

# LED 조명개발 현황 및 옥외 LED 조명 설계

■ 민 경 의, 장 행 수, 김 병 만 / 삼성전기 중앙연구소 OS랩 조명 TFT

## 1. 서 론

최근 범세계적으로 에너지 문제와 친환경 산업 정책 이슈가 부각되면서 미래 신광원으로 가장 주목받고 있는 LED(Light Emitting Diode) 조명이 더욱 각광을 받고 있다. 고체소자조명(Solid-State Lighting)은 10만 시간 이상의 장수명과 200lm/W에 근접하는 고효율 달성이 가능하고 점소등 횡수에 따라 수명이 감소하지 않고 고속 switching이 가능하여 디지털 조명 단계를 넘어 유비쿼터스 조명까지 그 연구 개발 영역이 펼쳐져 있어 전기인들의 관심이 고조되고 있다.<sup>[1]</sup>

2003년 MIT(Massachusetts Institute of Technology) Technology Review지는 '이제는 지구상에서 사라져야 할 10대 제품'에 백열전구를 선정한 바 있는데<sup>[2]</sup>, 최근 미국, 호주, 뉴질랜드에서 백열전구를 추방하는 법제화가 진행되고 있다.<sup>[3]</sup> 미국 광산업협회의 로드맵에 따르면, 2007년 백열전구가 LED에 의해서 본격적으로 대체될 것으로 예견되었으며<sup>[4]</sup>, 이것이 현실화되기 시작했다고 할 수 있겠다.

국내에서도 2006년 11월 산업자원부와 조명관련업체들간에 협약식을 맺고 조기보급을 위해 노력하기로 하였고 산업자원부는 2015년까지 30%의 기존조명을 LED 신조명으로 대체하기 위한 'LED조명 15/30 보급 프로젝트'를 본격 추진할 계획이라고 발표한 바 있

다.<sup>[4]</sup> 또한 2007년 4월 서울시는 전체 신호등을 2010년까지 LED로 교체하기로 하였다.<sup>[4]</sup> 산업자원부는 LED 조명의 개발 및 보급사업의 실효성을 높이기 위해 금년부터 3년간 15종의 KS 규격 제정을 추진하고 LED 조명 기술개발을 효율적으로 지원하기 위해 시험평가 방법과 조명제품을 표준화하기 위한 'LED조명 표준화 3개년 계획'을 수립하고 금년부터 표준화를 본격 추진한다고 발표했다.<sup>[4]</sup>

본 보고를 통해 전기인들의 이해를 돕기 위해 LED 조명 개발 현황과 옥외 LED 조명 설계에 대해서 간략히 정리하여 소개하고자 한다. LED 조명의 현실화에 대해 실감할 수 있도록 사례로서는 삼성전기 중앙연구소 조명 TFT에서 진행하고 있는 시작품들의 이미지를 일부 포함하였다.<sup>[1][5]</sup>

## 2. LED 조명의 특징

LED 조명은 기존의 백열전구, 형광등, 방전등에 비해서 높은 효율을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 장수명이라는 장점을 지니고 있어 광원 교체에 따른 유지 보수비를 절감할 수 있다. LED 조명의 수명을 5만시간 기준으로 비교할 때 백열전구의 50배, 형광등의 6배, 방전등의 4배가 되는데, 이는 하루 8시간 사용하는 경우를 가정할 때, 수명이 무려 17년이나 되는 것으로 미

국 광산업협회 로드맵상 목표인 10만시간 이상의 수명이 달성된다면 가히 영구적이라 할 수 있다. 따라서, LED 조명은 특히 유지보수가 어려우며 광원교체 비용이 많이 소요되는 곳에 유용하다고 할 수 있겠다.

