

백색 LED 기술 및 시장동향

한국광산업진흥회 정보지원팀

LED(Light Emitting Diode)는 내재된 발광소자에서 전기에너지를 빛에너지로 변환시키는 것으로 기존의 광원에 비해 소형이며 가볍고, 저전력으로도 구동이 가능하여 소비전력이 적을 뿐만 아니라, 수명도 거의 반영구적이다. 이중 백색 LED는 여러 색상의 LED 중 가장 늦게 개발된 것으로 현재 조명기구로 보급되어 있는 백열등이나 형광등을 대체할 수 있는 차세대 조명으로 기대되고 있으나, 아직까지는 휘도가 20Lm/W로 형광등과 같은 80Lm/W에 미치지 못해 현재는 주로 LCD의 백라이트/프론트라이트, 휴대전화, PDA, 디지털카메라 등의 휴대단말기쪽에 사용되고 있다.

백색 LED를 구현하는 방법으로는 Red, Green, Blue의 세가지 색의 LED를 적절히 조합하여 구현하는 방법, Blue와 Orange 두가지 LED를 조합하여 구현하는 방법, GaN 반도체와 백색 형광체를 이용하는 방법, 한 Chip에 밑의 층은 GaN, 윗층은 AlInGaP 소자를 적층시켜 백색을 발광하게 하는 방법 등이 있다.

백색 LED에 대한 세계수요는 1999년부터 급증하기 시작하여 2002년에는 239,300천개, 금액으로는 2,540억원에 달했으며, 국내에서도 2002년 965억원에 이르렀다. 향후 기술의 진보 여하에 따라 조명분야에도 진출하여 형광등을 완벽히 대체할 수 있을 것으로 보여 대폭적인 시장의 확대가 기대되고 있다.

현재 백색 LED 시장은 한발 앞서 진출했던 日亞전기공업, 가코시마마쓰시타전자, 시티즌 세 업체에서 전체 시장의 90% 이상 시장점유율을 보이고 있으나, 일본의 스미토모전기공업, 도시바, 도요타합성, 샤프, 미국의 OSRAM, Agilent도 기술개발을 완료하고 시장

에 진입하였고, 몇몇 국내 업체 또한 시장에 참여하여 향후 백색 LED 시장의 판도는 크게 변화할 것으로 예상된다.

1. 개요

LED는 p-n 정합부에 전류가 통과할 때 그 정합부에서 빛을 발하는 일종의 p-n 정합구조의 반도체 다이오드로서, 다수의 캐리어가 전자인 n형 반도체 결정과 다수의 캐리어가 정공인 p형 반도체 결정이 서로 접합된 구조를 가지는 광전변환 반도체 소자이다. 발광원리는 LED 전극에 순방향 전압을 가하면 전도대의 전자가 가전자대의 정공과 재결합을 위하여 천이될 때 그 에너지만큼 빛으로 발광한다.

즉 화합물 반도체의 특성을 이용해 전기신호를 원하는 영역의 파장대역을 갖는 빛으로 변환시키며, 사용되는 재료(GaAsP, GaP, GaN 등)에 의해 발광되는 빛의 파장이 결정된다. 발광하는 빛의 세기는 외부양자 효율 등과 관련이 있으나, 일반적으로는 인가되는 전류의 세기에 따라 달라지며 발광 구조에 따라 면발광형과 단면발광형으로 나눌 수 있다.

가. LED의 연도별 개발 추이

1960년대 후반 GaP, GaAsP 등의 화합물 반도체를 이용한 적색 LED가 최초로 상용화된 이후 녹색, 황색 LED가 꾸준히 개발되었으나, 휘도에 있어 경쟁 제품의 수준에 이르지 못하는 못하였다. 그러나 1980년 후반 이후 LED의 에너지 변환 효율이 현저히 높아졌고, 1990년대 초 InGaAlP 기술이 개발됨에 따라 초고휘

도 적색 및 주황색 LED가 상용화되기 시작하였으며 이후 1993년 일본의 니치아사에서 InGaN 재료를 이용한 고휘도 청색 LED를 발표하였고, 1995년에는 고휘도 녹색 LED를 개발하였으며, 1996년 청색 LED에 형광물질을 첨가시켜 구현한 백색 LED가 마침내 개발되었다.

