

# OLED 조명기술 개발동향

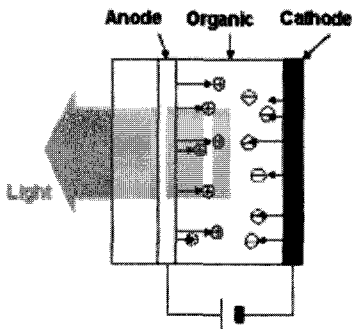
추혜용 책임연구원 (ETRI OLED조명연구팀)

## 1. 서론

산업혁명 이후로 인류의 화석연료사용이 증가하면서 대기 중의 온실가스농도가 증가하여 지구의 평균기온이 상승하고 있다. 금세기 말까지 지구의 평균기온이 최대 6.4℃ 상승하면서 생태계, 산업·경제, 생활양식 전반에 광범위하게 영향을 미치고 있다. 이로 말미암아 국제사회에서 기후변화에 공동으로 대처하기 위한 노력이 최우선 국제의제로 논의되고 있다.

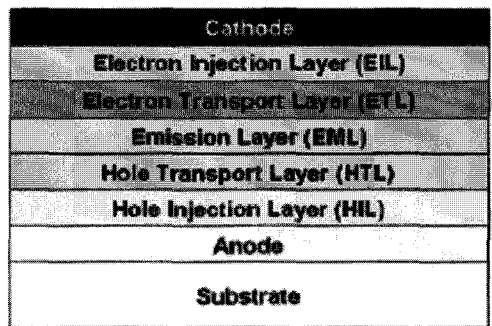
온실가스의 배출을 줄이기 위한 방안의 하나로 전 세계 에너지소비의 약 20%를 차지하고 있는 조

명의 고효율화를 위한 노력이 다각적으로 이루어지고 있다. 1879년 에디슨에 의하여 발명되어 현재까지 사용되고 있는 백열등은 저렴한 비용과 다양한 용도로 인하여 일반조명용 광원으로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 효율 특성이 20 lm/W에 미치지 못하며 수명도 약 1,000시간 정도로 짧아 세계 각국에서 사용규제를 의결하거나 논의하고 있다. 이에 반해 1938년에 개발되어 효율은 백열등의 7~8배이고 수명은 10배 이상인 형광등은 적은 열발생과 저전력 소모로 인하여 지금까지 꾸준히 사용되고 있으나, 수은이 10 ~ 50 mg과 납 10.8 ~ 12.4%가 함유되어 있어 중금속 사용규제 (RoHS, WEEE)로 인하여 사용이 규제될 계획이다. 따라서 백열등과 형광등의



[OLED의 동작원리]

(a)



[OLED의 기본구조]

(b)

그림 1. OLED 동작원리 및 소자구조.

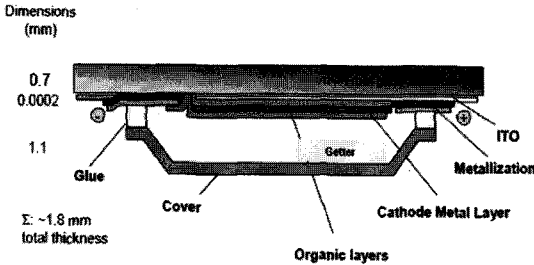


그림 2. OLED 패널단면도.

빈자리를 채울 수 있는 친환경 차세대조명으로 LED (Light Emitting Diode), OLED (Organic Light Emitting Diode)와 같은 고체조명(Solid State Light)의 고효율화 연구가 이루어지고 있다.

OLED는 그림 1과 같이 양극과 음극사이에 기능성 박막형태의 유기물 반도체층이 삽입되어 있는 구조로, 양극에서 정공이 주입되며, 음극에서 전자가 주입되어, 유기물층 내에서 이동하면서, 유기물층에서 전자와 정공이 만나 빛이 발생하는 발광소자이

표 1. 광원별 특성 비교.

