



반도체조명의 시대를 여는 LED

■ 여인선 / 전남대학교 전기공학과 교수

서론

최근 삶의 질을 추구하는 경향에 따라 쾌적한 조명 환경이 요구되고 있으며, 안전성, 지구환경 보호를 주제로 하는 상품 개발이 이루어지고 있다. 특히, 기후변화협약 등 지구 환경 보전 및 에너지·자원 절약이라는 전 세계적인 명제 아래, 고효율 조명을 위한 광원 개발 및 전자회로 응용기술이 속속 개발되고 있다. 또한, 고령화 사회로의 진행과 함께 미래가 더욱 복잡해짐에 따라 다기능적인 환경 조성이 필요하므로, 조명의 질적 측면과 다양한 능력의 측면이 더욱 요구되어, 새로운 조명 기술 및 차세대 조명을 위한 각종 광원 및 점등 시스템이 연구·개발 중에 있다.

그 대표적인 것으로서, 일렉트로루미네선스(Electroluminescence)를 이용한 광원의 일종인 발광 다이오드(Light emitting diodes; LED)는 고체 발광소자로서 광출력이 낮은 단점 때문에 그동안 표시소자 등에 국한되어 이용되어 왔으나, 최근에는 일부 조명용으로도 이용 가능성을 보이고 있다. 1990년 황색 발광 고광도 AllnGaP 소자가 등장한 이후 최근 10년간 LED에 대한 연구개발이 활발히 이루어져 왔으며, 특히 고효율 LED에 대한 연구개발에 집중하고 있다. 그 결과 적색 및 황갈색의 InGaAlP, 청색 및 녹색의 InGaN, 그리고 InGaN/YAG 형광체 등을 포함한 백색 LED 시장은 점점 확대되고 있다.

LED는 기존의 단순한 디스플레이용 소자로서의 용에서 탈피하여, 내구성, 장수명, 경량 소형, 에너지

절약 등의 이점을 갖는 차세대 반도체조명(Solid state lighting)용으로 관심이 집중되고 있다. 특히, 고효율 Blue LED 개발에 이은 백색 LED의 출현 및 고효율화를 통하여 기존의 백열전구 등을 대체할 수 있는 조명 제품을 개발함으로써 에너지 절약 및 녹색 환경 조성에 앞장설 수 있는 대표적 방안으로서 떠오르고 있다.

LED는 건물의 피난유도등 조명에 사용되어 우수한 내구성 및 뛰어난 에너지 절약효과를 입증한 이래, 미국의 경우 대다수의 건물이 이를 채용하고 있을 정도이다. 그리고 유럽을 중심으로 하여 기존 교통 신호등 조명에 사용된 백열전구를 대체하기 위한 연구개발 성과 발표, 시범 사업, 규격 표준화 및 특성 평가 기술에 관한 국제적 합의가 이루어지고 있는 중이다. 그리고 이제는 일반조명용 램프를 대체하기 위한 각국의 관심과 노력이 치열해지고 있는 실정이고, 앞으로 5~10년 정도 후에는 성능이 우수한 LED 조명제품이 개발되어 상당수의 기존 조명광원을 대체할 수 있을 정도로 되고 Solid state lighting의 시대가 도래할 것으로 전문가들은 내다보고 있다.

본론

LED의 역사[1]

LED는 긴 수명, 소형경량, 높은 신뢰성, 간단한 구동회로 등의 장점을 갖고 있지만, 그 동안에는 적색 발광이 대부분이었고 높은 광도의 청색 및 녹색 LED의 개발이 이루어진 것은 극히 최근의 일이다.

1968년 상업적인 적색 발광 GaAsP 소자가 등장했을 때만 해도 발광효율은 약 0.1lm/W 정도에 그쳐 15lm/W 정도의 백열전구보다도 100배 이상 낮았기 때문에 이것의 주 용도는 실내용 표시소자에 국한되었다. 1970년대 들어 GaAsP:N LED가 적색, 오렌지색, 노란색 발광용으로, GaP:N LED가 녹색 발광용으로 사용되었으며, 발광효율은 대략 1lm/W 이하로서 계산기 응용분야에 사용되었다가 LCD 소자에 자리를 내주게 되었다.

1980년대 들어 등장한 고휘도 적색발광 AlGaAs 소자는 그 후 발광효율이 10lm/W 근처까지 달하여 자동차의 미등, 광고판과 같은 옥외용으로서 새로운 응용분야를 개척하여 백열전구와 경쟁하게 되었다. 기존 자동차 미등의 경우, 백열전구에서 나온 빛의 약 75% 정도가 적색 필터에서 흡수되고 실제 출력광은 3~4lm/W에 그치게 되어 LED가 경쟁력을 갖게 되고, 나아가 자동차 뒷창의 제동등을 대신하기에 이르렀다.

