

OLED를 활용한 조명기술 동향

이봉주 <남서울대학교 교수> · 신백균 <인하대학교 교수> · 황명근 <한국조명연구원 본부장>

1 개 요

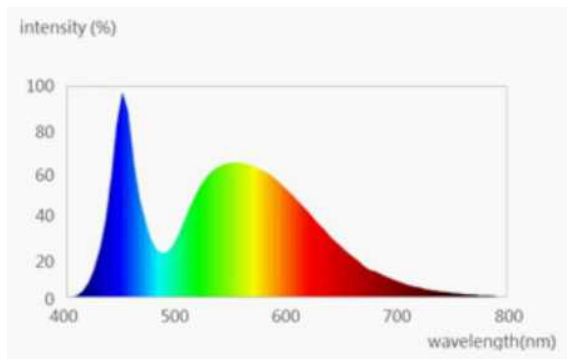
1.1 OLED의 특성

유기발광다이오드(OLED, Organic Light-Emitting Diode)는 유기 재료 기반의 새로운 광원으로 자연광에 가장 가까운 스펙트럼 분포를 갖고 있는 고효율/친환경 광원으로 현재 차세대 조명광원으로 활발한 연구가 진행 중에 있다. 그림 1은 기존 반도체 광원의 스펙트럼 분포와 LG화학에서 개발된 OLED의 스펙트럼 분포를 나타낸 그림이다. 그림처럼, OLED 광원이 자연광에 가까운 빛이라는 것을 볼 수 있다.

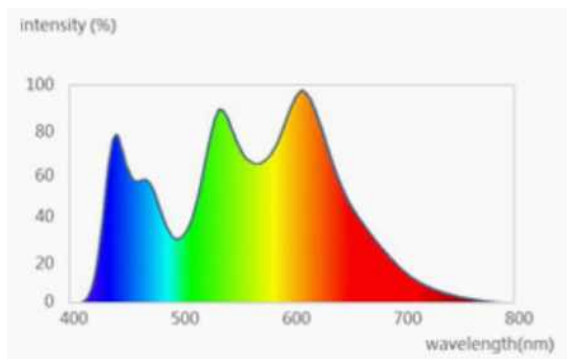
반도체식 광원과 달리 OLED는 얇은 면광원의 형태를 가질 수 있으며, 기존의 광원이 구현하기 힘든 투명하면서 유연한 광원이 가능하다. 특히 OLED는 근본적으로 면발광하는 고체박막형 광원으로써 자연스럽고 부드러운 특성으로 편안한 발광이 가능한 소자이며, 반도체 광원에 비해 발열이나 눈부심이 없어 눈에 가까워도 불편함이 덜하며 인공광원에서 나타나는 자외선에 의한 피해가 없어 차세대 친환경적인 광원의 장점이 있다.

발광광원으로써의 특성 외에 여러 기술과의 융합이 가능한 다양한 어플리케이션으로써의 장점을 갖고 있다. 그림 2는 OLED의 기본적인 구조로 이를 활용해 OLED를 사용한 플렉서블 패널들은 초박형, 초경량

으로 곡면 등에서의 빛도 가능하게 되었다. 플렉서블 OLED에서 투명한 광원의 가능성도 기대된다. 그림 3은 플렉서블 OLED의 형상을 나타낸 것이다.



(a) 기존 반도체 광원의 스펙트럼 분포



(b) OLED의 스펙트럼 분포(LG화학 제품)

그림 1. OLED의 스펙트럼[1]