빛의 원색인 적, 녹, 청색 LED가 모두 개발되고, 백색 LED가 구현된 이후에는 일반 조명에의 응용을 목표로 휘도를 높이는 방향으로 기술개발이 계속 진행되고 있다.

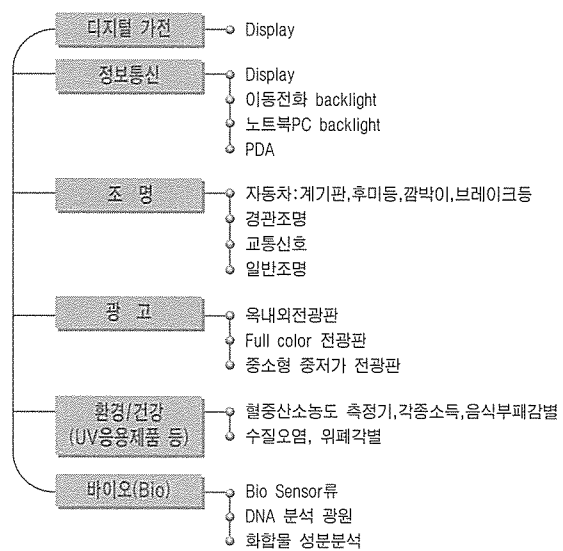
나. 백색 LED의 응용분야

LED는 정보통신, 일반조명 및 자동차, 교통신호 등의 조명, 환경, 바이오 등 매우 다양한 분야에 응용이 가능하다. 이중 백색 LED는 향후 조명기기로 이용되고 있는 백열등이나 형광등을 대체하는 차세대 에너지 절약 조명용 광원으로 기대되고 있으나 아직까지 기존 광원에 비해 광출력, 색온도 연색성, 수명, 가격 등에서 열세에 있어, 현재 기술수준으로는 휴대전화, PDA, 디지털카메라 등 휴대단말기 등의 LCD 백라이트, 안전조명, 통로, 건축 경관조명등 기존의 백열등을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 기술동향

가. 백색LED의 기술동향

백색 LED를 발광하는 방식은 사용되는 chip의 개수에 따라 1~3chip형으로 나눌 수 있다.



<그림 1> LED의 응용분야

1 chip형은 특정 광에 형광체를 여기하여 백색을 구현하는 방식으로 청색 빛을 나타내는 GaN로 만들어진 다이오드를 사용하고, 이를 백색광을 방출하는 phosphor가 있는 에폭시로 감싸는 형태로서, GaN 청색 LED에서 나온 photon이 백색광을 방출하는 phosphor를 때려서 결과적으로 백색광을 나타내게 하는 방법이다.

이 방법은 일본 Nichia화학이 1993년 개발한 청색 LED를 기초로 형광체를 조합해서 최초로 개발한 방법으로서, 사용되는 LED램프가 1칩 2단자의 단순한 구조이기 때문에 제조단가를 절감할 수 있고, 자연적인 백색을 실현할 수 있으며, 색 밸런스가 깨질 위험이 없는 장점이 있다.

2 chip형은 Boston University에서 제안한 mixing과

<표 1> LED에 의해 백색광을 얻는 방법

방식	여기원	발광재료	발광원리
1Chip형	Blue LED	InGaN/YAG: Ce	청색광으로 YAG형광체(황색발광)를 여기
	Blue LED	CdZnSe/ZnSe	청록광과 기판의 주황이 함께 2색 발광
	자외 LED	InGaN/ R, G, B 형광체	형광램프와 같은 모양으로 자외광에서 형광체를 여기
2Chip형	청색 LED 황록 LED	InGaN, GaP	보색관계의 2색을 하나의 Package에 실장
3Chip형	R, G, B LED	InGaN, AlInGaP	3원색의 LED를 하나의 Package에 실장

exciting방법을 결합해서 쓰는 방법으로 보색관계의 2색을 응용하며, 한 chip 안에 두개의 LED가 적층된 형태로 사용되며 원리는 밑의 청색발광 소자의 방출된 photon 중 일부는 그냥 통과하고 일부는 위의 층에서 yellow photon으로 에너지가 바뀌는 형태로서, 이 방법을 사용해서 적당한 물질조성과 적당한 두께를 적용해 백색 발광소자를 만들 수 있다.