1990년 황색 발광 고휘도 AlInGaP 소자가 등장한 이후 혼합물 조성비에 따라 적색에서 녹색에 이르는 높은 광도의 LED를 구성할 수 있게 되었고, 빛의 3원색 중 나머지 하나인 고휘도 청색 LED 개발 및 보다 높은 광도의 녹색 LED 개발이 큰 과제로 남게 되었다. 청색으로는 SiC LED가 이미 실용화되어 있었지만, 전광색(Full-color)화를 추구하는 측면에서 볼 때, 이것은 간접천이형 에너지대 구조를 갖는 것으로서 발광효율이 0.1lm/W에 훨씬 못 미쳐, 그대신 가시광 전영역에 걸쳐 발광이 가능한 발광재료로서, III-V족 화합물 반도체인 GaN과 InN에 관심이 모아지게 되었다. 이들의 발광파장은 각각 364nm와 633nm로서, 갈륨과 인듐의 결정 혼합비를 변화시켜 이론적으로는 364nm에서 633nm에 이르는 임의의 광색 연출이 가능하다. 또한 이들 재료의 특징으로서 고용점, 고경도, 고열전도도를 꼽을 수 있으며, 에너지대 구조가 직접천이형이므로 고효율 발광소자 제작이 가능해지는 장점을 갖는다. 다만 단점으로서, 벌크 단결정을 얻기 어렵고, GaN과 격자 상수가 매칭되는 적당한 기판이 없으며, 성장온도가 약 1,000로 높아 결정성이 좋은 에피택셀 성장이 곤란하게 되는 점 등이 청색 LED의 개발을 가로막았다.

그렇지만 1993년 광도 1cd에 달하는 청색 LED가

개발되어 상품화에 성공하였다. 이것에는, 높은 반응온도에 따른 열대류에 의해 결정성이 높은 GaN이 성장하기 어려울 뿐만 아니라 GaN과 기판 사이의 격자구조 부정합 문제와 함께 p형 GaN의 생성을 방해했던 문제들이 해결된 것이 결정적인 역할을 하였으며, 이에 따라 고품질의 InGaN막이 얻어지게 되었고, 이로부터 2층 헤테로(DH)구조로 된 InGaN/AlGaN 소자로서 1cd를 얻을 수 있게 되었다.

그 후 효율향상을 위해 양자우물 구조를 채용한 6cd의 녹색 InGaN/AlGaN LED가 1995년에 개발되어 상품화되었으며, 동시에 청색 및 청록색 LED도 같은 구조로써 보다 색순도 및 발광효율이 한층 향상되었다. 그 결과 활성층 혼합물의 조성비를 변화시켜 청색에서 녹색에 이르는 고휘도, 높은 색순도를 갖는 LED를 얻을 수 있었고, GaAlAs LED와 함께 빛의 3원색 및 신호등 3색(적색, 황색, 청록색)을 얻기에 이르렀으며, 전광색화가 가능해졌다.

발광 원리

LED는 반도체 pn 접합에 전류를 주입하여 빛을 발생시키는 발광소자이다. 즉, 반도체 pn 접합 부분에서 전자(electron)와 홀(hole)이 재결합할 때 여분의 에너지를 광양자로 방출하는 것이다. 이때 방출되는 광양자의 파장 λ [nm]은 반도체 재료의 밴드갭 에너지의 크기에 따라 달라지고 다음 식에 따라 정해진다.

$$\lambda = 1240/E_g$$

(여기에서 E_g 는 밴드갭 에너지[eV])

따라서 각종 반도체 재료에 따라 여러 가지 광색의 LED가 가능하고, 적색, 녹색, 청색의 3원색 LED를 광색 혼합하여 각종 광색을 얻을 수 있다. 현재까지 반도체

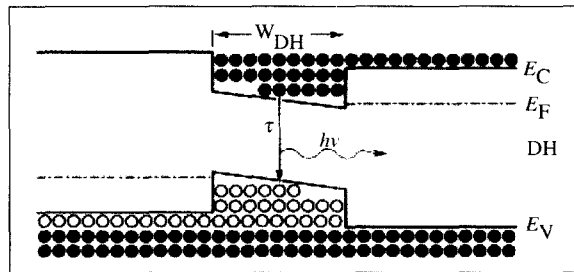


그림 1 헤테로접합 구조 LED의 발광 메커니즘[2]

체 발광소자인 LED를 사용하여 제작할 수 있는 가시광선 내의 파장은 다음과 같다. GaN를 기반으로 한 질화물 반도체의 경우 파장이 400~580nm (자색~녹색)의 범위 내에서 빛을 발생하는 것이 가능하며, (Al, Ga, In)P를 축으로 하는 반도체에서는 590~670nm(녹색~적색)의 파장을 갖는 빛을 구현할 수 있다. 따라서 그림 2에서 보는 바와 같이 가시광선 내의 대부분의 파장을 LED를 이용하여 구현할 수 있다