LED 조명의 핵심은 LED Package인데, 효율이 급격히 향상되어 현재 백열전구, 형광램프, 방전램프의 효율을 능가하고 있는 단계이며, 수명도 적절한 방열이 보장되는 경우, 10만시간까지도 보증 가능한 상태이다. 효율과 수명이 미국 광산업협회의 로드맵에 따라 발전할 것을 가정할 때, 2012년 기준으로 150lm/W, 10만시간이 확보될 예정이다.<sup>3)</sup>

LED 조명은 2010~2012년에 단일 Package로 1000lm 정도까지 확보될 것으로 예상되므로 광원의 광속이 1klm 수준인 Spot Light, Down Light의 경우에는 조만간 \$/klm 이하의 경제성이 확보될 것으로 기대되어진다. 10klm 수준의 광원이 요구되는 옥외 조명의 경우에도 종합적인 조명 효율, 수명, 연색성 등에서의 우위성을 바탕으로 LED Package를 모듈화하면 기존 조명 대비 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

LED 조명은 RoHS 물질을 포함하고 있는 형광등의 경우와는 달리 RoHS 물질을 포함하고 있지 않고 저전압 구동이 가능하므로 안전성에 있어서도 기존 광원대비 우위성을 확보하고 있다. 따라서 형광등 대체 뿐만 아니라 안전성에 많은 문제가 노출되어 온 보안등에 대해서도 적절한 대안이 될 것으로 기대되고 있다.

LED 조명은 기존 조명과는 달리 광원의 크기가 작은 점광원이며 이를 이용하여 다양한 형태의 조명 디자인이 가능하다. 기존 광원의 경우, 광원이 먼저 개발되고 표준화되면 이에 맞추어 동기가가 최적화되는 발전단계를 거쳤으나 LED 광원의 경우, 제한적인 단위 Package당 광량으로 인해 복수개의 Package를 조합하여 모듈을 만들고 이를 통해 하나의 조명시스템을 구성해야 하는데, 그 조합방식이 표준화되기 어렵고 또한 다양한 형태의 시도가 가능하기 때문에 광원과 동기가가 융합된 새로운 형태의 조명시스템이 출현할 것으로 예상된다. 특히 아름다운 디자인을 추구하는 최근의 실내외 조명 개발 트렌드로 볼 때 LED 조명은 이

러한 특징을 잘 살려서 조명 분야에 새로운 바람을 일으킬 것으로 기대된다.

### 3. LED 조명 관련 정책<sup>4)</sup>

범세계적으로 에너지와 환경 문제가 큰 이슈로 등장하면서 앞서 기술한 바와 같이 LED 조명은 효율과 수명 관점에서 기존 광원과 차별화된 특징을 지니고 있어 최근에 많은 주목을 받고 있다. Kyoto 의정서의 발효에 따라 이산화탄소의 발생량 억제에 대해서 강제적 조치가 취해지고 고효율에너지 기기에 대한 개발 및 저효율에너지 기기에 대한 추방이 정책화 및 법제화되고 있는 추세이다. 또한 RoHS 규제에 따라 신제품 개발 및 생산에 있어서 수은을 포함함으로써 RoHS 규제 대상품목이 된 형광등 계열에 있어서도 대책 마련이 시급한 상황이며 RoHS 규제로부터 자유로운 LED 조명의 조기 채용에 대한 관심이 높아지고 있다.

미국은 DOE(Department of Energy)를 중심으로 고체소자조명(Solid-State Lighting)에 대한 연구개발이 진행되고 있으며, 특히 NGLIA(Next Generation Lighting Industry Alliance)를 통해 2006~2020년 기간 중에 연간 5천만 달러를 투자하여 범세계적으로 주도권을 발휘하고 미국내 에너지 문제를 해결하고자 하고 있다. 특히, 에너지 문제가 가장 큰 이슈중의 하나로 등장한 California 주정부의 경우 백열전구를 추방하는 법제화를 추진중에 있다. 호주와 뉴질랜드에서도 백열전구를 추방하겠다고 선언한 바 있다. 따라서, 이들 국가에 있어서는 기존 조명에 대한 보급억제 정책을 펼치고 있다.

일본은 NEDO와 METI 중심으로 '21세기 빛' 프로젝트를 진행하고 있으며 2004~2008년 기간중에 120lm/W LED 광원 개발을 목표로 하고 있다. 대만은 '차세대 조명 광원' 프로젝트를 진행하고 있으며 2002~2008년 기간중 3억 1천 2백만 달러를 투자하고 있다. 중국은 2005년부터 5개년 동안 '반도체조명국가 계획' 프로젝트를 추진중에 있다.

