정기와 등기구를 포함한 시스템효율은 0.3~20[%]정도로써 매우 비효율적인 에너지 다소비기기라 할 수 있다. 이는 역설적으로 에너지절약 가능성이 큰 기술분야이며, 실제로 국내외적으로 에너지절약기술의 핵심적인 역할을 하고 있다. 대표적으로 LED신호등의 경우 시스템 효율을 0.3[%]에서 3[%]으로 향상시켜 에너지절약 90[%]를 달성한 예이다.

이상에서 보듯 조명기술은 큰 에너지절약 잠재력을 바탕으로 대부분의 국가에서 에너지문제 해결과 더불어 지구환경을 개선할 수 있는 기술적 대안의 하나로 인식하고 있으며, 에너지관련 부처를 중심으로 국가적인 연구개발계획을 수립하여 추진하고 있다.

2. 반도체 LED 조명기술의 특성

반도체 LED를 조명용 광원으로 사용하기 위해서

는 무엇보다 기존 광원과 비교하여 LED 광원의 구조적, 광학적, 전기적, 환경적 적응 특성을 이해하고, 이러한 특성을 조명기구 설계 시 적절히 반영하는 것이 요구된다.

LED 광원의 조명특성은 다음과 같이 요약된다.

- ◆ 구조적 : 기존의 광원과는 달리 작은 점광원으로써 유리전극, 필라멘트 및 수은(Hg)을 사용하지 않아 매우 견고하고, 수명이 길며, 환경 친화적이다.
- ◆ 광학적 : 선명한 단색광을 발광하여 연색성이 나쁜 반면 색을 필요로 하는 조명기구에 적용 시 빛 손실이 매우 작고 시인성이 향상되며, 지향성 광원으로써 등기구 손실을 줄일 수 있다.
- ◆ 전기적 : 특정전압 이상에서 점등을 시작하고 점등 후에는 작은 전압변화에도 민감하게 전류와 광도가 변화한다.
- ◆ 환경적 : 온도상승 시 허용 전류와 광 출력이 감소하고 많은 열이 발생하는 등 주위온도 및 동작 온도 변화에 대해 매우 민감하게 동특성이 변화한다. 만약 허용치 이상의 전류가 흐를 경우 수명이 대폭 감소하고 성능이 크게 저하되므로 적절한 열처리 장치와 전류를 제어하는 구동장치(Ballast)를 필요로 한다.

2.1 작고 견고한 구조(장 수명)

LED는 기존의 유리전구 형태의 광원과 다르게 단단한 고체형태(Solid state)의 작은 점광원으로 개당 광 출력이 매우 작은 반면 견고하고 수명이 긴 특성을 지니고 있다.

LED의 개당 광 출력은 수 루멘정도로 실질적인 조명용 광원으로 사용은 수십~수백 개의 LED를 직렬로 연결하여 사용하게 된다. 수명은 통상 4~5만 시간을 예측하며, 이는 기존 전구의 수천 시간에 비해 유지보수를 대폭 절감할 수 있는 장점이 있다.

이러한 특성을 이용한 응용분야로 유지보수가 어렵고 크기가 제한된 후미진 곳, 광원을 숨길 필요가 있는 내장형 조명기구와 비상구 등에 적합하다.

2.2 단색광 발광과 높은 시인성

LED는 사용된 반도체에 의해 결정되는 특정 파장의 단색광 만을 발광한다. 이에따라 특정한 색을 요구하는 조명기구에 응용할 경우 별도의 착색렌즈 없이 높은 유효 발광효율을 얻을 수 있다.

예로써 필라멘트의 발열에 의해 빛을 발산하는 백열전구로 적색광을 얻기 위해서는 전구 외부에 적색으로 착색된 렌즈를 필요로 하며, 이 경우 90[%]의 빛이 손실된다. 반면 적색 LED의 경우 특정 파장의 적색만 발광하므로 백열전구에 비해 빛이용율을 10배 이상 높일 수 있다. 이 경우 백열전구와 LED의 발광효율(LPW)이 같아하더라도 적색기준의 유효 발광효율은 LED가 백열전구보다 10배 높으며, 동일 밝기 기준으로 90[%]의 에너지절약이 가능하게 된다.

이러한 특성을 이용한 응용분야로 교통신호등, 항공장애등, 비상구, 등명기와 같이 색을 요구하는 조명기구에 적합하다.