3 chip형은 TV 방식과 같이 빛의 3원색인 적, 녹, 청

<표 2> 백색LED 제조업체 및 구현 방식

회사명	국가	종류	연도
Nichia	Japan	YAG	1997
Osram	Germany	Polymer	1998
Cree	USA	Phosphor	1998
Agilent	USA	YAG	1999
Teledyne	USA	Phosphor	1999
Nitres	USA	Polymer	-
Sumitomo Electric	Japan	YAG	in deve

자료 : Optoelectronics. A Strategic Study of the Worldwide Semiconductor Optoelectronic Component Industry to 2005 by Reed Electronics(2nd Edition, 2001)

을 이용하여 백색을 구현하며 이 방법이 일반적으로 사용되는 백색LED 제조방법으로 보색관계에 있는 빛의 3원색(Red, Green, Blue) LED Chip을 조합해 만드는데, 이를 실현하기 위해서는 칩(마이너스단자) 3개와 플러스단자 칩을 합쳐 총 4개의 단자가 필요하기 때문에 설계 및 조정이 복잡할 뿐 아니라 LED칩 1개에 문제가 생겨도 백색을 표현할 수 없게 되는 단점이 있다.

니치아의 백색LED는 InGaN 청색LED 칩 표면에 YAG(이트륨·알루미늄·가네트)계의 형광체 층을 투과하고, 나머지는 형광체에 닿아서 노란 빛이 되는데, 이 2색 빛이 섞여지면서 백색 빛을 발하며 스미토모 전기공업은 ZnSe 청색LED 발광과 ZnSe기판의 초록색에서 빨강색을 혼합하여 백색을 얻고 있다.

조명용 광원으로 백색 LED가 실용화되기 위해서는 형광등과 같은 100lm/W까지 높일 필요가 있으며 현재 LED조명 효율이 약 20~30lm/W로 일반 조명으로 사용하기에는 무리지만, 백색 발광 효율이 점차 증가하여 2005년경에는 기존의 형광등과 비슷한 특성 및 효율을 나타내어 일반 조명용으로 이용될 수 있을 것으로 예상하고 있다. 실제로 팩키지당 LED Flux는 지난 30년동안 거의 2년에 두배 이상 향상되고 있어 2005년경 일반조명용으로서의 응용은 충분히 이루어질

<표 3> 백색LED를 구현하는 제작방법 비교

구분	Blue LED + Phosphor	UV LED + RGB Phosphor	Binary complementary	RGB Multichip
Color Rendering	Fair	Best	Fair	Good
Color stability		Best	Fair	Fair
Lumens Maintenance	Fair	unproven	Good	Good
Phosphor Material	Available	Under development	Not required	Not required
Efficiency	Fair	Best	Good	Good
Application	Backlight	White lamp	Task lighting	Displays

자료: 전기전자재료학회지, 제 14권 11호, 2001. 11

것으로 예상된다.

구현 방식별 특징을 살펴보면 백색을 구현하는 방식에 따른 요소별 특징을 아래 표에 나타냈다.

UV LED + RGB Phosphor 방식의 경우 Color rendering, Stability, Efficiency 측면에서 다른 방식에 비해 우수하여 백색 램프용으로 사용될 가능성이 높으며 백색LED 제조공정중 주황색과 청녹색을 4대 1의 비율로 섞으면 백색광이 되는데, 주황색에서 적색까지의 발광을 조절할 수 있는 InGaAlP LED의 경우 성능지수가 100Lm/W를 초과함에 따라 현재 조합된 백색LED의 조명효율이 형광등에 가깝게 구현할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

3. 시장동향

가. 세계시장의 현황 및 전망

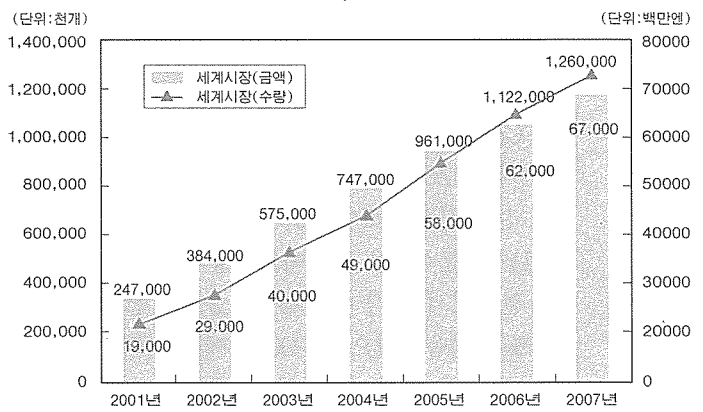
후지경제연구소의 자료에 따르면, 1999년 이후부터 수요는 급증하기 시작하여 2002년에는 384만개, 금액으로는 2,900억원의 시장을 형성하였으며 이는 백색LED가 기존의 CFL에 비해 소비전력이 적고 인버