구분	OLED	LED	형광등	백열등
특징	면광원 	점광원 	선광원 	원광원 
광원효율 (lm/W)	50	100	100	20
연색성	> 80	80	80 ~ 85	100
수명 (시간)	> 20,000	100,000	20,000	1,000
Dimmable	Yes, efficiency increase	Yes, efficiency increase	Yes, efficiency decrease	Yes, but much lower efficacy
Safety	None to date	Very hot	Contains Hg	Very Hot
Noise	No	No	Yes	No
단가(\$/Klm)	20	100	10	1
+/-	다양한 형태 등기구화 효율 우수	고휘도 (신호등, 자동차, BLU..)	저렴한 가격	저렴한 가격

다. OLED는 소자의 전기적인 특성이 LED와 유사하나, 발광층으로 유기물을 사용하기 때문에 유기 발광다이오드 혹은 유기 발광소자라고 한다.

OLED기술은 지금까지 자발광형 디스플레이로 활용되어 왔으나, 수은 등을 사용하지 않아 환경 친화적이며, 고효율광원으로의 가능성이 높아 차세대 조명으로 주목받고 있다. OLED광원은 지금까지의 광원에 비하여 점광원-선광원-면광원의 다양한 형태로 제작이 가능하여 디자인 자유도가 높다. 또한, 발열이 없으며, 다양한 색상을 구현할 수 있고, 디밍이 가능하여 에너지 절감효과가 있다.

이와 같은 잠재 발전 가능성으로 인하여 선진국 및 조명 선진사는 2000년 초반부터 원천 기술 확보에 주력해 왔다.

## 2. 국내·외 연구동향

미국, 유럽, 일본 등의 선진각국은 OLED 조명기술 확보를 위한 전략적 투자가 이루어지고 있다. 반면, 우리나라는 OLED 디스플레이 분야에 대한 다양한 연구가 이루어 왔으나, 조명으로의 응용을 위한 연구개발은 2006년 하반기부터 본격적으로 이루어졌다. 각 국가별 기술 개발현황을 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 미국은 에너지성 (Depart Of Energy)의 지원 하에 'Next Generation Light' 프로젝트의 일환으로 고체 조명의 기술 개발이 이루어지고 있다. 1999년부터 시작된 이 프로젝트는 초기에는 LED 핵심기술 개발에 한정되어 있었으나, 2000년부터 OLED조명을 위한

핵심기술에 대한 연구도 병행해서 이루어져 왔다. 지금까지 전체 투입연구비의 약 46%를 OLED조명의 핵심기술 개발을 위한 연구에 투입하면서 2015년까지 100 lm/W의 효율과 10 \$/klm 가격을 목표로 Philips, GE, OSRAM Opto Semi-conductors, Universal Display Co., Dow Corning Co.,와 Princeton Univ. 등의 17개 기관이 참여하여 2009년 기준으로 25개의 세부 프로젝트가 진행 중에 있다.

유럽은 오스람, 필립스를 중심으로 컨소시엄이 형성되어 광원의 고효율화, 저가격화, 투명광원 개발, Roll-to-Roll공정 및 소재개발을 위한 프로젝트들이 수행되고 있다.

특히, OLLA (Organic Light Emitting Diodes of ICT & Lighting Applications) 프로젝트는 2004년 10월에서 2008년 8월까지 15 × 15 cm<sup>2</sup> 면적의 광원으로 50 lm/W의 효율과 70 이상의 연색성과 10,000시간의 수명 특성을 갖는 백색 OLED 조명개발을 목표로 Philips, Seimens, Osram-OS, Novaled, Merck 등 24개 업체와 학교가 참여하여 성공적으로 수행을 완료하였다. OLLA 프로젝트의 후속 프로젝트로 OLED100.eu 프로젝트가 1 m × 1 m의 면적으로 100 lm/W의 효율과 100 euro/m<sup>2</sup> 이하의 가격을 갖는 OLED 조명개발을 목표로 3년 동안 30 M\$의 연구비를 투입하여 진행되고 있다.

