

OLED의 현황과 전망

Current Status of OLED Technology and Market

조남성 | Nam Sung Cho

Next Generation Display Research Department Components & Materials Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute, 218 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-700, Korea
E-mail: kevinchons@etri.re.kr

1. 서론

최근 들어 유기발광다이오드, 유기태양전지, 유기트랜지스터와 같은 유기 전자재료를 이용하는 소자들은 원천기술 개발 단계를 넘어 상업화에도 이르면서 가장 주목 받는 기술이 되었다. 유기 전자재료를 이용하는 소자들은 경량화, 초박형, 저비용, 그리고 유연소자 가능 등 많은 장점을 가지고 있어 앞으로도 혁신적인 기술선도가 진행될 부분이라 하겠다. 이런 장점을 기반으로 국내의 대표적 기업인 삼성과 LG에서 세계 기술을 선도하고 있으며 이에 연구소, 학교 등 많은 기관들에서 유기전자 소재 및 소자에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 가장 주목 받고 있는 유기전자 소재를 이용한 기술은 당연 OLED 관련 기술개발이며 본 기고에서는 OLED의 현황과 전망을 디스플레이부터 조명에까지 정리해보도록 하겠다.

2. OLED 의미와 소재의 특성 소개

OLED란 organic light emitting diode의 약어로 양극과 음극 사이에 유기물을 증착 또는 용액 공정을 통해 필름을 형성, 적층하여 만들어진 다이오드형태의 소자이다. 여기에 전극을 통해 전류가 흐르면 빛을 내는 전계 발광현상을 뜻한다. 이는 유기물 내로 전하를 주입하여 유기 발광 분자를 바닥상태(ground state)에서 여기상태(excited state)로 만든 후 다시 바닥상태로 돌아오면서 내놓는 에너지가 빛으로 전환되는 원리를 이용한 것이다. 이때 발광하는 소재의 에너지 크기에 따라 red, green, blue의 영역에 맞는 빛을 발광하도록 소자를 구성할 수 있다.

그림 1은 OLED의 발광원리와 기본적인 구조를 도식화한 것으로 수백 nm의 두께를 갖는 유기박막과 양극과 음극으로 구성된다. OLED 발광소자가 구동하는 과정은 단계적으로 전극에서 유기물로 전하가 주입되는 과정, 유기물 내에서 전하가 발광층까지 수송되는 과정, 발광층에서 전자와 정공이 만나 여기자(exciton)를 형성하고 재결합하는 세 단계로 나눌 수 있다. 이러한 기본 발광 원리를 원활히 하기 위해, anode에서 정공이 전극과 유기물 사이의 주입을 원활하게 해 주는 정공주입층(hole injection layer, HIL), 주입된 정공이 발광층으로 효과적으로 전달하게 하는 정공수송층(hole transport layer, HTL), 전달된 정공과 전자가 만나 빛을 내는 발광층(emissive layer, EML), cathode에서 전자의 주입과 전달을 원활하게 하는 전자수송층(electron

Author



조남성

2000 중앙대학교 화학과 (학사)
2002 한국과학기술원 화학과 (석사)
2006 한국과학기술원 화학과 (박사)
2006-2008 Univ. of California Santa Barbara Post-Doc.
2008-2011 LG Display R&D Center 책임연구원
2011 한국전자통신연구원 OLED연구실 선임연구원

transport layer)과 전자주입층(electron injection layer) 등으로 각 기능별로 최적화된 소재들을 적층하는 다층 박막 구조를 사용한다.