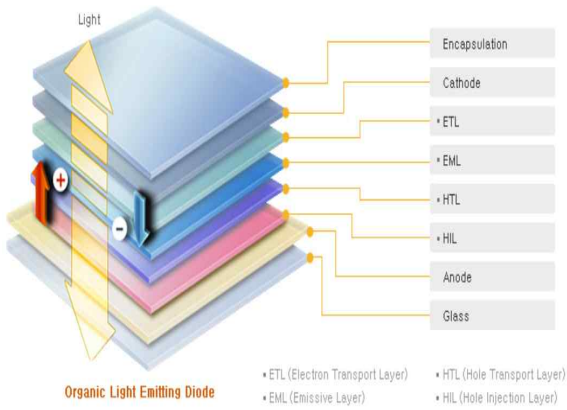


그림 2. OLED 소자의 기본적인 구조[1]



그림 3. 플렉시블 OLED

1.2 OLED의 기본 발광 원리

그림 4는 OLED의 기본 발광 원리를 표현하였다. 양극과 음극에 전원을 인가하면 양극에서는 정공이 정공 주입층과 정공 수송층의 영향으로 좀 더 쉽게 발광층으로 이동한다. 또한 음극에서는 전자가 전자 주입층과 전자 수송층의 영향으로 좀 더 쉽게 발광층으로 이동하여 발광층에서 만난 여기된 전자와 홀은 낮은 에너지 준위로 떨어지면서 빛을 발생하게 된다. 이 경우 발광되는 빛의 색깔은 유기 물질의 종류에 따라서 달라진다. 효율적인 OLED 소자의 제작을 위해서는 전극의 일함수, 유기 박막층의 LUMO와 HOMO에 대한 고려가 필요하다.

발광효율은 전하의 이동, 재결합률 등과 연결되므

로 유기발광소자의 발광설계가 효율적으로 고려하지 않는 경우, 성능의 저하의 문제가 발생하게 된다. 이렇게 제작된 OLED 소자는 Red, Green, Blue의 색을 발생시키는 유기 재료들을 사용하여 모든 색을 구현할 수 있게 된다.

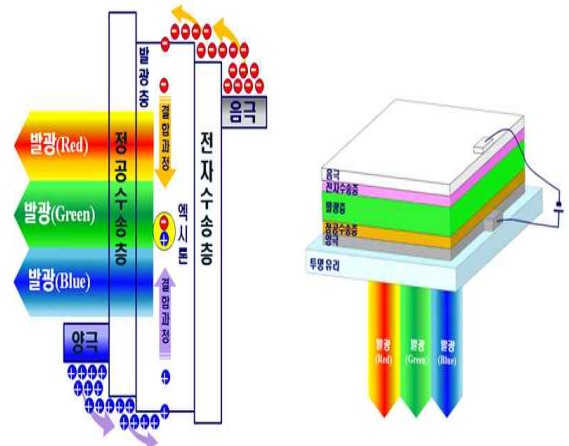


그림 4. OLED의 기본 발광 원리[2]

유기발광다이오드의 색깔표현의 방법은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 표에서 볼 수 있듯이 독립증착의 경우, Red/Green/Blue의 유기발광체를 독립 증착하여 색깔을 표현하는 방식이 있고, 형광필터를 활용한 방식이 있으며, White OLED에 칼라필터를 활용하여 색깔을 표현하는 방식인 칼라필터 방식이 있다.

표 1. 유기발광소자 색표현 방식

독립증착	형광필터	칼라필터

세 가지 표현방식 중 미세한 화소를 표현하는 방식인 독립증착방식은 디스플레이 영역에서 많이 활용되고 있다. 그러나 요즈음 유기발광소자의 색표현방식은 복잡한 공정 및 제조비용을 낮추고자 하는 목적으로 칼라필터를 활용한 방식으로 변화되어지고 있다.

1.3 백색 OLED

백색 발광소자의 구조는 단일층, 다층 및 down conversion 구조 등이 있다. 이와 같은 구조들은 그림 5에서 나타내었다. 단일층 구조는 삼원색(Red/Green/ Blue) 혹은 그의 보색을 이용해서 혼합 발광하는 구조로 제작이 수월하나 수명이 짧다.

다층 구조는 효율이 좋지만 수명이 짧고 roll-off 현상이 심하고, down conversion 구조는 red와 blue를 이용하여 구조가 간단하지만 효율이 낮다.