터가 불필요한 장점이 있어 4inch 까지 소형LCD쪽(주로 휴대전화용 컬러 LCD)에 채용되었기 때문으로 풀이된다. 또한 2002년 이후에는 휴대전화와 더불어 PDA, 디지털카메라 쪽으로 용도를 확대하고 있다.

한편 Optoelectronics의 자료에 따르면 2002년 세계시장 규모는 4,212억원에 이르렀고, 이후 CAGR 37.4%로 성장하여 2005년에 1조 478억원, 2010년에는 5조 1,350억원에 달할 것으로 전망하여 후지경제 연구소에 비해 낙관적인 전망을 제시하였다.

용도별로 살펴보면 정보통신과 일반 소비재의 비중이 가장 큰 것으로 나타났고, 향후 두 분야 외에 컴퓨터, 자동차 산업의 비중이 증가할 것으로 전망하였다. 지역별 백색LED 시장규모를 살펴보면 2002년의 경우 일본에서 가장 큰 시장을 형성하였고, 그 뒤를 북미가 뒤따르고 있음. 2005년을 거쳐 2010년에 이를 경우 북미 시장의 규모가 일본시장의 규모를 앞지를 것으로 예상된다.

<그림 2> 백색LED 세계시장 규모 예측



〈표 4〉 용도별 백색 LED 시장규모 예측

(단위: 백만불)

용도별	2000	2000	2002	2003	2004	2005	CAGR	2010
Automotive	34	34	49	64	88	121	37.3	590
Computer	41	41	58	76	106	145	37.1	703
Consumer	61	61	88	114	159	218	37.5	1,066
Industrial	20	20	29	38	53	73	38.2	369
Aerospace	18	18	26	34	47	65	37.8	322
Telecoms	43	43	62	81	112	153	37.3	744
Other	9	9	13	17	24	32	37.3	156
Total	226	226	325	424	589	807	37.4	3,950

자료 : Optoelectronics. A Strategic Study of the Worldwide Semiconductor Optoelectronic Component Industry to 2005 by Reed Electronics(2nd Edition, 2001)

〈표 5〉 지역별 백색 LED 시장규모 예측

구분	2000	2000	2002	2003	2004	2005	CAGR	2010
북미	64	63	91	119	165	226	37.6	1,105
일본	80	79	114	148	206	282	37.4	1,370
유럽	50	50	71	93	129	177	37.1	868
기타	34	34	49	64	88	121	37.3	606
계	228	226	325	424	588	806	37.4	3,949

자료 : Optoelectronics. A Strategic Study of the Worldwide Semiconductor Optoelectronic Component Industry to 2005 by Reed Electronics(2nd Edition, 2001)

나. 일본시장의 현황 및 전망

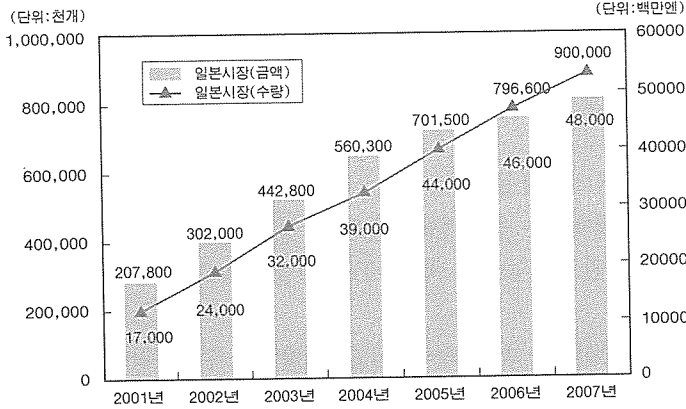
후지경제연구소에서 전망한 자료에 따르면, 일본시장의 규모는 2002년 302백만개로 2,400억원이었고, 이후 CAGR 18.3%로 성장하여 5년 뒤인 2007년에는 수량 기준으로 900백만개, 금액 기준으로 4,800억원으로 전체 시장규모가 2배 커질 것으로 예상하였다. 2001년 일본시장은 니치아화학공업, 가코시마마쯔시타전자에서 각각 65.2%, 33.2%로 전체시장의 98.4%를 점유하였으나, 2002년에는 시티즌전자의 시장진입으로 인해 니치아화학공업, 가코시마마쯔시타전자, 시티즌전자 각각 46.9%, 27.3%, 17.7%를 점

유하였다.