OLED 소자에 사용되는 유기물은 대체적으로 에너지 밴드갭이 크기 때문에 열평형상태에서 소자 안에 존재하는 자유 전하 밀도가 거의 존재하지 않게 되고 OLED소자에서 유기물의 여기(excitation)와 발광(emission)은 외부 전극에서 주입된 정공과 전자에 의해서만 이뤄진다. 대체로 양극으로는 정공을 잘 주입시키고 배면발광을 위해서 ITO와 같은 투명한 재료를 사용하고 음극으로는 전자를 효과적으로 주입하고 사용이 용이한 Al을 기반으로 하는 다양한 화합물을 사용한다. 발광재료는 그 용도에 따라 구분할 수 있는데 대체로 유기 재료의 분자량에 따라서 저분자와 고분자로 분류할 수 있다. 진공증착 공정을 통해 박막을 형성하게 되는 저분자 재료는 효율, 수명, 색순도 등에서 고분자 재료에 비하여 우수한 특성을 가지는데 반해 용액을 기반으로 다양한 프린팅 기술을 활용하는 고분자 재료는 저분자 재료에 비해 성능은 떨어지지만 효율적/저비용의 공정으로 박막 제조가 가능하여 대면적 기판 적용에 유리한 점을 가지고 있다. 이미 저분자 기반의 발광재료를 기반으로 하는 증착 공정으로는 상업화가 삼성디스플레이의 모바일 기기부터 LG Display 55인치 AMOLED TV까지 기술이 개발되고 판매되고 있으며 여기

에 미래 기술의 요구에 맞춰 용액 공정 기술에 대한 관심도 커지고 있어 고분자를 기반으로 하는 기술에도 많은 연구가 진행되고 있다. 유기재료의 발광방식에 따라서는 단일항 발광 재료를 사용하는 형광(fluorescent) 재료와 삼중항 발광 재료를 사용하는 인광(phosphorescent) 재료로 구분할 수 있으며 두 재료를 혼합하여 사용하는 하이브리드 구조도 있다(그림 2). 발광구조에 따라서는 유리기판 방향으로 빛을 방출하는 배면발광(bottom emission)과 유리기판 반대 방향으로 방출하는 전면발광(top emission)으로 나눌 수 있다. 저분자 재료는 일반적으로 진공증착법에 의해 증착되며, 효율 및 신뢰성이 우수하여 현재 대부분의 상용 OLED 생산에 적용되고 있다. 고분자 재료는 주로 프린팅 방식의 용액 공정에 의해 성막되며, 대면적 제작의 용이함과 저렴한 공정비용 등의 장점으로 인하여 일본의 Sumitomo, 미국의 GE를 중심으로 활발히 기술개발이 진행되고 있다. 인광 OLED는 재결합에 의해 형성된 여기자를 모두 발광에 이용할 수 있기 때문에, 이론적 내부양자효율이 100%로 형광 OLED에 비해 이론 효율이 4배가 되어 우수한 반면 수명이 길지 않은 단점이 있다. 그러나 최근 활발한 인광재료 개발에 힘입어 내부양자효율과 함께 수명도 크게 향상되어 점차로 상용 제품에 사용되고 있는 추세이다.

양 전극에서 주입된 전자와 정공은 각 유기물 층을 통해 발광층으로 수송된다. 결정 구조가 규칙적이지 않은 비정질(amorphous) 상태의 유기물 내로 주입된 전하는 주위 분자의 격자와 상호작용하여 안정화된 폴라론(polaron)을 형성하게 되고 외부전압을 구동력으로하여 에너지 준위 사이를 호핑(hopping) 이동한다. 각각 전자 수송층과 정공 수송층을 거쳐 발광층으로 주입된 전자와 정공은 결합하여 엑시톤(exciton)을 형성한다. 일반적인 유기 분자에서 전계에 의해 형성되는 초기 엑시톤은 두 스핀이 비대칭으로 배열하는 단일항(singlet state)과 두 스핀이 대칭으로 배열하는 삼중항

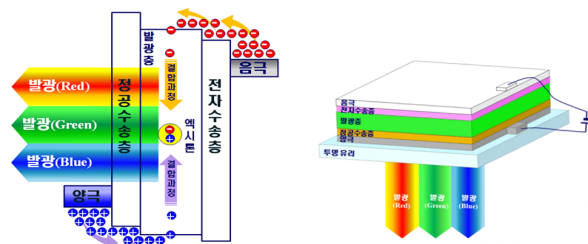
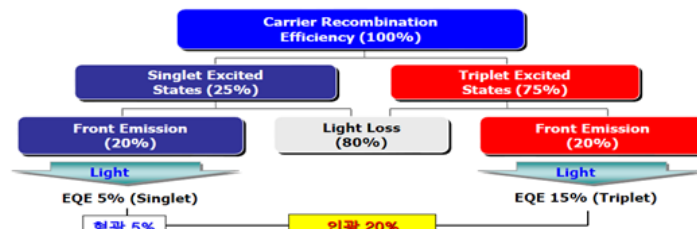


그림 1. OLED(organic light-emitting diode)의 기본 발광 원리.