구조	단일층 발광구조	다층 OLED구조		Down Conversion 구조
		다중발광층	다층 OLED 구조	
원리	- RGB, RB 발광물질을 혼합 사용하여 혼합발광하는 구조. - Excimer, Exciplex White 활용	- RGB, RB 다층을 사용하는 구조	- OLED를 다층으로 활용 - Stack OLED와 multi-Photon Emission 구조	- Blue OLED의 빛을 이용 Phosphor Red가 발광 White 발광
장단점	제조용이, 고효율, 저가격 기대, 단 수명, 양산성 부족 (종적), 색좌표 변동이 심함	고효율, 제조공정 복잡, 색좌표변동	최고의 Current Efficiency, 장수명, 제조공정 복잡, 고전압	Simple 구조, 장수명, 색좌표 안정, 저효율

그림 5. OLED의 기본 발광 원리[3]

현재 상용화를 목표로 개발 중인 대부분의 유기발광다이오드 조명은 백색 소자 구조를 기반으로 한다. 인광 blue 재료의 개발이 늦어지면서, 상용화 제품에는 형광 blue 재료를 사용하여 수명이 짧은 인광 blue를 대체하고 있다. 형광 blue와 인광 Red/Green 를 적층하여 다층 구조의 발광층을 Tandem

구조라고 한다. Tandem 구조는 그림 6에서 나타내었고, 이와 같은 백색 OLED는 구동 전압이 높고 효율이 낮지만 수명이 긴 장점이 있다.

그러나 구조가 복잡하여 재료의 소모가 많고 공정 장비의 개발 자금이 늘어나는 단점이 있다. 이에 따라 효율, 수명, 비용 등의 면에서 향상된 특성을 보이는 소자 구조의 개발이 절실히 필요하다.

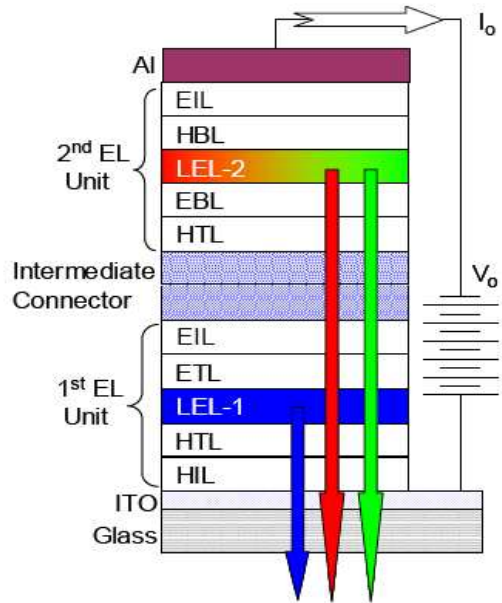


그림 6. Tandem 구조의 OLED 소자[3]

1.4 조명광원으로의 OLED

광원으로의 유OLED는 현재 디스플레이소자 및 조명의 광원으로 활용되어지고 있다. OLED 소자를 디스플레이 영역 혹은 조명 영역으로의 활용시 큰 차이점은 미세 화소제어 기술이 유무라 할 수 있다. 디스플레이 소자의 경우 작은 화소의 표시형태를 자유롭게 해야 하기 때문에 미세 패터닝 기술 및 화소구동을 위한 박막형 트랜지스터의 적용기술이 필요하다. 이러한 이유로 디스플레이소자 적용을 위해서는 제조공정이 복잡하고 더불어 제조비용이 높을 수 있다. 또

한 두 가지 영역에서 활용시 주요 성능지표 중 발광스펙트럼의 차이가 있을 수 있다. 디스플레이는 색재현 범위를 넓히기 위해서 고색순도의 좁은 스펙트럼을 요구하는 반면 조명으로의 활용을 위해서는 연색지수(CRI: color rendering index)를 높이기 위해 넓은 스펙트럼을 요구한다. 이런 점을 감안하여 디스플레이는 contrast 및 해상도가 중요한 기술이지만, 조명의 경우 태양광에 근접하는 연색지수 제어가 중요한 기술로 분류되고 있다.