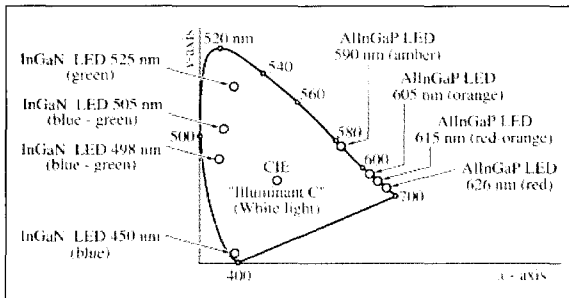


그림 2 각종 LED의 색도좌표 [2]

〈표1〉 대표적인 LED의 광색 및 용도

재료	AlGaAs	InGaAlP	InGaN
광색	적색	황록색~적색	청색~녹색, 백색(형광체 사용)
주 용도	표지판, 자동차 후면 상부제동등(CHMSL), 전자회로	표지판, 자동차 실내외등, 교통신호등	전광색 표지판, 자동차 실내등, 휴대폰 백라이트, 교통신호등

LED의 효율

LED의 효율을 표기하는 방법에는 "wall-plug" efficiency(WPE)와 발광효율(LPW)로 나타내는 방법이 일반적이다.

WPE와 LPW

전기적 입력에 대한 광출력의 비율 "wall-plug" efficiency(WPE) η_{wp} 로 표현하고 다음 식으로 계산한다.

$$\eta_{wp} = \frac{\eta_{int} \times \eta_{extr} \times E\lambda}{V_f \times q}$$

(여기에서 η_{int} : 내부양자효율, η_{extr} : 광추출효율, $E\lambda$: 광양자 에너지, V_f : 순방향전압, q : 전하량)

이중에서 내부 양자효율은 소자재료 특성 및 에피층 구조 및 성분과 광색에 따라 달라지며 발광층에서의 광방출 효율을 뜻한다. 그리고 광추출 효율은 발광층에서 나온 빛이 주변과의 굴절률 차이 및 chip 구조에 따라 소자 밖으로 방출되는 정도를 비율을 나타낸다. 이 식에 따르면 LED의 효율을 좋게 하려면 높은 내부양자효율, 높은 광추출효율, 낮은 순방향전압, 낮은 직렬 저항으로 LED를 구동할 수 있어야 하는데, 이것들은 소자 재료 및 구조 변경을 통해 이루어지게 된다.

다음 그림 3은 LED 구조에 따른 광추출 효율을 나타낸 것으로, 두꺼운 윈도우를 사용하는 가에 따라(b), 그리고 투광성 기판을 사용하는 가에 따라(d) 광추출 효율이 향상됨을 보이고 있다. 즉, (a) 얇은 윈도우+흡수성 기판을 사용한 경우의 4~5% 정도에 비해, (d) 두꺼운 윈도우+투광성 기판을 사용한 경우가 25~30%로 6배 정도 광추출효율이 향상된다.

한편, 전기적 입력(W)에 대한 발산 광속(lm)의 비율 lm/W로 표시하여 발광효율(Luminous efficacy; LPW) 라고 부르며, 일반적으로 조도용 광원의 효율을

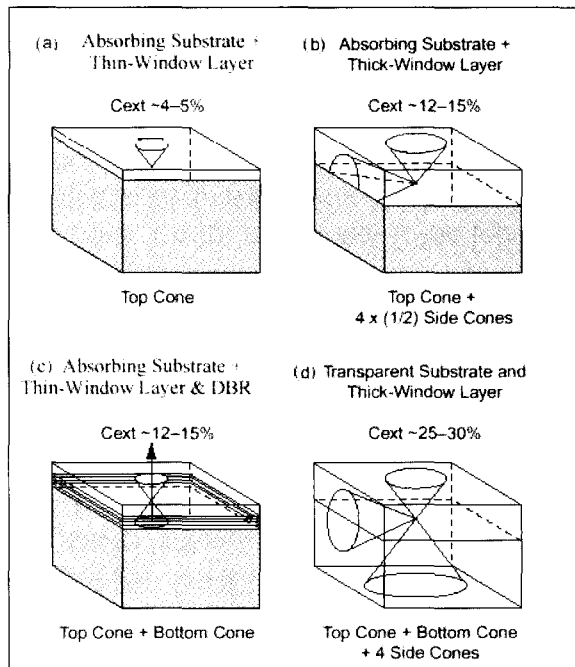


그림 3 LED 구조에 따른 광추출 효율 [3]

나타내는 데 사용된다.

백색 LED

LED를 조명광원으로서 이용하려면 백열전구나 형광램프처럼 백색광을 낼 수 있도록 해야 한다. 현재 백색 LED를 만드는 방법에는 그림 4에서 보는 바와 같이 RGB 삼원색 LED를 조합하거나(a), 형광램프에서와 같이 단파장 LED와 형광체를 조합하여(b) 백색광을 구현하는 것이 대표적이다.

