

시제품 조사를 통한 백색 LED의 기능적 특성에 관한 연구

(A Study on the Functional Characteristics of White LED by Prototype Products)

장준호* · 박병철** · 최안섭***

(*세종대학교 건축공학과 석사과정 · **세종대학교 건축공학과 박사과정 · ***세종대학교 건축공학과 교수)
(Jun-Ho Chang · Byoung-Chul Park · An-Seop Choi)

Abstract

Because of energy efficiency and environment-friendly characteristics, demands of white LED are being increased in various fields. White LED is being observed as next-generation light sources to alternate incandescent and fluorescent lamps so that the studies on white LED are being processed continuously. This study investigates technical developments and market movements of white LED to evaluate technical characteristics and to analyze performances data by comparing prototypes of white LEDs. And comparing efficiency of white LED with that of incandescent and fluorescent lamps, this study aimed at presentation of compatible standards for future LEDs.

1. 서론

1.1 연구의 배경

과학기술이 발달하고 사회의 문화적 수준이 향상됨에 따라 에너지 절감 및 친환경에 대한 관심이 증대되고 있으며 보다 쾌적한 생활환경을 추구하고자 하는 노력이 계속되어지고 있다. 이러한 시대적 흐름에 따라 에너지 효율을 높일 수 있는 새로운 기술에 관한 연구가 여러 분야에서 지속적으로 진행되고 있으며, 사회적으로 친환경 제품이 요구되면서 상품 개발 시 환경을 헤치지 않고 인체의 건강에 유익한 제품의 양산에 중점을 두어 연구하고 있는 실정이다.

이와 같은 추세는 조명기구의 분야에서도 적용되고 있다. 과거 130여년의 역사를 가진 백열등은 낮은 에너지 효율과 짧은 수명의 단점을 가지고 있다. 그리고 70여년 전에 발명되어 현재 가장 널리 사용되어지고 있는 형광등은 비교적 낮은 소비전력과 장수명, 고출력 등의 장점을 가지고 있으나 인, 수은증기와 같은 형광물질로 인하여 인체, 대기 및 토양의 오염 등의 환경문제가 발생되어 정책적 규제의 대상이 되고 있다.

전기 및 전자제품에 사용되는 납, 수은, 카드뮴 등의 유해물질의 사용을 제한하는 EU의 유해물질 제한지침(WEEE / RoHS, Waste Electrical and Electronic Equipment / Restriction of Hazardous Substance)에서는 형광램프를 규제대상에서 제외하고는 있지만 대체기구를 사용하도록 권장하고 있다.[1] 한편 호주와 뉴질랜드에서는 지구온난화 정책으로 백열등의 사용을 금지시키고 있으며, 미국 캘리포니아의 경우 백열등 및 형

광등을 위험성 폐기물로 지정하여 사용을 금지하고 있다.[2]

이와 같은 상황에 따라 백열등 및 형광등을 대체할 광원의 개발이 반드시 필요한 시점에서 LED의 개발은 가장 시기적절하여 조명 전문가들은 LED를 가장 유력한 차세대 광원이 될 것을 의심치 않고 있다. 특히 백색 LED의 개발 및 상용화로 인해 그에 대한 관심과 투자가 급속도로 증가하고 있는 실정이다. 따라서 백색 LED의 특성에 대한 연구가 반드시 필요하며, 조명기구로의 사용에 적합한 기준의 제시가 반드시 필요하다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 백색 LED의 기능적 특성을 평가하기 위하여 현재 백색 LED의 개발 기술 현황과 시장의 동향을 파악하고, 각 제조사별로 백색 LED 시제품을 비교분석하였다. 또한 백색 LED를 백열등 및 형광등의 특성과 비교하여 LED 기술의 동향 및 향후 LED의 특성에 따른 적합한 기준을 제시함에 있어 기초적 자료로 활용함을 목적으로 한다.

1.3 연구의 방법 및 절차

본 연구는 문헌조사를 통하여 백색 LED의 기술 현황 및 시장 등의 동향을 조사하고, 현재 출시되고 있는 백색 LED의 시제품을 비교하여 그 특성을 조사한 후 백열등 및 형광등을 대체하기 위한 백색 LED의 기준을 제시하고자 한다. 다음의 그림 1은 본 연구의 연구방법 및 절차를 도식화한 것이다.