우리나라도 이러한 국제적인 추세를 감안하여 2006년 11월 27일 산업자원부에서 '15/30 프로젝트'를 발

표하여 2015년까지 30%의 기존 조명을 LED로 대체하기로 결정하고 산업계와 협력하기로 협약식을 맺었다.[4] 또한 2007년 들어 서울시는 교통신호등을 전량을 2010년까지 LED로 교체한다고 발표한 바 있다.[4] 따라서, 우리나라 정부는 신조명 보급 및 장려에 정책의 중심을 두고 있다.

LED 조명의 시장규모는 2010년 경에 5.7조원 규모로 예측되고 있으며[5], 2020년 경에는 LED 조명으로 상당량 대체될 것으로 예측되고 있다. 전세계에서 에너지를 가장 많이 사용하고 있는 미국 EIA(Energy Information Administration)는 LED 조명을 사용하면 2025년까지 총 25% 에너지 절감을 통해 125조 원 상당의 경제적 효과를 얻을 수 있는 것으로 추정하고 있다고 한다.[6]

#### 4. LED 조명 개발 동향[7]

2004~2006년 기간 중에 LED 조명에 대한 관심이 상당히 증대되었고 각종 국내외의 조명 전시회에 LED 조명업체의 참여가 급격히 증가되어 왔다.

2007년 3월초 일본에서 열린 도쿄 Lighting Fair에서는 지금까지와는 달리 이제 본격적인 LED 조명 시장 진입 경쟁이 벌어질 것을 예측할 수 있게 되었다. 이 전시회를 통해 다음과 같이 4가지 트렌드를 읽을 수 있다.

첫째, 일본의 주요 조명업체 모두 LED 중심의 조명을 전시하였다. 일본내 조명시장을 선도하고 있는 NEC, Matsushita, Toshiba 모두 LED 조명 중심의 전시를 통해 LED 광원의 새로운 시장 전개를 예고했다. 조명업체를 중심으로 LED를 이용한 VLC(Visual Light Communication), 유비쿼터스, 연출조명 등 LED의 장점을 활용하여 다양한 기능 접목을 시도하였다.

둘째, 주조명 시장인 실내조명으로의 LED 조명 진입이 가속화되었다. 기존 LED의 주용도가 Signage, 경관조명 또는 보조조명 중심이었으나 금번 전시의 경우, 주조명시장을 겨냥하여 평판조명, 고연색성 다운라이트 등의 실내조명과 도로조명 및 시스템 조명등의 다양한 응용으로의 LED 조명이 출시되었다.

셋째, 조명기기, 모듈업체, LED 광원업체간의 사업

영역이 불분명해졌다. LED 광원업체인 Nichia는 일부 모듈 또는 조명기구까지 전시하였고 단품 위주의 사업에서 부가가치가 높은 모듈 영역으로 제품군 범위를 확대하였다.

넷째, LED가 적용될 수 있는 다양한 사례가 제시되었다. 주요 조명업체에서 감성조명, 유비쿼터스 조명 등 시스템 조명을 전시하였다. NEC는 TV 프로그램에 따라 색과 밝기가 바뀌는 조명을 선보였고, Toshiba는 용도(TV 시청, 휴식, 대화 등)에 따라 4가지 모드로 바뀌는 감성조명을 전시하였다. NEC와 Toshiba는 VLC(Visual Light Communication) 및 방범 기능 등이 부가된 유비쿼터스 조명시스템 등도 제시하였으며 IDEC는 피부치료기구를, Color Kinetics는 이벤트 조명을 전시함으로써 그 어느 때보다도 다양한 사례가 제시되었다.