표 2 조명 광원 분류

1세대	2세대	3세대
Oil Light Source	Electric Light Source	Solid State Source
		

표 2는 조명광원에 대한 분류를 표시한 것이다. 표에서 보듯이 1세대의 조명은 연료 직접연소방식을 의미하며, 2세대의 조명은 전기에너지를 활용한 방전등을 의미한다. 더불어 3세대의 조명은 LED 및 OLED의 반도체조명 광원으로 분류할 수 있다.

최근 정부의 저탄소 녹색성장 정책기조(“1530”, “2060”)에 부응하여 친환경소자 및 저소비전력형 반도체 광원인 LED와 OLED의 조명이 주목받고 있다.

1.5 유기발광다이오드 조명 시장 동향

그림 7은 조명용 광원으로써의 OLED가 시장에서 가지고 있는 위치를 나타내고 있다. 조명용 유OLED는 아직까지는 광원으로써의 인지도가 낮고, 시장에

서 차지하는 비율 또한 낮다. 하지만 이는 OLED가 광원으로써의 연구 개발의 필요성과 함께 성장 가능성이 많은 분야라는 것을 알 수 있다.

그림 8의 조명영역의 광원시장 점유율을 살펴보면, 2009년에는 형광램프 38.1%, 백열전구 60.4%, LED 1.5%, OLED 0.0%이며, 2015년에는 형광램프 52.5%, 백열전구 37.5%, LED 5.8%, OLED 4.2%로써 형광램프의 점유율은 증가하며 백열전구의 점유율은 감소, LED와 OLED의 비율은 점차 증가하는 추세를 보일 것으로 예상되고 있다.

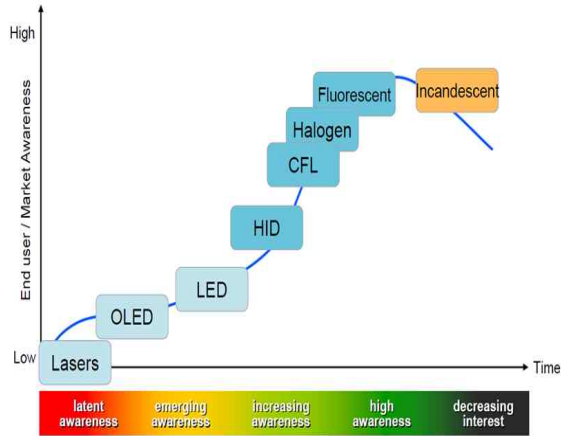


그림 7. 조명 시장에서의 OLED의 현 위치[4]

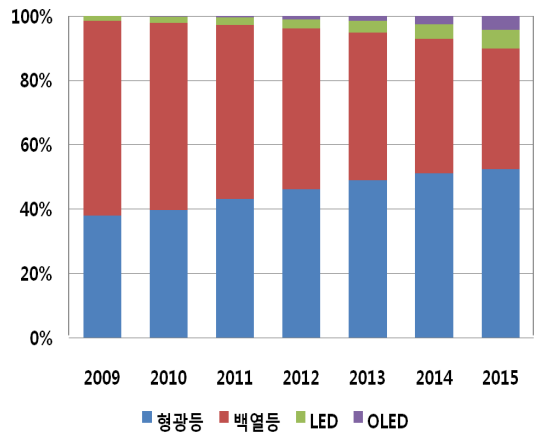


그림 8. 조명용 광원 세계시장 현황기

조명용 OLED가 상용화가 되려면 3,000K 이상의 색온도, 80 이상의 연색성과 10,000시간 이상의 수명을 보장되어야 한다. 이에 맞는 특성의 OLED 조명의 기술 개발이 필요하다.