	형광(Fluorescence)	인광(Phosphorescence)
대표 재료(host/dopant)	Alq3/Rubrene, Quinacridone, DCJTb	CBP/PtOEP, Ir(ppy) ₃ , Flrpic
발광효율(IQE/EQE) ¹⁾	25% / 5%	100% / 20%
특징	· 재료 안정, 長수명	· 발광효율 大
Issues	· 낮은 효율	· 고가 · B재료, Color, 수명 < 1,000시간 · 고휘도에서의 효율 저하(quenching)

¹⁾IQE : Internal Quantum Efficiency, EQE : External Quantum Efficiency

그림 2. 발광소재의 구분과 특성 비교.

(triplet state)이 1:3의 비율로 형성된다. 일반적으로 단일항 상태(S1)의 에너지가 삼중항 상태(T1)의 에너지 보다 높다. 여기서 삼중항을 이용하는 발광특성은 그림 2에서 설명하듯이 효율 향상에 단일항을 이용할 때보다 높은 특성을 보이게 되어 주목받고 있다. 이렇게 단일항 또는 삼중항 상태에서 여기되는 엑시톤들은 일부는 열로 소실되고 일부는 빛으로 방출되면서 이 현상을 발광(luminescence)이라 하며 이 현상을 기반으로 OLED의 기본 설계가 진행되는 것이다.

현재 대한민국 디스플레이의 위상은 세계를 선도하는 위치에 있다. 이미 TFT-LCD의 기술을 선도하였고 평판디스플레이 시장에서 50%이상의 점유율 유지하고 있다. 여기에 새로운 시장의 확대를 위해 3D 및 스마트 디스플레이 기술들을 대거 채용하면서 기술의 트렌드 면에서도 first-mover로서의 위치를 확고히 하고 있다. 최근에 LG Display와 Samsung Display에서는 차세대 디스플레이로서 AMOLED를 전면으로 두고 제품의 경쟁력을 강화하고 있다. LCD를 대신할 차세대 디스플레이로서 OLED의 위치는 이미 모바일기기에서는 갤럭시 시리즈를 통해 강자의 위치를 확보한 삼성과 대형 AMOLED에서도 LG에서는 55인치 AMOLED TV를 출시하였고 삼성도 곧 출시할 예정이다. Ultra-slim한 패널의 구조와 초경량을 핵심으로 하고 3D와의 기술 융합 등 customer-insight를 만족할 만한 충분한 potential을 가지는 상품설계를 진행하고 있다. 다만 기술적 극복 방안으로 요구되는 것은 AMOLED 디스플레이의 대중화를 위한 제조 비용절감과 eco-friendly business 전략을 위한 고효율의 디스플레이 구현이 화두이다.

3. 디스플레이 산업 현황

현재 TFT-LCD의 시장은 TV시장의 포화와 중국 기업의 사업 확장에 따른 패널 업체의 수익성 악화가 화두이다. 3D 기술과 스마트 기술의 융합으로 새로운 시장을 형성하려 하였으나 콘텐츠의 부족과 스마트 기술의 대중화 부족으로 인한 요인이 크다. 이런 상황에서 일본과 대만의 디스플레이 업체들의 사활을 건 경영환경 개선이 이루어지고 있고 그 예로 샤프와 홍하이 그룹의 투자 협상, 삼성의 샤프에의 투자 등 다양한 방향으로 포화된 시장을 개선하려는 노력들이 이루어지고 있다. 여기에 세계 디스플레이 시장의 50%이상을 점유하고 있는 삼성과 LG의 변화도 주목할 만하다. 삼성전자의 LCD 사업부가 삼성디스플레이로 분사되고 LG Display의 55인치 AMOLED TV기술의 혁신 및 상용화등 새로운 디스플레이 시장의 개척에 많은 노력들이 이루어지고 있다. 여기서 OLED의 기술의 도전은 새로운 디스플레이 시장의 차세대 주자로 주목받고 있으며 다양한 결과들이 도출되고 있다. 우선 LG에서 2월에 출시한 55인치 AMOLED TV가 있으며 AUO의 SONY에 대한 투자가 진행중이고 Japan Display에서 Gen. 6 라인을 위한 개발이 있고 AUO와 CMI의 모바일용 TFT-LCD 라인을 AMOLED로 변경이 예상되고 또 SONY의 AMOLED 사업이 재개되고 있다. 지난 1월 라스베이거스 CES 2013에서 SONY는 full HD보다도 4배 선명한 56인치 OLED TV 시제품을 용액공정 기술을 기반으로 파나소닉, 스미토모와 협력, 공개하면서 LG가 주도하는 OLED TV 시장 경쟁에 다시 불을 붙였다.