2001년 일본시장은 니치아화학공업, 가코시마마쯔시타전자에서 각각 65.2%, 33.2%로 전체시장의 98.4%를 점유하였으나, 2002년에는 시티즌전자의 시장진입으로 인해 니치아화학공업, 가코시마마쯔시타전자, 시티즌전자 각각 46.9%, 27.3%, 17.7%를 점유하였다.

일본시장에서 백색LED의 용도는 2001년에는 휴대전화용이 92%를 차지하였고, 다른 용도의 비중이 8%에 그쳤는데, 이는 아직까지 백색LED의 휘도가 더 큰 LCD의 백라이트 혹은 프론트 라이트로 사용되

<그림 3> 백색LED 세계시장 규모 예측

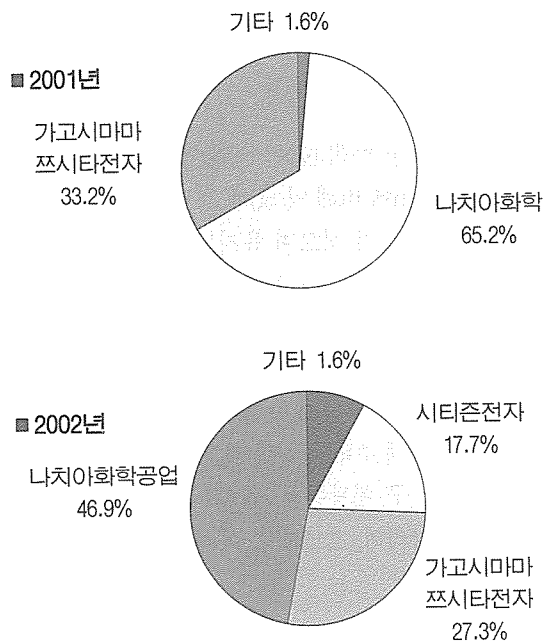


자료: 유망전자부품자료, 후지경제연구소, 2003

기에는 부족하였기 때문에 판단된다.

그러나 지속적인 기술발전을 거쳐 2006년에 이르면 새롭게 부각되고 있는 PDA용이 10%를 차지하는 것 외에 기타 LCD용으로도 10% 정도 사용될 것으로 전망하고 있다.

<그림 4> 백색LED 일본시장의 업체별 시장점유율



다. 국내 백색LED 시장의 현황 및 전망

국내 또한 휴대전화가 컬러화되고, PDA 시장이 확대되면서, 백색LED 시장이 점차 확대되고 있다.

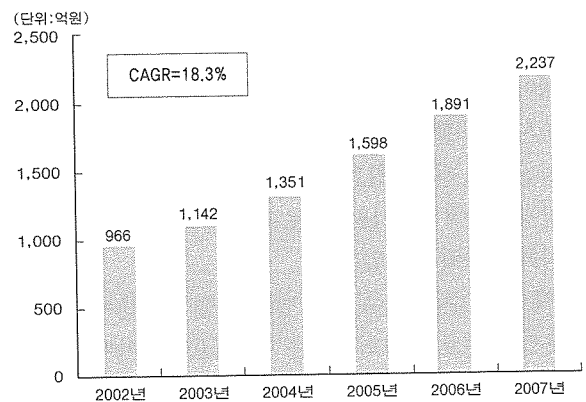
이에 따라, 2002년 국내 LED 시장의 규모인 7,427 억원, 일본의 백색LED 시장이 LED 시장에서 차지하는 비율(약 13.0%)과 시장성장성을 고려하여 국내 백색LED 시장규모를 전망하면 다음과 같다.

2002년 국내 백색LED 시장의 규모는 966억원으로 추정되며, 이후 CAGR 18.3%로 성장하여 2007년에는 2,237억원 규모가 될 것으로 전망된다.