독일은 교육연구부 (BMBF) 후원 하에 추진되고 있는 OPAL (Organic Phosphorescent Diodes for Applications on the Lighting Market) 프로젝트에서 Osram, Philips, Aixtron AG, Seimens CT, Applied Materials 등을 중심으로 고효율의 OLED광원을 수 € cents/cm<sup>2</sup> 가격으로 생산할 수 있는 기술 개발을 목표로 추진되고 있다.

그 외, Osram, Seimens 등 4개국 7개 기관이 참여하여 저가격의 OLED 광원개발을 목표로 하는 ComboLED 프로젝트와 Philips, IAPP 등 10개 기관이 참여하여 2세대급 OLED 조명용의 100 lm/W 소자구조 개발을 목표로 하는 Aevion 프로젝트가 수행되고 있으며, Roll-to-Roll기술로 저가격의 OLED 개발을 목표로 VTT, CSEM, INM, UPM, Hansaprint, Ciba, PolyIC社가 참여하고 있는 ROLLED 프로젝트와 Philips, OTB, IMEC 등 15개

기관이 참여하여 지능형 PLED 조명을 위한 저가격, Roll-to-Roll, 대면적공정 기술개발을 목표로 하는 Fast2light 프로젝트 등이 수행되고 있다.

일본은 산업기술총합개발기구 (NEDO)/산업기술진흥기구 주관으로 미쓰비시중공업과 IMES 등의 OLED 조명관련 업체들이 참여하여 BLU 및 일반 조명용 OLED 광원개발을 목표로 2004년 4월부터 2011년 3월까지 43 억 엔의 연구비를 투입하고 있다. 또한, NEDO는 2008년 기후변화에 대한 공동대처를 주요 논제로 한 G8정상회담 기간 동안에 에너지를 생성/보존/절감할 수 있는 다양한 기술들로 구성된 'Zero Emission House'를 시연할 때에 에너지 절감형 조명으로 OLED조명을 선보인 바 있다.

한편, 우리나라는 2006년부터 정부의 지원 하에 조명용 고효율 OLED 면광원, 저가형 광원, 감성조명용 광원개발을 위한 프로젝트가 생산기술연구원, 성균관대학교, 한국전자통신연구원을 중심으로 수행되고 있다.

한국전자통신연구원은 형광등과 유사한 70 lm/W 이상의 효율을 갖는 백색광원을 개발하여 시연한 바 있으며, 투명광원과 색가변광원을 위한 고효율화를 위한 연구가 수행 중이다.

이상과 같은 프로젝트이외에 전통조명산업을 주도하고 있는 GE, 오스람, 필립스 등이 차세대 조명으로 OLED조명의 기술개발과 상용화를 위한 노력을 기울이고 있다.

GE社는 2007년 Konica Minolta와 파트너십을 맺

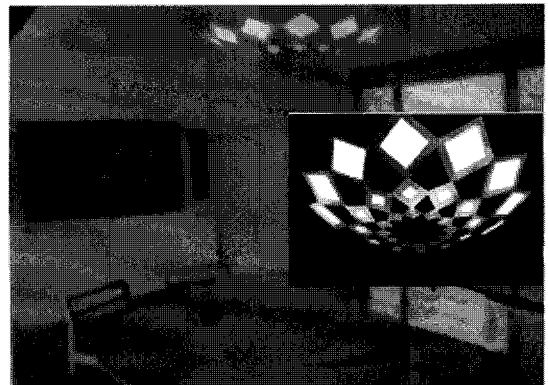


그림 3. 'Zero Emission House' 내 설치된 OLED 조명.



으며 3년 내에 제품을 출시하는 것을 목표로 Roll-to-Roll 제조공법을 적용한 플렉시블 OLED 조명제작을 시현하여 저가형 OLED조명의 가능성을 제시한 바 있다. GE社는 2010부터 데커레이션용 조명으로 시장에 진입하여 2015년 본격적인 주 조명시장에서 경쟁하는 로드맵을 발표한 바 있다.