국내업체의 LED 조명 개발 활동도 활발하다. 국내

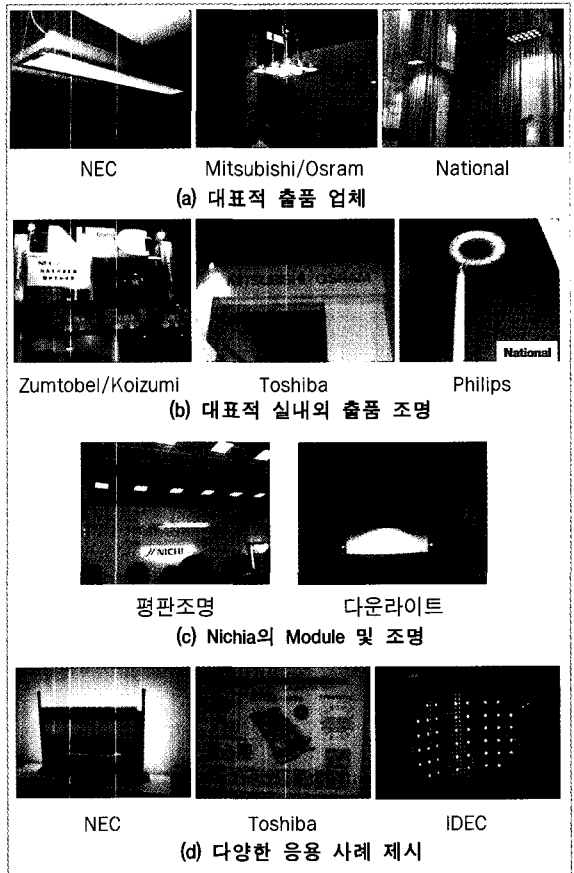


그림 1 도쿄 조명 전시회 사례(2007년 3월)

전기전자관련 중소기업과 대기업에서 Signage, MR16, 다운라이트, 보안등에 LED 적용을 위한 개발 활동이 진행중에 있다. 그림2(a)와 같이 Signage와 MR16의 경우 이미 상품화되어 설치된 사례가 있으며, 그림2(b)와 같이 다운라이트와 보안등의 경우 상품화를 위한 시험 평가 중인 단계에 있다. 또한 그림2(c)와 같이 실내 먼 광원까지도 상품화를 위한 개발이 진행중에 있다.



그림 2 국내 LED 조명 개발 사례

### 5. LED 개발 현황

미국 광산업협회 로드맵에 따르면 2007년 75lm/W, 2012년 150lm/W가 달성될 것으로 예측된다. 통상적으로 실험실에서 양산까지 2~4년이 소요되는 것으로 추정되었지만<sup>17)</sup>, 2004년도 Cree가 small chip 플랫폼에서 74lm/W개발 결과를 발표한 이후 2년만인 2006년도 large chip 플랫폼에서 85lm/W 양산개시를 선언하였

던 사례로부터 미국 광산업협회 로드맵보다 훨씬 더 빨리 LED 효율개선이 이루어질 것으로 예상된다.

2007년 초 Nichia는 small chip 플랫폼에서 150lm/W 급 LED 개발을 발표하였으며<sup>18)</sup> Philips-Lumileds는 large chip 플랫폼에서 115lm/W급 LED 개발을 발표함으로써 이러한 경향을 한층 더 뚜렷하게 한 바 있다. Nichia는 2006년에 당초 목표보다 빨리 100lm/W이상 달성을 발표하는데 이어 2007년에 150lm/W까지 발표함으로써 효율경쟁에 있어서 한발 앞서 나가고 있다.

LED Package 개발은 미국과 유럽에서는 1~2W급 LED의 고효율화와 3~10W급 LED의 고풍속화 중심으로 진행되는 반면 일본에서는 고효율 small chip을 기반으로 하여 다양한 출력의 COB(Chip on Board) 형 중심으로 진행되는 경향이 있다. 즉, 이는 미국과 유럽에서는 large chip 플랫폼을 기반으로 Epi 공정 기술과 Chip 공정 기술의 강점을 살리는 반면 일본에서는 small chip 플랫폼을 기반으로 Package 공정 기술과 Module 공정 기술의 강점을 살리는 기술개발 전략 때문인 것으로 해석된다.