2.3 용이한 광 출력 제어와 빠른 응답

LED의 광 출력을 제어하기 위해서는 전원전압(전류)을 제어하는 방법과 전원전압을 일정하게 유지하면서 펄스 폭을 변조하는 방법이 있다. 일반적으로 신호등과 같이 단순한 조명장치는 전압(전류)제어 방식을, 전광판과 같이 다양한 밝기와 색을 연출하여야하는 복잡한 조명장치는 디지털 기술을 이용한 펄스 폭 변조방식을 사용하고 있다.

기존 백열전구의 경우 빛을 발광하기 위해서는 전원 공급 후 필연적으로 필라멘트가 가열되는 시간이 필요하게 되며, 통상 2/10초 이상 소요되는 것으로 평가되고 있다. 이에 반해 LED는 전원 공급과 동시에 전자와 양 전하의 결합하여 순간적으로 빛을 발광하게 된다. 이러한 순간 점등특성을 이용하여 특수 조명기구에 응용할 경우 큰 효과를 기대할 수 있다.

예로써 자동차의 브레이크등(적색)에 적용할 경우 반사경을 사용하지 않아 컴팩트하게 다양한 모양으로 설계가 가능하며, 폐차시까지 램프의 교환 없고 소비 전력을 1/10로 줄일 수 있는 장점 외에 빠른 점소등 응답으로 교통안전에 크게 기여하는 것으로 평가되고 있다.

2.4 큰 지향성 - Task lighting

LED칩 자체는 지향성 광원이 아니나 모듈화된 LED램프는 반사컵과 에폭시 렌즈의 구조 등에 의해 배광특성이 결정되며, 최대 광도를 발산하는 방향을 중심으로 좌우각도에 따라 광도가 감소한다. 이때 중심 축 방향의 최대광도의 50[%]되는 각도를 반치각 또는 가시각($\Delta\theta$)이라 한다. 반치각은 최대광도와 더불어 LED의 발광효율을 결정하는 중요한 요인이며, 동일 칩을 사용한 LED의 경우 반치각이 클수록 중심 축 광도는 작아진다.

이때 작업면(Work plane)이 특정 지역으로 제한되어 있을 경우 목적조명(Task lighting)이 가능하

여 빛을 사방팔방으로 발산하는 기존 광원 보다 2배 이상의 등기구효율 향상이 가능하다. 이러한 지향특성으로 독서등, 도광판 채용 비상구, BLU 등에 응용하면 유리하다.

2.5 낮은 UV/IR

가시광선의 좁은 파장대를 발광하는 LED 광원은 IR, UV가 없어 대기로의 열방사는 없는 반면 접합부 위에서 큰 열이 발생한다. 이러한 국부적인 열 발생에 의한 내부 온도상승은 LED 조명성능과 수명에 큰 영향을 주게되므로 조명시스템 설계 시 적절한 열처리 기술의 접목은 매우 중요하다.

분산배열과 개개의 전력부하를 제어하여 열을 외부로 적절히 방출할 경우 박물관 조명, 냉동냉장고의 내부조명에 우수한 효과를 기대할 수 있다. 예로써 현재 형광등을 주로 사용하는 냉장 쇼 케이스의 경우 짧은 수명에 깨지기 쉽고, 불균일한 조도와 열 전달 등이 문제되나 LED를 사용할 경우 작은 점광원을 균일하게 분배하여 조도를 균일하게 유지하기 용이하고, 내부의 적은 열방사로 냉장효율을 증가시킬 수 있다. 또한 형광등의 경우 저온에서 광 효율이 25(%) 감소하는 반면 LED는 광 효율이 증가하여 부가적인 에너지 절약도 기대된다.

3. 반도체 조명기술 응용사례 및 효과분석

3.1 LED 교통신호등

긴 점등시간으로 많은 에너지를 소비하는 신호등은 선명한 특정색을 필요로 하며, 진동, 온도, 습도 등에 대한 높은 내구성과 장수명을 요구하는 특수 조명기구이다.

신호등용 광원으로는 백열전구가 사용되어 왔으나 앞서 고찰된 LED 광원의 고유특성과 장점을 활용한 한국형 LED 신호등 규격을 개발 및 제도적 보급기반

이 구축된 2002년 이후 LED 신호등이 널리 보급되고 있다.