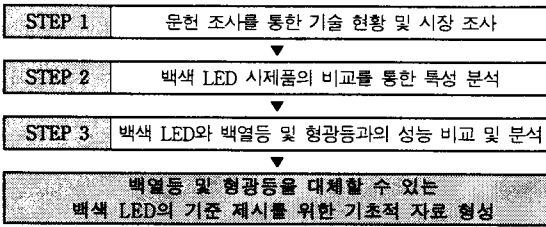


그림 1. 연구방법 및 절차
Fig. 1. A method and procedure of this study

2. 백색 LED

2.1 백색 LED의 제조 기술

백색 LED의 제작방법은 크게 네 가지로 나눌 수 있는데, UV 또는 청색의 LED 칩 위에 형광물질을 결합하여 백색광을 얻는 방법(1, 2)과 두 개 또는 세 개의 LED 칩을 서로 조합하여 백색광을 얻는 방법(3, 4)으로 구분할 수 있다. 다음의 그림 2는 백색 LED의 제작방법을 나타낸 것이고, 표 1은 각 방법에 대한 특성을 비교한 것이다[3].

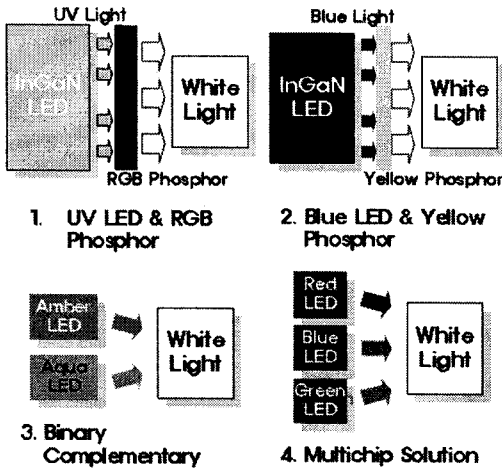


그림 2. 백색 LED 제조기술의 종류
Fig. 2. Manufacture types of white LED

표 1. 백색 LED 제조방법에 따른 특성 비교
Table 1. Comparison of characteristic as manufacture types of white LED

구분	UV + RGB	Blue + Yellow	Binary Comp.	RGB Multichip
연색성	최상	적정	적정	상급
색외안정성	최상	상급	적정	적정
광속유지율		적정	상급	상급
형광물질	개발 중	필요		
발광효율	최상	적정	상급	상급
적용	백색램프	백라이트	국부조명	디스플레이

2.2 백색 LED 시장의 동향 및 전망

LED는 100년 이상 정제된 조명기술에 일대 혁명을 가져올 것이라는 전문가의 예상대로, 발명된 이 후로 수많은 분야에 적용되어지고 연구개발되어 현재 급속도의 발전을 이루어가고 있다. 세계적인 시장조사업체인 스트래티지스 언리미티드(Strategies Unlimited)에 따르면, 2004년 세계 고휘도 LED 시장은 약 36억 달러의 수준에 그쳤지만 2007년 백색 LED의 상용화가 시작하면서 아래의 그림 3과 같이 2007년에 50억 달러에서 2010년 150억 달러, 2020년 700억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다[4].

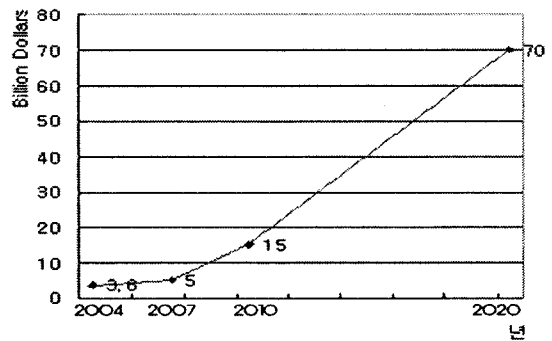


그림 3. 세계 고휘도 LED 시장 전망
Fig. 3. A prospect for the global market of HB LED

국내의 LED 시장도 큰 폭으로 증가할 것으로 예측된다. 한국전자산업진흥회에 따르면 2005년 6,230억원이었던 국내 LED 시장이 2006년에는 8,000억원, 2007년에는 9,600억원으로 불어나고 있는 실정이라고 발표했다[4].