Osram社는 OLED조명에 예술적 감성을 부가하며 조명디자이너인 잉고마우러와 더불어 감성적인 조명 시제품들을 선보이고 있으며, OLED기술만으로

로 구현 가능한 투명한 광원을 이용하여 타 조명과의 경쟁력을 확보하기 위한 노력을 하고 있다.

Philips社는 「LumiBlade」라는 브랜드의 OLED 조명 Kit상품을 판매하며 본격적으로 시장에 진입하였다. 또한 Philips社는 교감형 (Interactive) 조명을 시연하여 OLED조명과 IT기술을 접목하여 미래형 조명의 새로운 모델을 제시하고 있다.

국내에서는 OLED 디스플레이패널, 소재산업에 참여하고 있는 삼성모바일디스플레이, 네오뷰코오

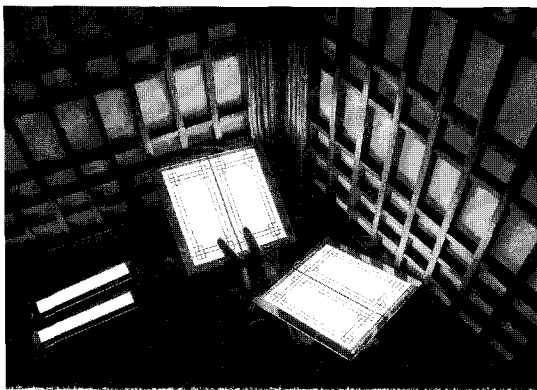


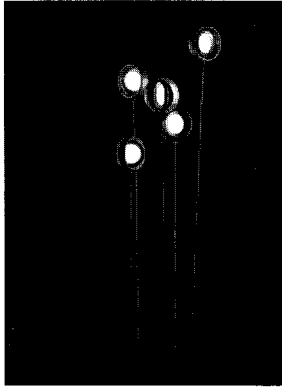
그림 4. 한국전자통신연구원 OLED조명.



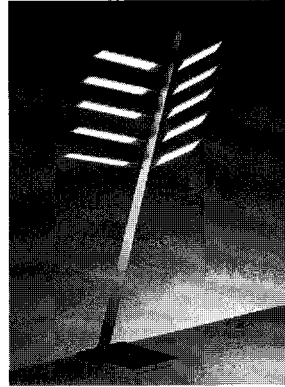
그림 5. GE社의 플렉시블 OLED조명 시제품.

표 2. 각 국가별 OLED조명 기술개발 프로젝트현황.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● DOE project ;</li> <li>- "Next Generation Lighting"</li> <li>- 1999~2015년, 100lm/W, 10S/klm</li> <li>- 전체투입연구비의 46.8% 투자</li> </ul>	UDC	GE	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● EU project ;</li> <li>- OLEDI00.eu, ComboLED, 등 8개 국제 수맹중</li> <li>- 연평균 20Meuro 투입</li> <li>- Osram, Philips, Siemens등 참여</li> </ul>	Philips	Osram	Siemens
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NEDO project ;</li> <li>- NEDO주관, 2004~2011년, 43억엔 투입</li> </ul>	Konica Minolta	Matsushida/RIOE	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 조명용 만광인 개발</li> <li>- 생기원등, 광원 고효율화</li> <li>● 조적가 유기면광인 조명 개발</li> <li>-성균관대 등, 저가격 광원</li> <li>● 환경/감성형 OLED 면조명 개발</li> <li>- ETRI 등, 감성조명용 광원</li> </ul>	성기원	ETRI	ETRI



(a)



(b)

그림 6. 오스람의 OLED스탠드 조명시제품.

룽, LG화학과 전통조명 산업체인 금호전기, 필룩스 등이 OLED 조명사업에 본격적인 참여를 발표한 바 있다.

### 3. OLED조명 핵심기술

OLED조명을 상용화하기 위해서는 OLED광원의 고효율화, 장수명화가 이루어져야 한다. 특히, 범용의 일반조명 (General Lighting)을 구현하기 위

해서는 3000 K 이상의 색온도와 70 이상의 연색성을 가지며, 10,000시간 이상의 수명을 갖는 백색광원이 요구된다.