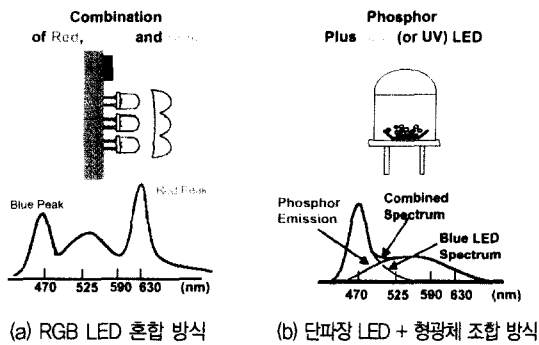


그림 4 백색 LED 구현 방식[4]

1) RGB LED 혼합 방식

- 장점
 - 다양한 색온도의 광색이 가능하다.
 - 광색 혼합 범위가 아주 넓다.(그림 5 참조)
 - 비교적 우수한 연색성
 - 효율이 높다. (장기적인 관점에서)
- 단점
 - 수명 및 사용시간에 따른 광색열화 때문에 광색 제어가 요구된다.
 - 정확한 광색혼합이 어렵다.
 - 시감효율이 높은 황색-녹색 대역(540~580nm)에 효율이 좋은 LED가 없다.

2) 단파장 LED + 형광체 조합 방식

이것은 청색 또는 자외선과 같은 짧은 파장의 단색광을 형광체에 쬐여 긴 파장의 빛으로 변환시키는 원리를 이용한 것으로서, 형광램프에서 백색광을 만드는 데 사용하는 방식이다.

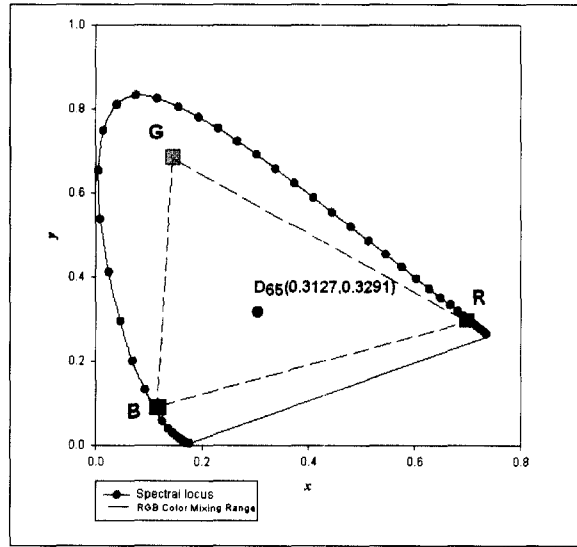


그림 5 RGB 혼합광의 CIE 색도표 범위

가) 청색 LED + YAG 형광체

- 장점
 - 백색광을 만드는 가장 쉬운 방법이다.
- 단점
 - 우수한 연색성을 얻기 어렵다. (Ra 75)
 - 수명 경과에 따라 형광체의 열화 때문에 광출력이 저하된다.
 - 형광체를 이용한 광색변환의 결과 필연적으로 효율이 제한된다.

나) UV LED + RGB 형광체

- 이 방식은 3파장 형광램프의 광색변환 원리와 같다.
- 장점
 - 형광체에 따라 다양한 색온도의 광색이 가능하다.
 - 우수한 연색성을 얻을 수 있다.
- 단점
 - 자외선 누출 문제와 자외선 방사에 따른 형광체 열화가 예상된다.
 - 형광체를 이용한 광색변환의 결과 필연적으로 효율이 제한된다.

이와 같은 백색 LED에 있어서 효율-연색성의 관계를 다음 그림 6에 나타내었으며, 표 2에 기존의 조명광원과 백색 LED의 특성을 비교하였다.

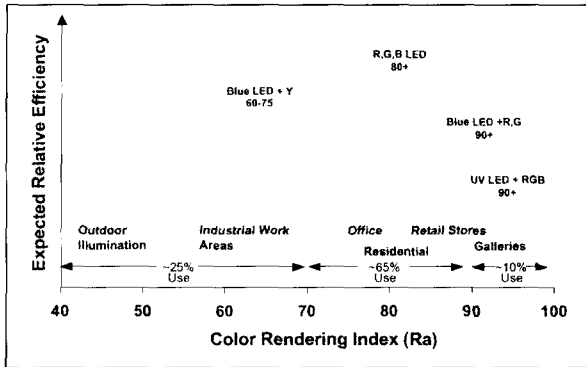


그림 6 백색 LED에 있어서 효율-연색성의 관계[4]

〈표2〉 각종 광원의 특성 비교 [5]

	백열전구	할로겐전구	형광램프	백색 LED
효율(lm/W)	7~20	8~24	35~100	15~20
수명(hr)	750~2,000	2,000~4,000	9,000~20,000	20,000
상관색온도(K)	2,500~3,000	2,800~3,150	2,700~7,500	>6,000
연색평가수	>95	100	49-92	70~80

고출력 LED의 개발 동향 LED의 성능향상 방안

조명용 LED를 개발에 집중하고 있는 업계의 개발 동향은 다음과 같다.