LED의 응용분야별 점유율은 아래의 그림 4와 같으며, 현재 조명분야는 전체의 4.7%에 불과하다[5]. 그러나 전문가들은 2007년도에 LED가 발광효율과 발광성능 측면에서 형광등을 넘어서고 2012년에는 가격도 형광등보다 낮아져서 전체 조명시장의 10%를 차지할 것으로 보고 있다. 나아가 2025년에는 미국의 일반조명 25%가 LED로 대체될 것으로 전망되고 있다[4].

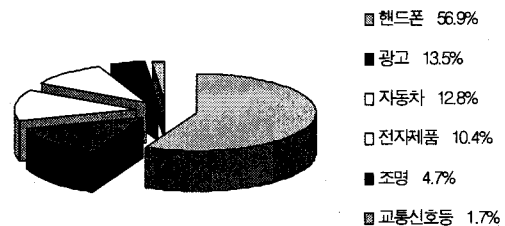


그림 4. LED의 응용분야별 점유율
Fig. 4. Shares of applicable fields of LED lighting

2.3 백색 LED의 기술 동향

현재 백색 LED의 세계적 기술 동향은 아래의 표 2와 같이 발광효율 측면에서 일본이 현재 150 lm/W로 가장 앞선 기술력을 가지고 있으며, 형광등의 효율과 거의 유사한 80 lm/W의 효율을 가진 백색 LED를 양산하는 것으로 조사되었다. 미국은 발광효율 135 lm/W의 기술력을 가지고 있으며 70 lm/W의 백색 LED를 양산하고 있다. 반면 중국은 100 lm/W의 발광효율 기술로 국내와 유사한 기술력을 보유하고 있으며 50 lm/W의 백색 LED를 양산하고 있다[5-7].

표 2. 세계 백색 LED의 기술 동향
Table 2. Global technic-movement of white LED

국가	기술수준
일본	- 개발 : 150 lm/W / 양산 : 80 lm/W - LED 개발을 위해 5년간 600억원의 사업비 지원
미국	- 개발 : 135 lm/W / 양산 : 70 lm/W - 최종목표를 200 lm/W로, 매년 600억원씩 10년간 LED 개발에 사업비를 투입
한국	- 개발 : 110 lm/W / 양산 : 60 lm/W - 총사업비 중 18억원을 국가에서 지원하여 국책사업으로 추진
중국	- 개발 : 100 lm/W / 양산 : 50 lm/W - 나노연구소가 주관기술개발

전 세계적으로 LED에 관한 연구개발이 국가적 지원으로 가속화되고 있어 LED 산업 및 기술은 지속적으로 발전할 것이다. 형광물질의 향상과 오염저지제의 개발 및 최적 열 설계에 의하여 형광체 형식의 백색 LED 발광효율은 아래의 그림 5와 같이 지속적인 발전을 할 것으로 전망된다[8].

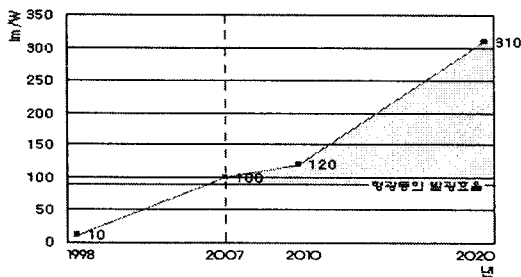


그림 5. 백색 LED의 발광효율 동향 및 전망
Fig. 5. Movements and prospects for emitting efficiency of white LED

3. 백색 LED의 특성 비교·분석

3.1 백색 LED 시제품의 광원적 특성 비교

현재 개발되어진 백색 LED의 특성을 파악하기 위하여 시중에 상용화되고 있는 백색 LED를 조사하였다.

LED를 생산하는 국내의 주요 업체들을 대상으로 백색 LED의 데이터시트를 조사하여 아래의 표 3과 같이 비교·분석하였다.