2. OLED 조명기술의 기술 동향

2.1 국외 기업 기술 개발 현황

OLED 광원은 다른 광원에 비하여 다양한 형태로 디자인의 자유도가 높다. 발열이 없고, 다양한 컬러 구현이 가능하며, 조절 기능이 가능하여 에너지 절감 효과가 크다. 효율, 연색성감소와 같은 문제점이 없어 실내조명 및 그 응용 분야에 큰 이점을 가진다. 국내외 조명 산업 예측 보고서에 따르면 2012년부터 OLED를 이용한 옥내·외 조명 시장이 본격적으로 형성될 것이며, 2020년에는 LED와 함께 모든 조명 시장을 대체할 것으로 예상이 되고 있다.

조명광원으로서의 상용화를 위해 광원의 효율, 수명, 대면적화, 저가격 기술을 확보하는 것이 중요하다. 고효율의 광원을 얻기 위해서는 유기재료, 소자구조 및 광효율 증진 기술 개발이 중요하다.

세계적인 조명 디자이너와 더불어 감성조명 시제품들을 선보이며 조명 마케팅을 넓히고 있다. 최근에는 ORBEOS라는 제품명으로 OLED 면 조명 패널 제품을 소량 생산하고 있으며, 시장의 반응을 보는 상황이다.

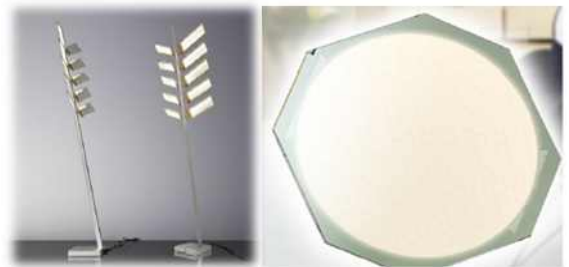


그림 10. 오스람 스탠드 조명, ORBEOS, 자동차 조명[4]

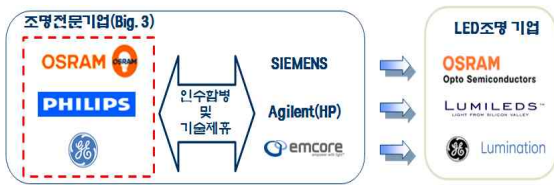


그림 9. 국외조명 업체의 변화

전통조명 산업을 가지는 오스람, 필립스, GE 등의 회사는 반도체기업과 인수 및 합병을 통한 조명시장의 변화를 바꾸고 있는 실정이다. 이에 대한 내용은 그림 9에 나타내었다.

그림 10은 오스람의 제품을 나타내었다. 오스람은 세계 최초로 OLED 스탠드 조명 제품을 출시하였다.

OLED 소자 자체의 특성 향상에도 많은 연구개발에 노력을 기울여 2011년 6월경에는 5,000cd/m² 휘도에서 75lm/W의 우수한 전력효율을 발표하였다. 또한, 2012년 9월경에는 OLED 자동차 조명에 대한 기술 개발 방안을 제시하면서, 도로적합성을 달성하고 유기발광다이오드 기반 최초의 특수 장비를 제공한다는 기사를 게시하였다. 늦어도 2016년 새로운 차량 시리즈에 시제품을 적용할 예정이다.

그림 11은 필립스의 고분자 및 저분자를 이용하는 다양한 방식의 OLED 조명을 나타내었다. 필립스는 고분자 및 저분자를 이용하는 다양한 방식의 유기발광다이오드 조명을 개발하여 왔다. 형광 OLED를 이

용하고 녹색 및 적색 인광 OLED를 이용하여 백색을 구현하는 하이브리드 방식을 개발하였으며, 마이크로 렌즈 등을 이용하여 전체 효율 50~80lm/W를 구현, 투명 백색 OLED를 개발하여 발표하였다. 또한, Lumiblade라는 브랜드의 OLED 조명 키트 상품을 판매하여 시장을 준비 중이다. Philips는 최근 미놀타와 공동으로 UDC의 인광발광체를 이용하여 45lm/W의 전력효율을 나타내는 패널 제품을 시연하기도 하였다.