백색LED의 가격동향은 상당 기간 고성장을 유지할 것으로 전망되고 있음에도 백색LED는 2003년 초부터 가격이 하락하고 있다. 이는 중형 휴대폰 업체들의 부진, 니치아·도요타고세이 등 기존 국내 시장점유율이 높던 일본업체들의 수성전략과 렉스피아, 서울반도체 등 국내업체들의 생산능력 증가 등에 기인한 것으로 풀이된다.

이에 따라 국내 LED 시장에서 강력한 입지를 구축하고 있는 일본 니치아·도요타고세이 등이 국내 LED 시장의 가격하락을 주도하고 나서 국내 업체는 이중고를 겪고 있는데, 이들 업체는 LED산업을 고성장 고수익 사업군으로 분류하고 생산능력을 대폭 확장하

<그림 5> 백색LED 세계시장 규모 예측



는 국내업체를 견제하기 위해 제품단가를 이전보다 낮춰 판매하고 있다.

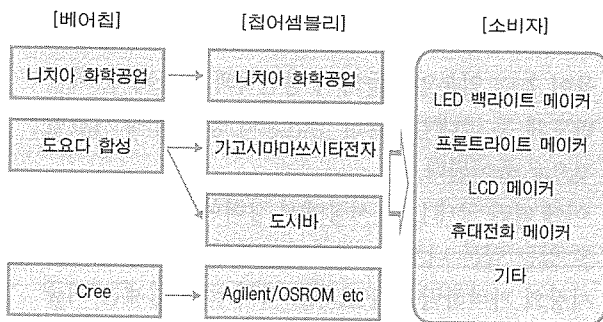
4. 업체동향

가. 해외업체 동향

백색LED에 필수인 청색 또는 자외역인 GaN칩의 양산공급은 아래 3개사에 한정되어 있으며, 그 형태는 아래와 같다.

탑메이커인 니치아화학공업은 베어칩의 외판은 하지 않는 일관생산체제였지만, 2002년부터 시티즌전자에 베어칩을 공급하고 있으며 가고시마마쯔시타전

〈그림 6〉 GaN 백색LED공급 및 판매 체계



자에는 도요다합성으로부터 베어칩을 공급받고 있는 Agilent Technologies, Infineon, 도시바가 참여하고 있다.

시티즌전자는 니치아화학공업으로부터 백색LED의 베어칩을 공급받아 2002년부터 유럽지역의 휴대전화시장에 활발한 칼라화에 대응하여 측면발광의 박형칩으로 된 백색LED를 출하하고 있으며 사이즈나 발광효율에 따라 18종류로 판매를 해오고 있으며, 소형화에 주력하고 있다.

백색LED 광원의 무한한 발전 가능성 때문에 북미와 유럽의 주요 조명회사들은 현재 LED 메이커와의 제휴를 강화하고 있다. General Electric Lighting은 chip-maker인 Emcore와 함께 GELCore라는 회사를

세웠으며, Philips와 Hewlett-Packard에서 분사한 Agilent Technologies는 LumiLeds라는 회사를 세웠다. Osram Sylvania도 Siemens와 함께 LED 조명관련 사업을 진행하고 있다.

나. 국내업체 동향

국내에서는 광주과학기술원, 삼성전기, LG이노텍, 서울반도체 등에서 백색LED를 개발, 상용화 중에 있다.

삼성전기는 최근 백색 LED를 개발하고 수원공장에서 시양산 체제를 가동하고 있으며, 백색LED의 경우 고휘도 청색LED 칩에 형광체를 입혀 백색 파장을 만들어 내는 방식을 연구하고 있고, 특히 형광체의 양을 조절해 순백색에 가까운 색을 내는 기술 개발에 집중하고 있다

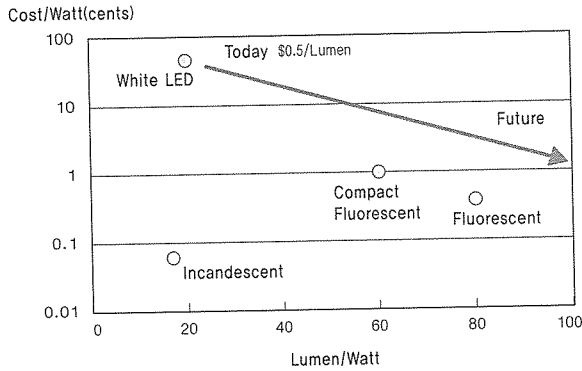
LG이노텍은 LG전자 기술원과 공동으로 청색과 백색LED를 개발해 유럽과 미주지역을 중심으로 청색 LED 수출을 추진하고 있으며, 백색LED의 경우는 형광체를 입히는 방법과 적·녹·청색 칩을 이용하는 방법으로 제품을 개발, 효율을 높이기 위한 원천기술 확보에 주력하고 있다.