OLED 외부효율은 발광층 내에 전자-정공을 효율적으로 주입하고 내부 발광효율을 높일 수 있는 소재를 사용하여, 최적의 구조를 구성함으로써 재결합 효율을 높이고, 내부에서 발생한 광을 최대한 외부로 방출될 수 있도록 광추출 기능을 도입했을 때 비로소 극대화될 수 있다.

OLED광원의 고효율화를 위해서는 효율 및 수명

특성이 우수한 소재의 개발이 선행되어야 한다. 즉, OLED 발광방식에 따라 형광 (Fluorescent) 및 인광 (Phosphorescent)방식으로 구분되는데, 형광 OLED는 재결합된 여기자의 25%만을 발광에 이용할 수 있기 때문에, 최대 내부양자효율 (Internal Quantum Efficiency)이 25%이며, 인광 OLED는 재결합에 의해 형성된 여기

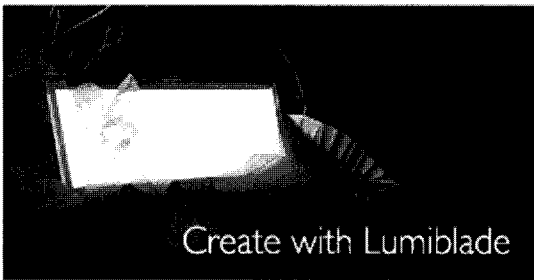
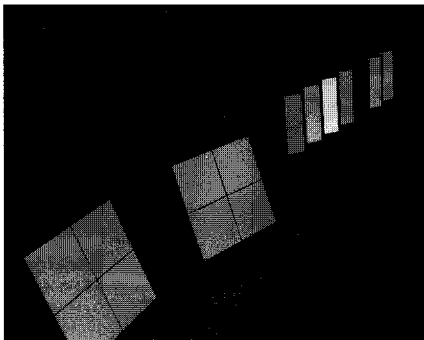
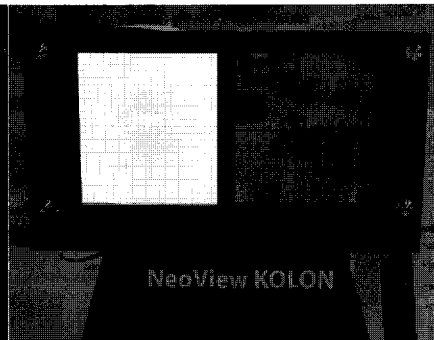


그림 7. 필립스의 LumiBlade OLED 조명용 Kit.



(a)



(b)

그림 8. 삼성SMD(a) 및 네오뷰코오롱(b)이 SID2009 및 FinetechJapan2009에 전시한 OLED광원.



자를 모두 발광에 이용할 수 있기 때문에, 이론적으로 내부양자효율 (Internal Quantum Efficiency)이 100%까지 가능하게 된다. 그러나 청색 인광발광소재의 효율 및 수명이 상용화하기에는 부족한 부분이 있어, 청색은 형광소재로 하고, 녹색과 적색은 인광소재로 구성하는 하이브리드 백색구조가 주로 사용되고 있다. 하지만, 궁극적으로 효율을 높이기 위해서는 청색 인광발광소재의 개발은 반드시 이루어져야 할 과제이다.

이와 더불어 저전압 구동을 위하여 양극과 음극에서 정공과 전자가 주입될 때에 에너지 장벽을 최소화할 수 있는 정공/전자 주입층 (HIL/EIL)용 소재와 이동도가 우수한 정공/전자 수송층 (HTL/ETL) 소재의 개발이 필요하다. 또한, 높은 연색성을 확보하기 위해서는 발광 스펙트럼의 반치폭이 넓은 발광소재와 노란색과 같이 디스플레이에서는 사용되지 않는 다양한 색의 발광소재의 개발이 필요하다.