표 1. 삼성과 LG의 AMOLED 라인 투자 현황

Company	Location	TFT		OLED		Capa.	status
		Gen.	TFT	Gen.	Method		
삼성	천안	4	LTPS	4 1/2	FMM	45K	MP
		5,5		5,5 1/4	FMM	24K	MP
	탕정	8	LTPS	8 1/6	SMS	24K	MP
		8		8 1/2	?	8K	PP
		5,5		5,5	?	24K	계획
LGD	구미	4	LTPS	4 1/2	FMM	6K	R&D
	파주	4	LTPS	4 1/2	FMM	15K	PP
		8	Oxide	8 1/2	White+CF	8K	PP
						24K	계획



그림 3. LG와 삼성의 55인치 AMOLED TV.



그림 4. CES 2013에서 공개된 SONY의 56인치 OLED TV 시제품.

표 2. 국가별 AMOLED의 사업 현황

Nation	Company	
	Mass Production / Pilot Production	R&D
Korea	LG Display, Samsung Display	NeoView Kolon
Japan	Sony	Ortustech, Panasonic
Taiwan	RiT display	AUO, CMI
China		BOE, Irico, Tianma, Visionox
Etc.	eMagin, MED	
Total	6	9

SONY의 56인치 OLED TV는 시제품이라는 점에서 출시까지 이어질 지가 관건이지만 삼성과 LG, SONY간의 본격적인 기술 3파전을 예고했다는 점에서 주목할 수 있으며 용액공정 기술이 적용된 대형 AMOLED TV에 적용하였다는 것에서 큰 의미가 있고 기술의 발전이 크게 일어나고 있음을 말해주고 있다.

구체적으로 국내기업의 OLED 기술 투자 현황을 살펴보면 LGD에서는 구미와 파주에 Gen. 4와 Gen. 8을 위한 기술 개발 및 투자를 진행하고 있으며 삼성도 천안과 당진을 중심으로 mass production을 Gen. 4, Gen.5.5, Gen. 8 등을 위한 투자가 진행되고 있다. 그리고 세계적으로 AMOLED를 연구하고 비즈니스를 진행하는 기관도 한국과 일본을 중심으로 진행되고 있다.

그리고 최근 AMOLED 시장의 실적 현황을 살펴보면 그림 5에서 2012년 기준으로 3사분기의 출하량은 2사분기 대비하여 약 410만 개 증가한 3,800만 개로 집계되었고 전분기 대비 Q/Q, 12%이상의 높은 성장세를 보이며 전년도 대비를 보면 Y/Y, 46%로서 가파른 성장세를 확인할 수 있다.

이렇게 차세대 디스플레이로서 OLED가 큰 주목을 받고 있고 이미 모바일 기기에서는 세계적으로 큰 시장을 형성하였으며 이제 TV시장에도 그 영역을 확대해 가고 있다. 또한 그 성장속도는 LCD의 경우보다도 더 빠르게 나타나고 있다. 이에 OLED를 이루는 기본이 되는 소재들이 효율과 수명, 그리고 가격면에서 장점을 가지도록 개발되어야 함은 OLED 기술의 대중화에 초석임은 자명한 일이다.