LED신호등은 전구식 신호등에 비해 시인성과 내환경성이 크게 향상되었음에도 에너지절약 90(%), 유지보수비 75(%)감소 등의 긍정적인 효과입증으로 지시용 조명기구에 대한 LED광원의 응용성을 촉진하는 계기가 되었다. 실제로 1개의 사거리를 LED 신호등으로 교체시 4가구에서 사용하는 전력량을 절약할 수 있다.

2004년 말 국내 신호등은 총 126만개로 모든 신호등을 LED로 교체할 경우 절전 잠재량은 330[GWh]이며, 현재 27만개(보급율 21.4(%))가 교체되어 연간 70[GWh]의 전력을 절감하고 있다.

3.2 LED 등명기(Buoy)

등명기란 선박의 안전운항을 위해 바다에 떠있는 신호등으로 유리 백열전구를 사용하는 기존 등명기의 경우 낮은 빛 이용효율, 잦은 고장과 유지보수의 어려움, 큰 태양전지와 축전지, 예비전구와 램프교환 보조기 등을 내장하는 비효율적인 조명기기이다.

이에반해 LED광원을 사용하면 높은 빛 이용효율로 고가의 태양전지 및 축전지용량을 대폭적으로 줄일 수 있고, 견고한 구조로 보조기기가 필요없는 장수명의 매우 효율적이고 경제적인 조명기기로 탈바꿈이 가능하다.

2년간의 연구개발 및 실증기간을 거쳐 2003년부터 소형 LED등명기가 보급되고 있으며, 조만간 중형, 대형 등명기에도 적용할 계획이다.

3.3 LED 문자형(Channel Letter) 간판

문자형 간판이란 문자구조의 틀안에 광원을 설치하고 필요시 외부에 확산 필름을 부착한 광고용 조명기구로서 대부분 네온과 형광등 광원이 사용되고 있다. 이러한 문자형 간판은 낮은 빛이용효율, 파손과 짧은

수명, 누전과 화재위험이 상존한다.

LED 광원을 문자형 간판에 적용할 경우 이러한 단점을 크게 개선할 수 있으며, 실증실험 결과 10배 이상의 장수명으로 70(%)이상의 에너지절약효과 있는 것으로 평가되었다.

우리나라 네온간판의 연 전력사용량은 1140(GWh)로 이를 LED로 교체할 경우 연간 800(GWh)의 전력을 절약할 수 있는 것으로 분석된다.

3.4 LED 유도등(Exit Sign)

비상시 긴급대피를 안내하기 위해 사용되는 유도등은 직사각형 구조로 형광등을 사용하고 있으며, 최근에는 소형화된 정사각형 구조의 CCFL 또는 LED 광원과 도광판을 사용하는 유도등이 소개되고 있다.

유도등은 소형, 중형, 대형으로 구분되며, 형광등의 경우 각각 17(W), 27(W), 48(W)의 전력을 소비하는 반면, LED 유도등의 경우 2.4(W), 5(W), 8(W)로 평균 84(%)의 에너지절약효과가 있는 것으로 평가 되었다.

우리나라 유도등의 연 전력사용량은 490(GWh)로 이를 LED 유도등으로 교체할 경우 연간 410(GWh)의 절약효과가 있는 것으로 분석되었다.

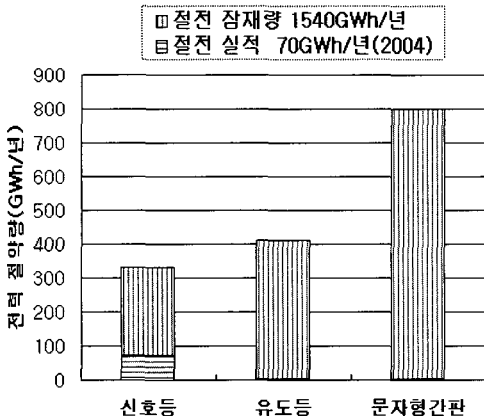


그림 1. 절전 잠재량 및 실적

그림 1은 대표적 지시용 조명기기인 신호등, 문자형 간판, 유도등에서의 LED 광원 도입에 따른 에너지절약 잠재량 및 절약실적을 도시한 것이다.

4. 반도체 조명기술의 전망과 전략

반도체기술의 급속한 발전과 더불어 21세기 조명기술을 주도하고 있는 반도체 LED 광원의 경우 부분적인 상용화 성공 및 향후 200(lm/W)의 효율향상 가능성으로 미국, 일본을 중심으로 조명에너지 20(%) 감소, CO₂ 1990년 수준 억제, 조명시장 50(%) 점유등의 장기적인 목표를 수립하고 대형 국가개발 계획을 추진 중에 있다.