OLED 소자구조에서 백색광을 얻는 방법은 삼원색 (R,G,B) 혹은 서로 보색의 발광층을 수직으로 적층하거나 수평으로 배열하는 적층구조와 단일 발광층 내에 RGB 혹은 보색의 도펀트 (Dopants)를 동시에 증착하거나 고분자를 블랜드하는 단일발광층 구

조와 청색 발광층과 컬러 변환층 (Color Conversion Layer)을 이용하는 컬러변화 구조 등이 있다. 지금까지 발표된 고효율 특성을 갖는 대부분의 백색 OLED구조는 수직적층형태로 구성되며, 특히, 고휘도와 장수명 특성이 요구되는 조명 응용을 위하여 다층 적층구조의 백색 OLED연구가 활발하게 이루어지고 있다.

OLED의 소재 및 백색구조의 최적화를 통하여 100%의 내부양자효율을 얻더라도 공기-유리-TCO(ITO)-유기소개간의 굴절률차로 인하여 소자의 부로 방출되는 외부양자효율은 약 20%에 불과하게 된다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 각 층간의 굴절률차를 최소화하기 위한 중간층 (소재) 도입, 공명구조의 도입, 마이크로렌즈와 같은 광학필름 도입 등의 다양한 광추출방법의 시도를 통한 고효율화가 이루어지고 있다.

이와 같은 기술들을 통하여 코니카미놀타 (日)는 고효율의 청색인광소재를 기반으로 하여 64 lm/W의 백색 광원을 개발하였으며, Novald (獨)는 35 lm/W에서 100,000시간의 수명을 갖는 백색 광원 개발하였다. UDC社 (美)와 드레스덴 대학 (獨)은 광추출기술을 통하여 102 lm/W와 124 lm/W의 백색 광원개발에 성공하였다.

표 3. 백색 OLED 소자구조.

	Vertical stack		Single EML	Horizontal RGB	Color conversion
+	Tunability Homogeneous color	Simple Fab. High efficiency	Simple Fab.	Tunability Pattern addressing	Easy Fab. No diff. ageing
-	Lower efficiency Advanced process	No tunability	No tunability	Expensive Difficult manufacturing	Depends on blue White appearance

### 4. 향후전망

OLED조명은 면광원이면서 확산광이므로 면 광원화하기 위하여 도광판, 확산판, 반사판과 같은 부가적인 수단이 필요 없으므로 우수한 광효율을 유지하면서 저렴한 가격으로 대면적화 할 수 있는 가능성을 갖고 있다. 이와 같은 장점으로 인하여 강한 지

향성을 갖고 있는 LED에 비하여 눈의 피로감을 최소화해야 하는 실내조명으로 활용될 가능성이 높을 것으로 기대된다.

이러한 장점으로 인하여 선진 주요 산업체들이 앞 다투어 OLED조명의 상용화 계획을 발표하고 있다. 그래서 2010년 하반기부터는 OLED가 조명시장에 모습을 드러내기 시작하여 2012년에는 본격적인 시장이 형성될 것으로 예상되고 있다.

표 4. 백색 OLED 개발현황.

Institute	Remark	@ 1000 nit		P-i-N	CIE	ref
		wo O/C	wi O/C			
Konica Minolta	PHOLED	37 lm/W 20% EGE	64 lm/W 34% EGE	O	0.39, 0.43	SID 2007
UDC	PHOLED	52 lm/W	102 lm/W	O	3,900K	Press released (080417)
IAPP Dresden	PHOLED	90 lm/W	124 lm/W	O	0.41, 0.49	Nature 2009
	Hybrid	31.6 lm/W 15.2% EGE	49.2 lm/W 24.3% EGE	O	0.49, 0.41	ICEL-7
Yamagata Uni.	Tandem			O	0.28, 0.41	SPIE 2006
Eastman Kodak	Hybrid	30.1 lm/W 13.6% EGE		X	0.32, 0.36	SID 2008
ETRI	PHOLED	46 lm/W	70 lm/W	X	0.42, 0.47	IMID 2008
	Hybrid	31 lm/W 15% EGE	50 lm/W	X	0.39, 0.46	SPIE 2009