- 광출력 증가
- 발광효율 향상
- 신뢰성 및 광속유지 특성 개선
- 광색유지 특성 개선
- 가격 절감

이중에서 가장 시급한 것이 광출력 증가를 해결해야 하는 것으로서, 다음과 같은 해결책을 사용할 수 있다.

- 보다 넓은 면적의 소자 구조
- 보다 많은 구동전류
- 소자 구조 및 재료 개발에 의한 광추출 효율 및 광변환 효율 개선
- 멀티 칩 패키징

고출력 LED에 요구되는 성능 수준과 R&D 요소를 다음 표 3과 표 4에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 아직까지는 기존 광원에 비해 상당히 열세에 놓여 있다.

고출력화에 따른 문제점

1) 신뢰성 문제

사용시간에 따른 LED의 신뢰성과 관련하여, 그림 7

〈표3〉 LED의 성능향상 요구 수준 [6]

		성능		가격	
		효율(lm/W)	연색성	수명(khr)	(\$/kim)
백열전구	>50W	15	100	1	0.5
	<25W	8	100	3	5
형광램프	일반형	70-100	70-90	20	0.5
	컴팩트형	55-70	82	10	5-10
백색 LED	현재	15-20*	75	>10?	250-500
	목표	120*	80-90+	100	<5
	향상 요구율	6x-8x	~1.2	~10	50-100

〈표4〉 LED R&D 요소 [6]

제품 단계	칩	패키지	시스템
효율	높은 구동 전류에서의 효율 광추출 향상 순방향전압	고굴절율의 캡슐 형광체 이용한 백색광	등기구 및 2차 광학부
수명 / 환경	결함 감소	안정적인 캡슐 납 사용없는 뿔질 형광체 개선	광색 혼합 위한 제어 회로
가격	기판재료 개선 에피타락터 대형화	고출력을 위한 열관리	저가의 구동회로 및 등기구

에 보이는 5-mm LED의 경우, 수명경과에 따라 InGaN 계열의 LED가 AlInGaP LED 보다 광출력 열화가 심한 것으로 나타났다. 그러나 Power LED에 대해서는 아직 충분한 신뢰성 실험이 이루어진 것 같진 않다.

2) 구동전류 증가에 따른 문제[7]

다음 그림은 LED의 고출력화를 위해 구동전류(밀도)를 증가시켰을 때 나타나는 문제점을 지적한 것이다. AlInGaN LED의 양자효율은 구동전류 증가에 따라 감소하는 데 비해, AlInGaP의 경우는 거의 일정하다. 또한 AlInGaN LED의 경우에서도 다중양자우물(MQW) 구조가 단일양자우물(SQW) 구조에 비해 보다 효율 감소가 덜하다.

또한 청색, 녹색, 황갈색의 LED에 있어서 구동전류가 1mA, 10mA, 100mA로 증가함에 따라 단파장 쪽으로 스펙트럼이 이동하여 광색이 변하는 것을 알 수 있다. 또한 그 이동 정도는 파장이 긴 황갈색 LED의 경우에 심하게 나타난다.

고출력 LED의 개발 예

LumiLeds Lighting에서 광출력을 높이기 위해 Die

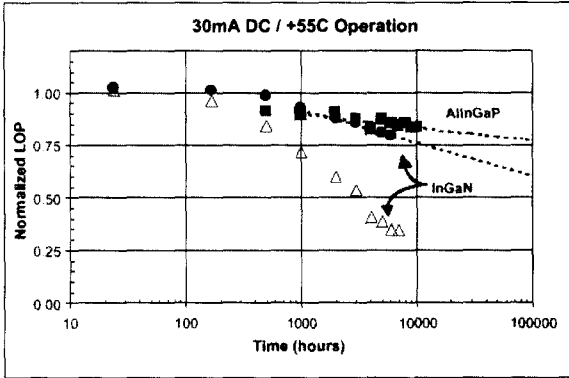


그림 7 사용시간에 따른 LED의 광출력 감소 [6]

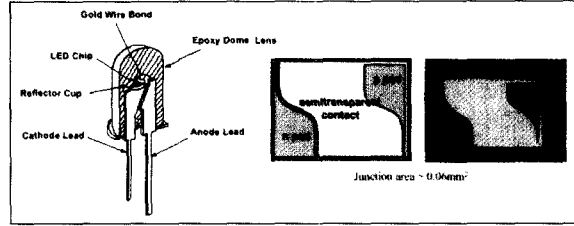


그림 10 기존 5-mm LED의 구조 및 칩 형상 [9]