5. 향후 전망

현재 상용화된 백색LED는 0.5\$/lumen으로 형광램프 1 cent/lumen에 비해 약 50배 정도 비싸므로, 수명이 길고 전력소모가 적으며 유지보수비가 낮다는 점을 고려한다 하더라도, 초기 구입비용이 너무 비싸 시장 진입에 어려움이 있다.

따라서 LED 칩구조, LED 기판문제, 형광물질 및 패키지 구조 등의 여러 가지 측면에서 기술개발이 이루어져 휘도 향상에 주력해야 할 것으로 보이며 이를 통해 향후 백열전구, 형광등의 가격과 경쟁력을 갖추게 될 것으로 예상되며, 그 방향을 아래 그림에 나타내었다.

〈그림 7〉 백색LED 램프의 발전 방향



자료: 반도체 조명을 위한 고휘도 LED 기술, 홍창희

아직 기술개발이 충분치 않음에도 이미 미국 운수성 국가 고속도로 교통안전국에서는 LED를 자동차 광원으로 인정하고, 하이마운트 스톱램프, 실내등, 브레이크등, 방향지시등 등의 용도로 이용하고 있으며, 미국, 유럽을 중심으로 교통신호등이 LED로 급속히 대체되고 있는 추세이다.

일본의 경우 통산성을 중심으로 '21세기 빛 프로젝트'라는 명칭 아래 산학연이 연계되어 꾸준한 연구개발을 수행하고 있으며, 2010년까지 조명 사용 에너지의 20%를 감소시켜 CO² 배출량을 1990년 수준으로 끌어내리겠다는 야심찬 목표를 세웠다.

따라서 향후 기술개발을 통해 휘도 향상을 이루어내면 일반조명 시장에서 기존의 광원을 급속히 대체할 것으로 전망되며, 일본의 경우 2010년 전체 조명등 시장의 13%가 대체될 것으로 예측하고 있다.

차세대 성장동력으로서의 백색LED는 IT 산업에서 세계적인 경쟁력을 갖고 있는 것으로 평가받고 있는 우리나라가 전자부품, 소재에 대한 수입의존도가 70%에 이르는 현실은 잘 알려져 있으며, 이는 IT산업의 지속적인 성장에도 불구하고 미래 성장의 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

이에 따라 국내에서도 지속적으로 세계 IT산업을 선

도하기 위해 제조업의 고부가가치 평균 21.8%보다 높은 25.7%의 고부가가치를 거둘 수 있는 기술집약적 산업인 전자부품소재 가운데, LCD, 유기EL, 2차 전지, 센서 및 전자소재 등과 더불어 LED를 6대 핵심 전자부품소재 분야로 선정하여 육성을 꾀하고 있다. 따라서 향후 백색LED는 세계적 경쟁력을 보유한 이동전화, 노트북, 모니터, 디지털 가전 등과 같은 전방산업과 연계해 소재→부품→모듈→기기를 연결할 수 있는 가교 역할을 수행하는 차세대 성장동력으로서의 역할을 수행할 것으로 예상된다.

<참고문헌>

1. www.sem.samsung.co.kr
2. www.optel-precision.com
3. LED 전광판 및 기술동향, 최훈태, 한국특허정보원
4. 전자신문, <http://www.etimesi.com/>
5. 1970년~2001년 품목별 공개특허 조사, 링크코리아
6. A Strategic Study of the Worldwide Semiconductor Optoelectronic Component Industry to 2005 by Reed Electronics (2nd Edition, 2001), Optoelectronics
7. 유망전자부품재료, 후지경제연구소, 2003
8. 광원 시장동향 및 기술동향 조사, KAPID
9. Semiconductor Monthly 2000.2
10. High-Power LED Illuminators in Projection Displays, LUMILEDSTM
11. High Power White LED Technology for Solid State Lighting, LUMILEDSTM
12. 전기전자 재료학회지 제 14권 11호, 2001. 11
13. 반도체 조명을 위한 고휘도 LED 기술, 홍창희