※ wo O/C : without Outcoupling, wi O/C : with Outcoupling

비록, 기술 개발에 있어서는 선진국에 비하여 약 5년 정도 뒤늦게 투자되고 이루어지고 있으나, 디스플레이용 OLED패널의 생산 1위국인 우리나라의 산업 인프라를 활용할 경우에 OLED 조명산업의 도약이 기대된다. 특히, 전통 조명산업에서 조명의 가치사슬에서 광원이 갖는 비중은 약 20% 내외에 불

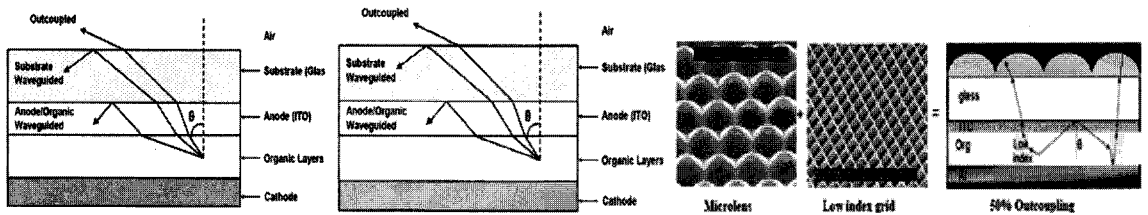








그림 9. OLED구조에서의 광경로 및 광 추출방법.

표 5. 면광원의 특성 비교.

면광원		광효율 (lm/W)	면광원인 수단	기구의 광이용효율 (%)	총광효율 (lm/W)
OLED		100 (가동성)	불필요	100	100
LED + 도광판		100	도광판	30~70	30~70
무기EL		10	불필요	100	10
평면형광램프		30	불필요	(100)	(20)
FEL		...	불필요	(100)	...
형광등		100	확산판	50	50

다. 또한, 조명은 생활의 일부로서 도구인 동시에 문화이다. 따라서 고도화된 기술과 더불어 문화의 일부로 생활 속에 들어와야 할 것이다.

OLED조명은 조명문화의 패러다임을 바꿀 수 있는 차세대 친환경 조명임에 분명하다. 따라서 문화의 변화에 우리나라 조명산업계가 중심에 있기를 기대해 본다.

### 참고 문헌

- [1] Kido, J., Kimura, M. & Nagai, K., "Multilayer white light-emitting organic electroluminescent device", Science 267, 1332, 1995
- [2] Sun, Y. et al., "Management of singlet and triplet excitons for efficient white organic light-emitting devices", Nature 440, 908, 2006
- [3] Williams, E. L., Haavisto, K., Li, J. & Jabbour, G. E. "Excimer-based white phosphorescent organic light emitting diodes with nearly 100% internal quantum efficiency", Adv. Mater. 19, 197, 2007
- [4] Sun, Y. & Forrest, S. R., "High-efficiency white organic light emitting devices with three separate phosphorescent emission layers", Appl. Phys. Lett. 91, 263503, 2007
- [5] Nakayama, T., Hiyama, K., Furukawa, K. & Ohtani, H. "Development of phosphorescent white OLED with extremely high power efficiency and long lifetime", SID07 Dig. 1018, 2006
- [6] D'Andrade, B. W. et al., "Realizing white phosphorescent 100 lm/W OLED efficacy", Proc. SPIE 7051, 70510Q, 2008
- [7] Nakamura, T., Tsutsumi, N., Juni, N. & Fujii, H. "Thin-film waveguiding mode light extraction in organic electroluminescent device using high refractive index substrate", Appl. Phys. Lett. 97, 054505, 2005
- [8] Gartner, G. & Greiner, H. "Light extraction from OLEDs with high index matched glass substrates", Proc. SPIE 6999, 69992T, 2008
- [9] Baldo, M. A. et al. "Highly efficient phosphorescent emission from organic

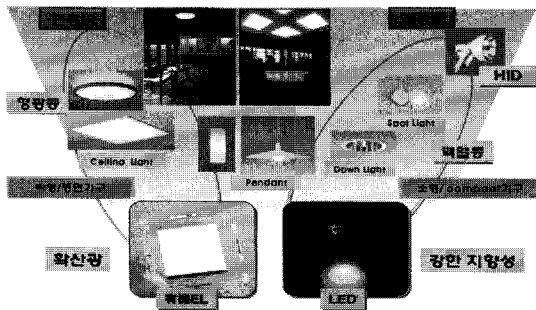


그림 10. 차세대 실내조명의 주 응용 분야.