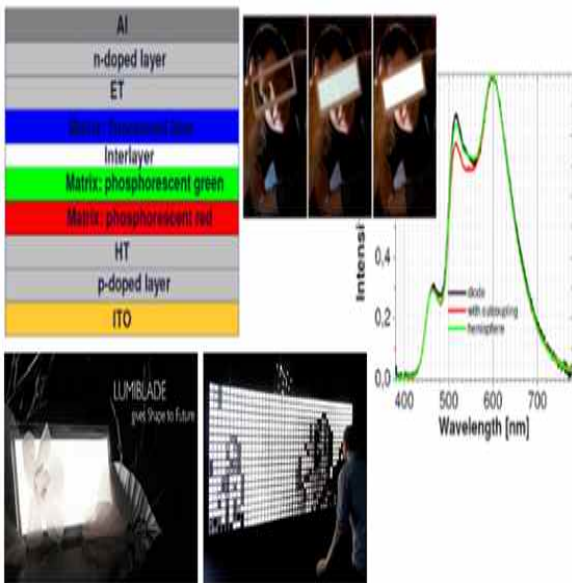


그림 11. Philips의 OLED 조명 연구개발 현황 및 Lumiblade와 교감형 OLED 조명[2]

그림 12는 GE의 OLED 조명의 연구개발 현황이다. GE는 2000년 초반 OLED 조명 기술을 개발하기 시작한 이래, 초기 약 5lm/W 이하 효율을 발표하였다. 2005년 15lm/W의 효율을 갖는 61cm×61cm의 면 조명을 발표하였으며, 2008년에는 미놀타와 파트너십을 맺어 Roll-To-Roll 제조공법을 적용한 플렉시블 OLED 조명을 발표하였다. 또한 청색 유기 발광다이오드 및 Down Conversion Layer를 이용

하여 백색 OLED를 구현하는 방식을 개발하였다. 2010년 56lm/W에 5,000 시간 수명을 지닌 OLED 조명을 만들어 냈고, 단가 경쟁에 맞게 생산할 수 있도록 추가 연구 진행 중이다. 시제품은 2015년 본격적인 주 조명시장에서 선보일 예정이다.

그 밖에 신규업체로 2008년 미쓰비시 중공업, 롬, 토판프린팅 등이 설립한 루미오텍, NEC, KANEKA, 고이즈미 조명 등이 OLED 조명산업에 진출할 계획이다.



그림 12. GE의 OLED 조명 연구개발 현황 (생산기술원, 2009)

2.2 국내 기업 기술 개발 현황

국내에서는 삼성디스플레이, LG화학, 네오뷰 코오롱 등이 OLED 면광원에 대한 연구 개발에 매진하고 있으며, 금호전기, 필룩스 등은 등기구 개발을 추진하고 있다. 그림 13은 국내 OLED 조명 시제품을 나타내었다.

우리나라는 OLED 디스플레이 분야에서 품질과 생산 면에서 세계 최고 수준이므로, 같은 생산 인프라

를 활용할 경우에 OLED 조명 분야에서도 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

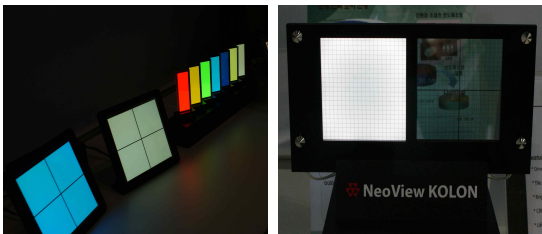


그림 13. 국내 OLED 조명 시제품(삼성디스플레이, 네오뷰 코오롱, 한국전자통신연구원)