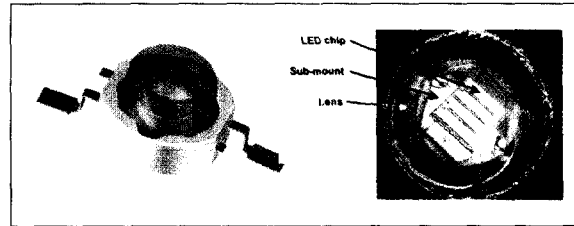


그림 11 Power LED Luxeon의 구조 및 칩 형상 [4, 9]

면적 확대와 함께 Flip-chip 구조를 채용하여 높은 WPE를 가지며, 높은 구동전류 및 고온 동작이 가능하도록 열저항의 개선, 2차 광학부 설계 등을 통해 개발

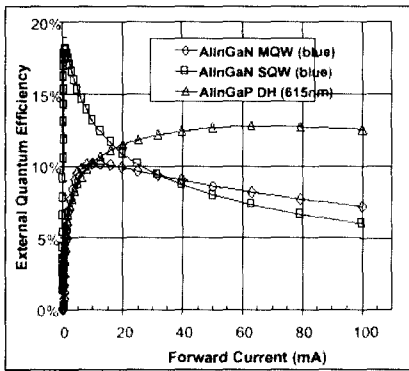


그림 8. 구동전류에 따른 외부양자효율 변화 [8]

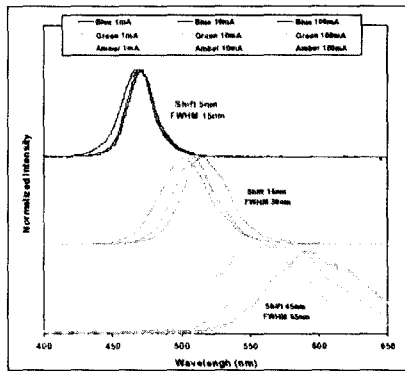


그림 9 구동전류에 따른 광색 이동 [8]

· 소프트 젤 함유한 캡슐
LumiLeds Lighting이 이 제품 개발을 위해 설계시 고려한 주안점은 다음과 같다.

이렇게 하여 개발된 고출력 LED인 AlGaInP(Red-Orange), AlInGaN (Blue to Green) 및 백색 LED의 성능향상 내용을 다음 그림 12~14 및 표 6에 나타냈다. 실험실에서 패키지로 ~1A 정도 구동하였을 때 LED 1개당 100lm 수준까지 가능하다고 하는 보고도 있다.

한 Power LED인 Luxeon의 특징을 살펴본다.

1) 기존 5-mm LED

- 높은 열저항 >200°C/W
- 고온 열화에 따른 에폭시 변색 : T<120°C
- 낮은 광추출 효율
- 입력 전력 P < 0.1W 로 제한

2) Power LED, Luxeon

그림 11에 보이는 Power LED Luxeon는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 낮은 열저항 ~12°C/W
- 입력 전력 P ~1W

〈표5〉 Luxeon 설계 포인트

제품 단계	설계 주안점
Die	고출력 위한 die 면적 확대
	낮은 집속저항을 위한 전극 설계
	Flip-chip 구조
Package	낮은 열저항
	안정적인 소프트 젤 함유 캡슐
	효과적인 광학설계에 의한 배광 제어
System	낮은 열저항의 회로판 설계
	효과적인 2차 광학부 설계

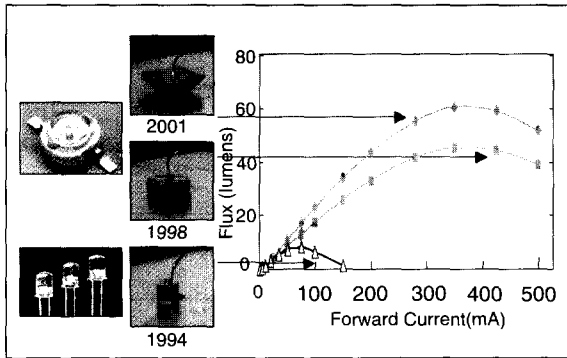


그림 12 고효율 AlGaInP LED의 진보 [4]

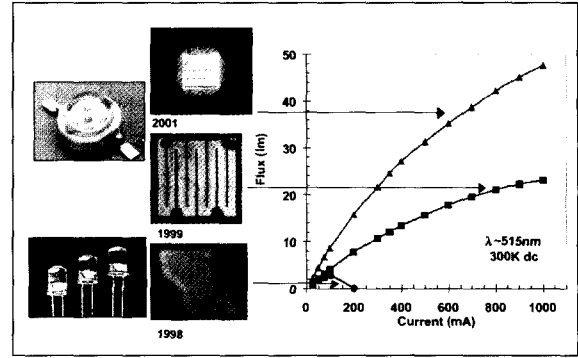


그림 13 고효율 AlInGaN LED의 진보 [4]