표 3. 백색 LED 광원의 시제품 조사 및 비교
Table 3. A comparison and investigation of prototypes of white LED

제조사	전력(W), 전류(mA)	광속(lm)	색온도(K)	연색성(CRI)			
국외	N사	300mA	70	3500			
			45	4500			
			80	5000			
			60	6500			
			37	3500			
	L사	350mA	52	6500			
			350mA	20	3300 (2850~3800)	90	
			700mA	130, 145	4100 (3500~4500)	75	
			350mA	45	5500 (4500~10000)	70	
			700mA	75, 100			
C사	350mA	1500mA	110, 130, 140	5000~10000	75		
		350mA	80				
		700mA	136				
		1000mA	176				
		350mA	70				
국내	S사	0.5W	700mA	120	3700~5000	75	
			350mA	65			
			700mA	110			
			25	6500			70
			21	4000			73
L사	1W	30	15	3000	80		
			45	5500 (4500~10000)			
			43				
			30	3300 (2800~3800)			

초기의 백색 LED 제품은 색온도(CCT, Correlated Color Temperature)가 Daylight와 같은 6500K 정도로 제한적이고 연색지수(CRI, Color Rendering Index)는 80에도 미치지 못하였다. 그러나 현재는 색온도가 3000K 미만(Warm-white)으로도 조절이 가능하게 되었으며, CRI 역시 90이상의 높은 연색지수를 가진 제품이 출시되고 있다.

각 제조사에 따라 차이가 발생하나, 대체로 색온도의 경우 3500K, 4100K, 5500K, 6500K을 기준으로 백색 LED를 생산하는 것으로 나타났다. 그러나 제조방법 상 형광물질의 사용이 불가피하므로 색상간 파장간격에 의하여 정확한 목표 색온도를 갖는 백색 LED의 양산에 어려움이 있다[9]. 따라서 위의 표 3에 나타난 바와 같이 제품마다 일정한 색온도 범위를 갖게 되는 것으로 사료된다. 또한 색온도가 낮아질수록 광속(lm)도 함께 낮아지는 것을 알 수 있다.

연색지수는 최대한 주광에 근접한 100을 목표로 개발하고 양산중이나, 형광물질의 특성상 연색지수를 높이는 데 기술적인 한계가 있어서 현재 70에서 90까지의 제품이 출시되고 있다. 조사 결과 낮은 색온도의 경우 상대적으로 더 높은 연색지수를 나타내는 것을 알 수 있

다. 백색 LED가 형광등 및 백열등을 대체하기 위해서는 연색지수를 더 높이기 위한 노력이 계속 되어져야 할 것이다.

3.2 일반광원과 백색 LED의 비교

본 절에서는 앞의 3.1절에서 조사한 백색 LED 시제품의 성능을 평가하기 위하여 일반광원의 성능과 비교하였다. 비교할 일반광원으로 가장 오래되고 많이 사용되는 대표적인 광원인 백열등과 형광등을 선택하고, 'O' 조명기구회사의 제품 카달로그를 참고하여 각각의 성능 및 특성을 조사하였다. 그 결과를 아래의 표 4와 같이 정리하여 백색 LED의 성능과 비교하였다.

표 4. 일반광원과 백색 LED의 성능 비교
Table 4. Comparing general illuminations with white LED

구분	발광효율 (lm/W)	광속 (lm)	색온도 (K)	연색성 (CRI)	평균수명 (hr)
백열등	10 ~ 15	200 ~ 1000	2000 ~ 2800	100	1,000
형광등	90 ~ 100	1000 ~ 5000	3000 ~ 6500	80 ~ 100	8,000
백색 LED	50 ~ 150 (국외, N사) 40 ~ 80 (국내, S사)	20 ~ 200	2600 ~ 10000	70 ~ 90	40,000 ~ 100,000

백색 LED의 발광효율은 근래 놀라운 성능의 발전을 거쳐 백열등 효율의 10배에 달하며 형광등의 효율과 대등한 수준을 보이고 있다. 하지만 단일 광원으로서 광속을 비교하면 백열등의 1/10 ~ 1/5, 형광등의 1/50 ~ 1/25의 수준에 불과하므로, 단일 광원이 아닌 다수의 LED를 모듈화 한 LED 조명기구로 사용되어지고 있다.