그림 14는 LG화학의 OLED 조명기기를 나타낸 모습이다. '11년 LG화학과 미국의 Acuity Brands Lighting과 파트너십을 통해 OLED 조명 제품을 최근 발표하였다. 패널의 전력효율이 53lm/W이고, 수명이 15,000시간을 보장해 형광등에 가까운 좋은 특성을 나타내고 있다. 한편 한국전자통신연구원(ETRI)은 70lm/W 이상의 효율 특성을 갖는 백색 OLED를 개발함으로써 국내 OLED 조명 기술의 선진 기술의 계기를 도약하였다.

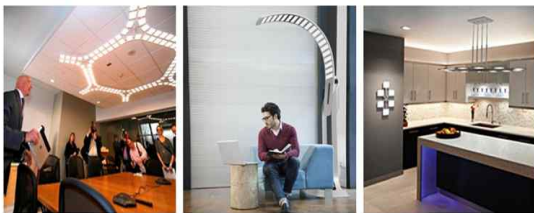


그림 14. OLED 패널을 이용한 조명기기[1]

2.3 특허 동향

그림 15는 국내의 특허출원동향 및 국가별 특허 점유율이다. 국외 특허출원은 연평균 4.7% 성장률을 보이고 있으며, 90년대 초반부터 상승세를 보인다 2008년 이후 최근까지 감소세를 보이고 있다. 국내는 연평균 12.4% 성장률을 보이고 있으며, 지속적인 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 나타난다. 국가별 점유율을 보면, 미국이 47.2%로 가장 많은 출원율을 보이고 있으며, 다음 일본, 한국, 유럽 순이다.

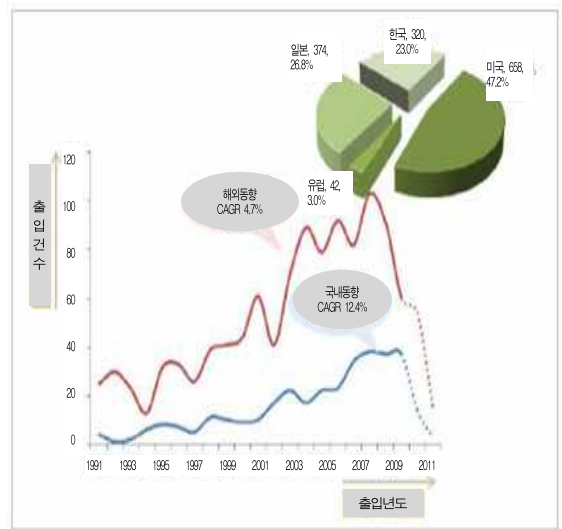


그림 15. 국내의 특허출원동향 및 국가별 특허점유율[5]

3. 결 론

OLED 조명은 유기 재료 기반의 신광원으로써 기존의 반도체 조명광원의 모든 특성을 포함하고 있다. 더불어 자연광에 가장 가까운 스펙트럼 특성, 저발열 및 플렉시블이 가능하여 신기술들과의 융합기술 도출이 가능한 최고의 광원소자이다.

지금까지의 OLED를 적용한 조명의 시장은 작지

만, 이는 많은 성장 가능성이 있다는 점으로 생각할 수 있다. 국내외 여러 연구기관 및 기업체에서 OLED 조명의 상용화를 위해 노력하고 있고, 신개념의 기술이 접목된 제품을 발표하고 있다.

구부러질 수 있는 측면은 어떠한 광원으로든 표현할 수 없는 특성이기에 OLED를 적용한 조명시장은 급속히 증가될 것이다. 아직은 효율, 수명, 비용 등의 면에서 부족하지만, 지속적인 유기재료의 신뢰성 기술개발과 소자 구조의 개선을 광원의 효율상승 기술이 발전되기에 OLED를 사용한 유연한 조명광원은 조만간 우리 일상생활에서 쉽게 볼 수 있는 광원이 될 것으로 예상해 본다.