4. OLED 발광소재의 현황

TFT-LCD를 이을 차세대 디스플레이로서 OLED가 확실한 위치를 확보하면서 소재들의 개발이 중요한 화두가 되고 있다. 현재 OLED 소재에서는 다양한 소재들을 적용하여 구성하는데 각각의 층에서 기본적으로는 물리적인 안정성 - 예를 들면, 열분해 온도, 유리전이온도 등을 갖추어야 하며 적층시에 서로 접하는 층과의 전기적 광학적인 특성 조합도 최적화되어야 한다. RGB방식의 독립 픽셀 방식에서는 전체 층

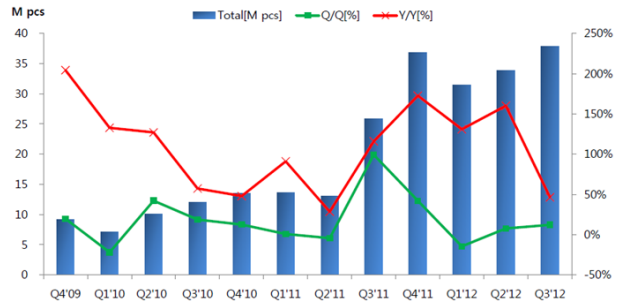


그림 5. AMOLED 시장의 최근 실적.

수가 11층 이상, 백색을 사용하는 OLED TV에서는 14개층이 적용되어 전극을 제외하고도 최소 10개 이상의 소재들이 사용되어야만 OLED를 구성할 수 있다. 이렇게 많은 층의 소재가 필요하고 앞서 언급하였듯이 OLED의 연구개발이 확대되는 상황에서 세계적으로 많은 기업들과 연구기관에서 사업화를 진행하고 있다. 많은 기술 축적이 요구되고 있기는 하지만 display에 이어 OLED 소재산업에서도 국내기업의 leading도 예상되고 있다.

표 3에서 보듯이 OLED는 좀 더 높은 효율과 긴 수명을 확보하기 위하여 다양한 소재들이 쓰이며 이 소재들은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 전극으로서 anode와 cathode가 있으며 이 전극사이에 정공수송층(hole transporting layer, HTL), 발광층(emitting layer, EML), 전자 수송층(electron transporting layer, ETL)로 분류할 수 있다. 그림 6에서 OLED 구조와 소재들의 대표적인 분류를 나타내었다. 표 3에서 다수의 기업들에서 OLED에 다양한 활동이 이루어지고 있고 이 소재들은 모두 진공증착 방식의 재료들이다. 고분자 소재를 응용한 예로 그림 4를 들 수 있으며 용액공정이 가능한 고분자 소재를 사용해서 대형 AMOLED TV를 개발하였던바 고분자의 필요성은 진공 증착을 위한 저분자의 대응으로 기술개발의 요구도가 크게 발생하고 있는 상황이다.

5. 시장현황과 전망

삼성전자의 AMOLED가 적용된 모바일기기가 출시된 이후 차세대 디스플레이로서 LCD의 대체제로 AMOLED가 크게 자리잡고 있으며 품질 개선을 위한 공정기술의 발전과 대량 양산 기술 최적화를 위한 기술로 발전했다. 초기 옴니아 2를 시작으로 현재 갤럭시 노트2까지 개발이 진행되면서 크게 디스플레이 품질 개선이 이루어졌으며 전체적인 성능이 LCD와 동등, 또는 그 이상의 기술들이 확보되고 있다. 이에 추가로 빠른 속도로 장비 및 소재 부문의 국산화까지 이루어졌다. 현재를 뛰어넘는 미래의 OLED 기술 발전 방향은 원가 절감을 통해 차세대 디스플레이로서 위치를 확고히 하고 기존 디스플레이가 진입하지 못했던 대면적 TV 시장 진입 및

표 3. 대표적 AMOLED 소재 생산업체 현황(주 - IK:이데미츠코산)

소재	전자 주입층	전자 수송층	적색 호스트	적색 도판트	녹색 호스트	녹색 도판트	청색 호스트	청색 도판트	정공 수송층	정공 주입층
삼성	LGC	LGC	Dow	UDC	두산	두산	SFC	SFC/Dow	덕산	덕산
LG	LGC	LGC	Dow	UDC	IK	IK	IK	호도가야	LGC	LGC