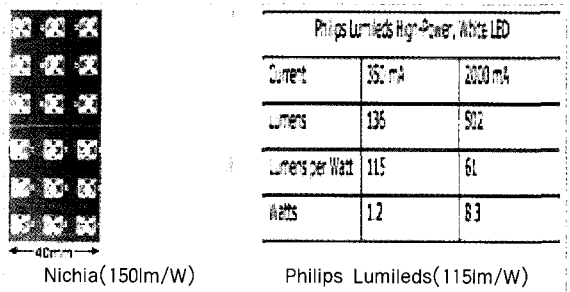


그림 3 LED 플랫폼별 세계최고효율 발표사례(2007년초)

Large chip LED 개발은 flip chip 플랫폼에서 수직구조 플랫폼으로 전환되었으며 광추출효율을 극대화하는 개발이 주로 진행되고 있다. 한편, Sapphire 기관상 Epi에서 GaN 기관상 Epi로 연구개발의 중심이 옮겨가려고 하는 단계이며<sup>19)</sup>, Epi 기술 개선을 통해 고전류 영역에서 내부양자효율 감소를 극소화하는 방향으로 연구개발이 진행되고 있다.

## 6. 옥외 LED 조명 설계<sup>[5]</sup>

옥외 LED 조명은 요구되는 광량, 효율, 배광분포, 신뢰성 수준으로 볼 때, 공원등, 보안등, 가로등의 단계로 발전할 것으로 예상된다.

현재 표준 LED Package는 1W급(350mA) Cool White 제품이며, Warm White의 경우 효율이 Cool White의 70~80% 수준이다. 700mA 또는 1000mA까지 인가할 수 있는 제품도 있으나 전류가 증가함에 따라 효율이 급격히 저하되는 문제점이 있다. Warm White의 경우 최대 정격 전류도 Cool White에 비해 낮은 값으로 제한된다. 따라서 형광체의 열적 특성이 개선되어야 하는 상태이다. 연색성 측면에서는 Blue Chip과 Yellow 형광체의 조합에 의해 구현되는 CRI 75 수준이 표준이며 CRI 85~90을 얻기 위해서는 현재로서는 상당한 효율 저하가 불가피한 형편이다.

이상의 LED Package 특성으로부터 그림4와 같이 효율, 색온도, 전류, 연색성의 관계를 개략적으로 도시할 수 있으며, 이를 이용하여 목적에 맞게 LED를 선택할 수 있다.

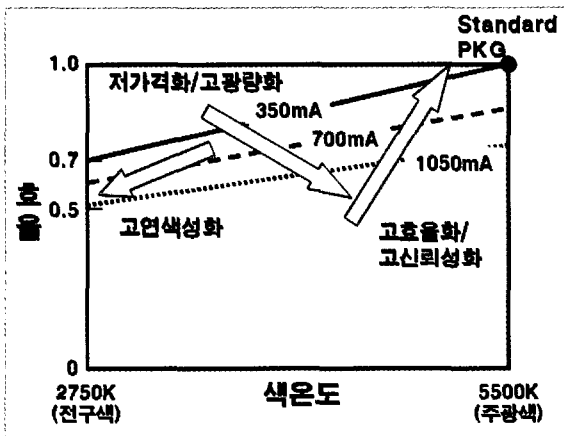


그림 4 효율, 색온도, 전류, 연색성의 상관관계

LED 모듈 설계에 있어서 광량에 맞추어 LED의 수와 전류 수준을 결정하고 열저항을 고려하여 LED 간격을 결정한다. 그림5에 전류, 간격, 열저항의 상관관계를 도식화하였다. 모듈의 표준 전류 수준을 알마로 해야

최적인가는 아직 결정할 수 없는 단계이다. 다만 전류에 따른 효율 감소 문제가 개선된다면 \$/klm 값을 향상시키기 위해 방열효율을 높이면서 전류를 증가시키는 것이 바람직하다. 결국 광원모듈의 소형화와 신뢰성 측면에서 타협점을 결정하여야 할 것이다.