참고문헌

- [1] <http://www.lgchem.com/kr/green-energy/oled-lighting>
- [2] 조남성, "OLED의 현황과 전망", 고분자 과학과 기술 제24권 제2호, pp. 126-134, 2013.
- [3] 박중운, 이종호, 신동찬, "OLED 광원기술", 인포메이션 디스플레이 제10권 제6호, pp. 16-25, 2009.
- [4] 문제현, 조두희, 이정익, 추혜용, "OLED 조명 기술", 한국광전자학회지 제1권 제1호, pp. 18-27, 2011.
- [5] 원동규, 박영욱, "OLED 조명기술", 한국과학기술정보연구원, TCI Report, 2009.
- [6] search.wips.co.kr
- [7] OLED 광원산업 동향 및 시장 전망보고서, (주)유비산업리서치 보고서.
- [8] 황명근, 정희석 외 4, "LED광원에 적용되는 부품·소재 연구개발 동향", 한국조명전기설비학회 2013 추계학술대회 논문집, pp. 98-99, 2013. 11.
- [9] 황명근, "OLED조명 기술동향과 전기적, 광학적 특성", 한국정보디스플레이학회, 인포메이션 디스플레이, 제14권 제6호, pp. 10-13, 2013. 12.
- [10] 정희석, 황명근, "LED조명용 소재부품 기술", 한국조명전기설비학회 조명전기설비, V.27, No. 3, pp34 - 39, 2015. 5.
- [11] 정희석, 황명근 외6, "형광체 코팅에 따른 Remote Phosphor 구조의 백색 LED 패키지 특성 평가", 한국전기전자재료학회, 26(4) 330-334, 2013. 5.

◇ 저 자 소개 ◇



이봉주(李鵬周)

1973년 4월 16일생. 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1998년 2월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 2월 인하대학교 대학원

전기공학과 졸업(박사). 2004년 6월~2007년 8월 LG 전자 디지털디스플레이 연구소 선임연구원. 2007년 9월~현재 남서울대학교 전자공학과 교수

주요관심분야 : 차세대 신광원, OLED, LED, 조명공학, 조명등기구, 디스플레이, OTFT, ONVMT, OSC, 신재생에너지 등

E-mail : bjlee@nsu.ac.kr



신백균(申白均)

1967년 1월 16일생. 1990년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1992년 2월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 12월 독일 Friedrich-Alexander Universitaet Erlangen-Nuernberg 대학원 전기전자공학부 졸업(박사). 1992년 12월~2000년 11월 독일 FhG-IISB 연구소 객원연구원. 2002년 12월~2004년 2월 일본 Kumamoto Univ. 외국인방문연구원. 2004년 3월~현재 인하대학교 IT공대 전기공학과 교수. 2008년 9월~2010년 8월 인하대학교 IT공대 부학장. 2008년 1월~2011년 12월 한국조명전기설비학회 평의원. 2012년 1월~2013년 12월 한국조명전기설비학회 이사.

주요관심분야 : OLED, 디스플레이, OTFT, ONVMT, OSC, Energy Harvesting Device

E-mail : shinsensor@inha.ac.kr



황명근(黃明根)

1961년 4월 3일생, 1988년 서울과학기술대학교 졸업. 1991년 한양대학교 졸업(석사). 2004년 인하대학교 졸업(박사). 현재 한국조명연구원 융합조명 연구본부 본부장/수석연구원. 2008~2010년 한국산업기술대학교 겸임교수. 2003~2006년 세종대학교 겸임교수. 현재 국제조명위원회(CIE)한국위원회 부회장. 대한전기학회 C분과 편집위원. 현재 한국조명전기설비학회 부회장 및 LED·OLED조명기술연구회 위원장.

주요관심분야 : LED, OLED 및 신광원, 조명공학 등

E-mail : mkhwang@kilt.re.kr