가했지만, OLED조명은 광원이 갖는 비중은 약 60 ~ 70%에 달할 것으로 예측되고 있어 OLED로 인한 조명산업에서 선진화를 기대해도 될 것으로 예상된다.

1980년대 초에 기존의 형광등 기술에 비하여 획기적인 성능의 CFL (Compact Fluorescent Lamp)이 출시되었나, 기술의 성숙도가 낮은 상태에서 성급한 시장 진입으로 소비자에게는 장점보다 단점이 먼저 인식되었다. 그 후 더욱더 혁신적으로 기술이 발달했음에도 불구하고 25년 동안 CFL의 시장 확대를 막는 요인이 되었던 선례가 있다.

OLED 조명산업의 성공적인 도약을 위해서는 고효율화, 장수명화, 저가격화와 같은 기술적인 문제점을 충분히 해결하고 시장에 진입해야 한다는 것이



electroluminescent devices", Nature 395, 151, 1998

[10] Goushi, K., Kwong, R., Brown, J. J., Sasabe, H. & Adachi, C. "Triplet exciton confinement and unconfinement by adjacent hole-transport layers", J. Appl. Phys. 95, 7798, 2004

[11] Schwartz, G., Fehse, K., Pfeiffer, M., Walzer, K. & Leo, K. "Highly efficient white organic light emitting diodes comprising an interlayer to separate fluorescent and phosphorescent regions", Appl. Phys. Lett. 89, 083509, 2006

[12] Schwartz, G., Pfeiffer, M., Reineke, S., Walzer, K. & Leo, K. Harvesting triplet excitons from fluorescent blue emitters in white organic light-emitting diodes. Adv. Mater. 19, 3672-3676 (2007).

[13] Meerheim, R. et al. "Influence of charge balance and exciton distribution on efficiency and lifetime of phosphorescent organic light-emitting devices", Appl. Phys. Lett. 104, 014510, 2008

[14] Sebastian Reineke, Frank Lindner, Gregor Schwartz, Nico Seidler, Karsten Walzer, Björn Lüssem & Karl Leo, "White organic light-emitting diodes with fluorescent tube efficiency", Nature 459, pp.234-238, 2009

[15] [www.eere.energy.org](http://www.eere.energy.org)

[16] [www.olla-project.org](http://www.olla-project.org)

[17] [www.oled100.eu](http://www.oled100.eu)

[18] [www.comboled-project.eu](http://www.comboled-project.eu)

[19] [www.ipms.frounhofer.de](http://www.ipms.frounhofer.de)

[20] [www.nedo.jp](http://www.nedo.jp), [www.organic-electronics.jp](http://www.organic-electronics.jp)

[21] [www.ge.com](http://www.ge.com)

[22] [www.osram-os.com](http://www.osram-os.com)

[23] [www.lighting.philips.com](http://www.lighting.philips.com)

[24] 1st LED/OLED Lighting Technology Expo., Japna, Tokyo, 2009.04.

[25] 유비산업리서치 '차세대 조명용 OLED광원 시장 전망', 2008

## 저|자|약|력



성 명 : 추혜용

### ◆ 학 력

- 1987년  
경희대 물리학과 이학사
- 1989년  
경희대 대학원 물리학과 이학석사
- 2008년  
경희대 대학원 정보디스플레이학과  
공학박사

### ◆ 경 력

· 1989년 - 현재

한국전자통신연구원 OLED조명연  
구팀 책임연구원(팀장)