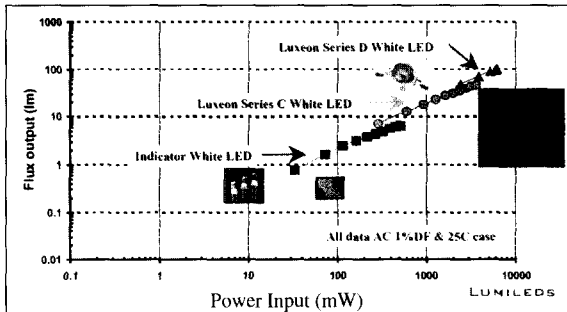


그림 14 고효율 White LED- Lumileds Luxeon Series [4],[9]

LED 조명시대의 도래

LED 조명의 특징

- 낮은 소비전력 → 에너지 절감
- 긴 수명 → 유지 비용 절감
- 적은 발열 → 하우징 손상 줄임
- 소형 → 공간, 시공, 재료 절약
- 저전압 구동 → 안전성

백색 LED 조명의 용도

이미 지적한 바와 같이 LED는 기존 광원에 비해 광출력, 색온도 및 연색성, 수명, 가격 등에서 아직까지는 현저히 열세에 놓여 있어서, 일반 조명에 적용하기에는 시기상조인 것만은 분명하다. 그렇지만 특수조명 분야 및 일부 틈새 분야에서 점차 그 활용도가 높아가고 있으며, 현재 사용 가능한 용도로는 다음과 같은 분야가 있다.

1) 단색광 활용 분야

- 교통신호등
- 도로조명: 도로/통로표시등
- 자동차 방향지시등, 제동등, 비상등
- 백라이트 사인 및 채널 문자
- 운곽 조명 (네온사인 대체)
- 사인 조명: 도로표시판, 대형전광판
- EXIT 표시판, 바리케이드 조명

2) 백색광 활용 가능 분야

- 경관 조명 (landscape lighting)

〈표6〉 고효율 LED- Lumileds Luxeon 의 효율 수준 [9]

Color	Luxeon(IF=350mA)	Production Typical		R&D Demonstrations	
		lm/W	lm/LED	lm/W	lm/LED
Red		44	43	50	50
Red-Orange		55	54	65	65
Amber		36	36	44	44
Green		25	30	50	55
Blue		11	14	15	20
White		18	22	30	36



- 안전 조명 (safety lighting) : 비상등
- 통로 조명 (path lighting) : 통로, 계단 표시등
- 건축 조명 (architectural lighting)
- LCD 백라이트 (노트북, 휴대폰)

이외에도 좁은 장소의 액센트 조명 : 선반/작업 조명, 전시함 조명, 수술 조명 등에도 이용되기 시작하고 있다.

LED 조명 적용 예

다음 그림 15는 교통신호등용 LED의 진보를 나타낸 것으로, LED 신호등 15W(수명 120개월)로써 백열전구 135W(수명 6개월)를 대체하여 소비전력 1/9, 수명은 20배로 성능향상이 이루어진 것을 나타낸 것이다. 당초 700개의 LED가 소요되던 것이 LED의 고출력화에 따라 12~18개로 대폭 줄어든 것을 보여준다.

그림 16은 미국 뉴욕의 타임즈 광장에 위치한 나스닥 건물로서 면적 10,736 ft² 에 달하는데, 총 18,677,760개의 LED를 사용하여 외관 전체를 뒤덮고 있는 모습을 보이고 있다.

그림 17은 Osram Opto Semiconductors사의

Bartenbach 조명연구소에서 세계 최초로 LED 실내조명을 구현한 것이다. 실내 천장에 14000개의 백색, 청록색, 청색, 녹색, 오렌지색, 적색 등의 LED가 배열되어 있으며 컴퓨터 프로그램에 의해 백색광을 내도록 설계되어 있다. 백색 LED 외에도 여러 가지 광색의 LED를 혼합한 것은, 일반적인 백색 LED가 청백색의 찬 느낌을 주는 것을 보완하기 위한 것이다. 일반 사무실에 적합하도록 500~600 lx의 조도를 낼 수 있는 이와 같은 실내에는 5년 내에 실용화 될 것으로 전망되었다.

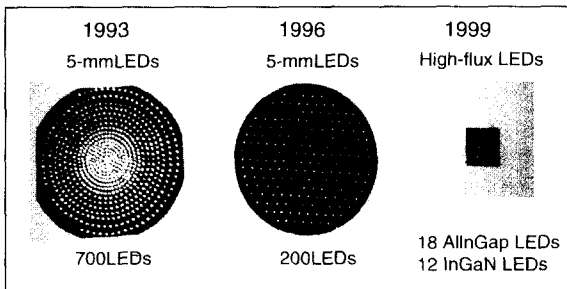


그림 15 교통신호등용 LED의 진보[10]