색온도의 경우 백색 LED는 2600K에서 10000K에 이르기까지 다양하고 광범위한 색온도의 연출이 가능하므로 백열등과 형광등을 대체할 수 있다. 국외 'C'사의 LED 조명기구의 경우 그림 6과 같이 색온도를 조절할 수 있도록 설계되었는데, 이는 Warm-white 계열의 낮은 색온도 LED 소자와 Cool-white 계열의 높은 색온도 LED 소자를 함께 사용하여 조광(Dimming)하는 시스템으로 구성되어 있다.

백색 LED 광원의 연색성은 앞에서 언급한 바와 같이 현재 기술적 한계로 70에서 90으로, 백열등과 형광등에 비해 낮은 수치이다. 그러나 지속적인 연구가 진행 중이므로 수년 후 태양광에 근접한 연색성을 보일 것으로 예상된다.

마지막으로 백색 LED의 수명은 4만 시간에서 10만 시간으로, 백열등의 100배, 형광등의 10배에 이르는 고

성능 장수명의 광원이다. 현재 LED 조명기구는 초기투자비의 과다로 인해 상용화되지 않고 있으나, 전문가들은 향후 5년 이내에 형광등보다 가격이 저렴해질 것을 예상하고 있기 때문에 백색 LED가 백열등 및 형광등을 대체할 차기 광원임이 분명하다.

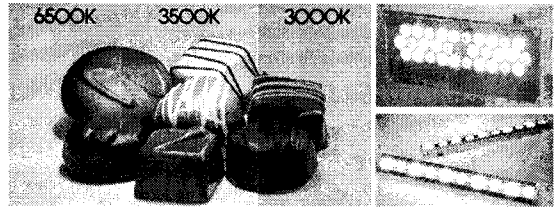


그림 6. 색온도 조절용 백색 LED 조명기구 사례
Fig. 6. Examples of white LEDs for CCT control

4. 결론

발광효율 및 평균수명의 측면에서 백색 LED가 다른 광원에 비해 월등히 앞서고, 색온도 표현에서도 백열등 및 형광등이 나타낼 수 있는 색온도를 다양하게 연출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 단일 광원으로서 다른 광원에 비해 광속이 작기 때문에 다수의 LED 광원을 모듈화 한 LED 조명기구로 사용되어야 하며, 연색성의 측면에서도 현재 타 광원에 비하면 낮은 수준이나 이러한 부분을 개선하기 위한 활발한 연구가 진행되고 있기 때문에 머지않아 좋은 연색성을 가진 백색 LED가 개발될 것으로 보인다.

백색 LED는 미래의 백열등형광등을 대체할 차세대 광원으로서 에너지 효율 및 친환경의 측면에서 월등한 성능을 보인다. 그러나 향후 광속 및 연색성의 문제점을 개선하기 위해 적극적인 연구가 더욱 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통기술평가원 2006년 건설교통기술 연구개발 사업 연구비에 의하여 연구되었음.

(과제번호: 06건설핵심D17)

참고 문헌

- (1) EU 집행위원회, EU 전기전자제품 유해물질제한지침(RoHS), 무역·환경 정보네트워크, 2006. 10
- (2) http://article.joins.com/article/article.asp?Total_ID=2641845
- (3) 김지동, LED 조명기술 동향, 한국과학기술정보연구보고서, 2004. 1
- (4) http://www.kbizweek.com/article/view.asp?vol_no=536&art_no=26244
- (5) 장우진 외, 고효율 조명기술, 도서출판 아진, 2006. 3
- (6) <http://ksignews.com>, LED '전쟁' 예고, 2007. 3
- (7) <http://www.etnews.co.kr/news/detail.html?id=200704040065>
- (8) 양배덕, 백색 LED의 최신 개발동향과 금후의 전망, KSTI분석보고서, 2007. 3
- (9) 홍창희, 백색 LED의 신기술 동향, 한국전기전자재료학회학술지 제 17권 9호, 2004. 9