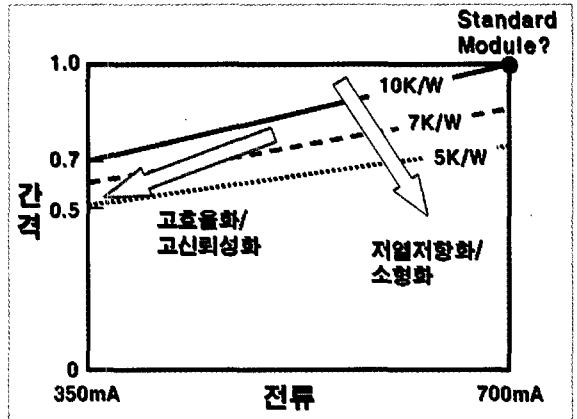


그림 5 전류, 간격, 열저항의 상관관계

현재 수준의 LED가 적용될 수 있는 대표적인 옥외 조명 응용으로는 보안등을 들 수 있다. 용도에 따라 승강장등, 인도등(보행등), 공원등으로 나눌 수 있는데, 그림6에 나타낸 바와 같이 요구되는 배광 특성이 다르다. LED 모듈은 기본적으로 Lambertian 배광 분포를 갖게 되는데, 렌즈를 이용하여 그림6과 같은 형태의 배광 분포를 갖도록 광학시스템을 설계할 필요가 있다.

현재까지 시범적용된 LED 보안등은 Lambertian 배광분포를 갖고 있으며, 타원형 분포를 갖는 제품도 확대형이라기보다는 집속형 렌즈를 사용한 경우가 대부분이므로 균제도 측면에서 새로운 렌즈를 통한 상당한 개선이 요구되는 상황이다.

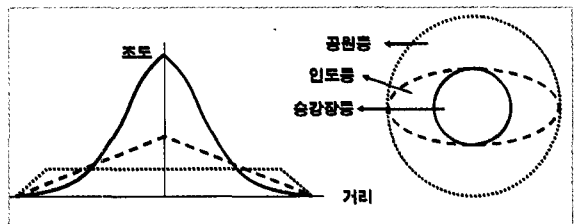


그림 6 이상적인 보안등 배광분포 유형

## 7. 결 론

본고에서는 최근에 크게 주목을 받고 있는 LED 조명에 대해 개발동향과 현황 및 보안등을 중심으로 한 옥외응용에 대해 간단히 정리하여 소개하였다.

집중된 관심과 정책적 노력에 부응하기 위해서는 표준 LED의 지속적인 효율 향상, 고전류 인가에 따른 효율 향상, 색온도 저감에 따른 효율 향상, CRI 개선에 따른 효율 향상, 방열효율 개선을 통한 신뢰성 향상, 렌즈를 통한 배광분포 개선 등이 반드시 이루어져야 할 것이다.

LED 조명의 구동회로와 전원에 대한 효율 및 신뢰성 향상 노력도 중요하고 디지털 조명을 넘어 유비쿼터스 조명을 향해 전기인들이 해야 할 몫이 많이 남아 있다.

### 참 고 문 헌

1. 민경익 "LED 조명의 최근 동향 및 현황" - 한국조명전기설비학회 춘계대회 2007년 5월 11일
2. Bruce Sterling: 10 Technologies that Deserve to Die - MIT's Technology Review October 2003
3. Light Emitting Diodes(LEDs) for General Illumination - OIDA Technology Roadmap 2002
4. "서울시내 교통신호등이 더 밝아진다" - 서울시 보도자료 2007년 4월 23일
5. 민경익 "옥외용 LED 조명 설계 기술" - 한국전기학회 춘계대회 2007년 5월 31일
6. 장이화 "미래조명시장의 4가지 트렌드" - LG 주간경제 2005년 11월 16일
7. LED Lighting technology lessons from the USA - Report of a global watch mission March 2006
8. Nikkei Electronics January 2007
9. www.philipslumileds.com
10. 민경익 "고출력 광원의 최근 연구 동향" - 물리학과 첨단기술 January/February 2005