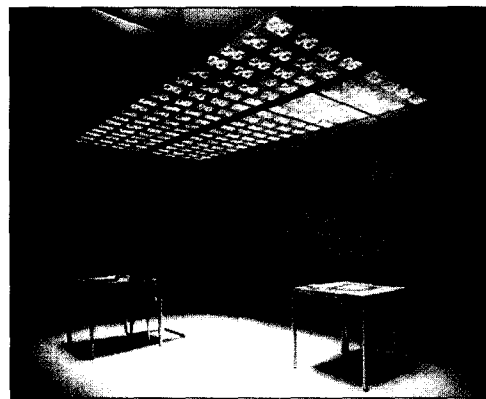


그림 17 세계 최초의 LED 실내조명 (Osram사)[11]



그림 16 미국 뉴욕 Nasdaq 건물 외벽의 LED 조명

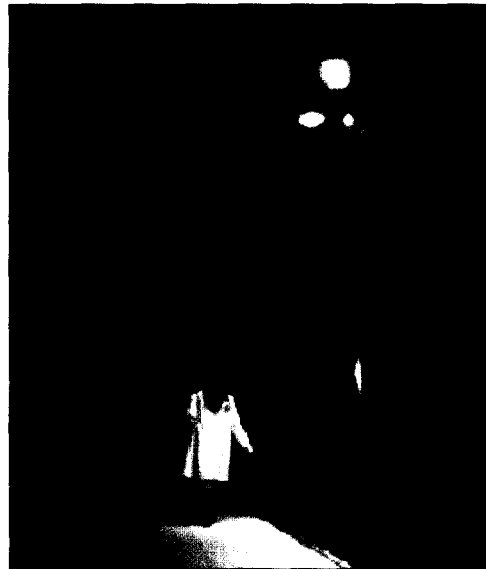


그림 18 LED 가로등 (일본)[12]



그림 18은 일본 정부가 기획하고 있는 “Japanese 21st Century Lighting Project”의 일환으로 시범 설치된 LED 가로등을 보인 것이다. 총 6000개의 LED가 사용되었으며, 효율은 20lm/W 정도이다. 이 가로등은 평소에는 5W, 80lx로 동작하다가 사람이 접근하면 센서가 동작하여 56W에서 660lx의 밝기를 내도록 설계되어 있다. 태양전지로 구동되며 설치 비용으로 \$8500가 소요되었다고 한다.

결론

지금까지 반도체조명을 선도하는 LED의 고출력화를 통해 일반조명광원으로서의 가능성을 살펴보았다. LED의 성능이 아직까지는 일반조명광원에 비해 현저히 열세인 것은 사실이나, 선진 각국이 앞으로 도래할 반도체조명 시대를 적극적으로 대처하고 있음을 볼 때 거국적 차원에서 이 문제를 다뤄볼 필요가 있다. 또 다른 한편으로는 “미래의 사회가 어떻게 달라지는가, 그 속에서 인간이 어떤 환경에 처하게 되는가”라는 관점에서 전망할 필요가 있다. 즉, 앞으로의 조명 광원 개발은 지구환경 보존과 관련하여, 또 사회현상의 변화에 대응하여 이루어질 필요가 있다. 그리고 고령화 사회로의 진행과 함께, 미래가 더욱 복잡해짐에 따라 다기능적인 환경 조성이 필요하므로, 조명의 질적 측면과 다양한 능력의 측면이 더욱 요구될 것이다. 따라서 조명이 미래 사회에서 아주 중요한 역할을 담당할 것이 분명하므로 이에 철저히 대비할 필요가 있음을 강조하면서 이 글을 맺는다. <전기의 세계 1월호>

참고문헌

- [1] 宮崎和人, “LED 技術動向とその應用”, 照明學會誌, 81(7), pp.558-562, 1997.
- [2] F. Schubert, *Light-Emitting Diodes: Device Physics, Fabrication, and Applications*, SPIE SC052, 2000.
- [3] H. Chui et. al., “High-efficiency AlGaInP light-emitting diodes,” in *Electroluminescence I, Semiconductors and Semimetals Vol. 64*, p.69, 2000.
- [4] M. G. Craford, *Recent Progress of LEDs for Lighting*, August 2001. Copyright (c) Lumileds Lighting.
- [5] K. M. Huang, “Today Starts Lighting of the Future,” Lightfair 2001.
- [6] M. G. Craford, “Overview of High Brightness LEDs and the Progress Toward High Power LED Illumination,” *Light Emitting Diodes 2001*, Intertech.
- [7] N. Narendran, “LEDs- What the technology delivers TODAY for architectural applications,” Lightfair 2001.
- [8] M. G. Craford, “Semiconductor Lighting Technical Barriers,” August 2001, Copyright (c) Lumileds Lighting.
- [9] P. S. Martin, et al, “High Power White LED Technology for Solid State Lighting,” August 2001. Copyright (c) Lumileds Lighting.
- [10] M. G. Craford, “Overview on High Brightness LEDs and the Outlook for Red and Yellow Devices,” *Light Emitting Diodes 2000*, Intertech.
- [11] Osram社 인터넷 자료, 2000.
- [12] Japanese 21st Century Lighting Project, 2000.