지난 30년간 LED의 조명효율(LPW)은 18~24 개월 주기로 2배씩 증가하여, 현재 실험실적으로는 60~90(lm/W)급이 소개되었으며, 시장에서는 20~30(lm/W)의 LED가 보편적으로 사용되고 있다. 이는 백열전구의 2배, 형광등의 1/3수준으로 아직 일반조명용으로 광범위하게 사용하기에 비현실적이나 LED의 고유한 발광특성을 이용한 색을 필요로하는 지시등의 경우 현재도 충분히 경제성있는 고효율 조명기기로 널리 보급되고 있다.

기술향상 추이를 볼 때 2010년경 100(lm/W) LED의 상용보급이 가능하리라 예상되며, 이렇게 될 경우 LED는 일반조명용 광원으로써 경제성 및 응용성이 한층 신장되어 본격적으로 기존광원을 대체하는 응용분야가 출현하리라 예상된다. 이에따라 전체 램프시장에 대한 LED의 비중도 2005년 약 2.5(%)에서 2010년 약 7(%)로 상승하리라 예상하고 있으며, 2020년경 200(lm/W)의 상용화 보급이 이루어질 경우 전체 램프 시장 200억불의 50(%)인 100억불을 LED가 차지하리라 예측하고 있다(그림 2).

지금까지의 LED광원에 대한 인식은 조명성능은 다소 떨어지나 기존 광원과는 다른 독특한(장점이 많은) 구조적, 광학적, 환경적, 전기적 특성을 갖는 특

수램프로써 지시용 조명기구에 제한적으로 응용되어 왔다. 그러나 조명성능의 급격한 향상과 더불어 기존 광원의 단점을 해결하는 새로운 일반 조명용 광원으로써 재 평가되고 있으며, 보급확산 속도는 LED광원의 발광효율 향상과 밀접한 관계가 있으리라 예상된다. 따라서 단기적으로는 현 기술수준으로도 경쟁력있는 새로운 조명응용분야를 도출함과 동시에 중장기적으로는 하루가 다르게 변화하는 반도체광원기술을 면밀히 추적하면서 남보다 앞서가는 미래 지향적인 연구 개발노력이 요구된다.

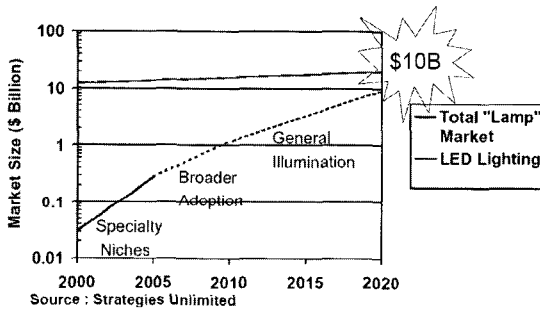


그림 2. 반도체조명 시장전망

참 고 문 헌

- [1] 정봉만, “에너지절약형 LED 교통신호등 규격연구 및 시스템 개발”, 한국에너지기술연구원 연구보고서 KIER-A03930, 산업자원부, 2002. 4.
- [2] 정봉만, “LED(Light Emitting Diode) 등명기 연구 개발”, 한국에너지기술연구원 연구보고서 KIER- A15240, 해양수산부, 2002. 12.
- [3] 정봉만, “LED 조명기기 시범설치 및 효과분석”, 한국에너지기술연구원 연구보고서 KIER- A55522, 에너지관리공단, 2005. 12.
- [4] 정봉만, “조명용 고효율 LED광원기술 개발”, 한국에너지기술연구원 연구보고서 KIER-A52409, 과학기술부, 2005. 12.
- [5] Max Yue, “LED for General Lighting”, Proceeding of International LED Seminar 2006, KINTEX, 2006. 5.
- [6] 정봉만, “고효율조명기기 응용사례 분석”, 도서출판 아진, 고효율 LED 및 고체광원 조명기술 총서 pp128~167, 2006.4

◇ 저 자 소 개 ◇



정봉만(鄭鳳晚)

1954년 12월 6일생. 연세대학교 전기공학과, 충남대학교 전자공학과(석사·박사). 현재 한국에너지기술연구원 전기조명연구센터/책임연구원.

◇ 전문활동분야 : 고효율조명기술연구회, 본학회 평의원

◇ 관심분야 : Solid State Lighting기술

E-mail : bmjung@kier.re.kr