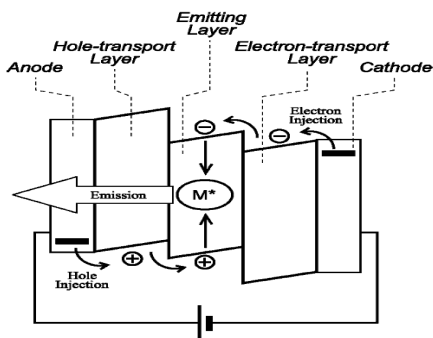


그림 6. 다층구조의 OLED 소자 구조.

새로운 형태의 디스플레이를 창출하는 것이다.

AMOLED 성장은 모바일기기의 시장 확대에서 시작되었다. 최근 멀티미디어에 대한 소비자 요구가 증가하고 있고, 삼성전자의 AMOLED의 적용은 멀티미디어 기능을 가능하게 하는 최적의 디스플레이로 큰 위상을 확보하였고 보급속도는 시장조사기관의 예상을 뛰어넘을 것으로 예상되고 있다. 현재 삼성에서 판매하고 있는 갤럭시 노트2(그림 7)는 AMOLED의 기술의 발전을 보여주었고 LG의 55인치 AMOLED TV의 시장판매는 기술혁신을 보여주는 예가 되었다. 디스플레이시장에서 TV가 차지하는 비중이 절대적인 점을 감안하면 대형 AMOLED 타깃은 중소형 모바일기기에서 대형 AMOLED TV로 이동하게 되는 것이 타당하다. 이를 뒷받침하듯 중소형 AMOLED시장에서 Samsung Display의 독주로 인하여 시장진입시기를 놓친 LG디스플레이, Sony, AUO 등은 대형 AMOLED 시장, 특히 OLED TV시장에 대한 적극적인 대응을 준비 중이다. 여기에 소니가 56인치

AMOLED TV를 발표하는 등 현재 AMOLED는 우리나라를 비롯하여 수많은 글로벌 TV 업체들이 중소형 패널보다는 TV용 대형 패널 기술개발에 집중할 전망이다.

현재까지 AMOLED의 대면적 양산기술은 LCD만큼 높은 수율을 확보하지 못하고 있으며 짧은 수명과 높은 제조비용 등의 해결해야 할 문제점들을 가지고 있다. 그러나 AMOLED TV 기술은 근본적으로 LCD TV의 약점을 모두 극복할 수 있는 이상적인 디스플레이 기술로 여겨지고 있다. 현재 LG Display는 백색 OLED 기술과 컬러필터를 결합하는 기술을 개발하고 있으며 삼성디스플레이에서는 RGB 독립화소 방식의 개발을 통해 대형 TV를 빠른 시일 내에 구현할 수 있도록 개발에 박차를 가하고 있다. LG의 TV기술에는 발광층이 백색을 발광하는 OLED 구조를 open mask를 이용하여 증착하는 기술을 사용한다. 녹황색과 청색을 전하형성층이 연결하여 두가지 발광특성이 동시에 이루어지는 특성을 이용한다. RGB 삼원색은 OLED에 최적화된 컬러필터를 사용하게 되고 백색화소는 필터가 없는 구조를 가지게 한다. 공정상 기존의 LCD 생산설비를 활용할 수 있는 장점이 있으며 양산성 및 수율 확보에 용이하며 대형패널 대응과 ultra definition에 적용이 용이한 장점을 가지고 있다. 반면 개선해야 할 점은 컬러필터를 사용함으로써 소비전력이 커짐과 독립픽셀 방식보다 시야각 좁아짐을 꼽을 수 있다. 삼성의 RGB 독립픽셀 구조는 작은 마스크를 이동하면서 넓은 면적의 패널에 픽셀을 형성하는 방법이다. 마스크가 필수적으로 이동을 해야 하는 상황에서 마스크와 기판사이에는 gap이 존재하게 되고 이는 필연적인 dead zone 발생과 유기물 증착의 shadow현상이 발생할 가능성이 크다. 이 방식은 독립픽셀

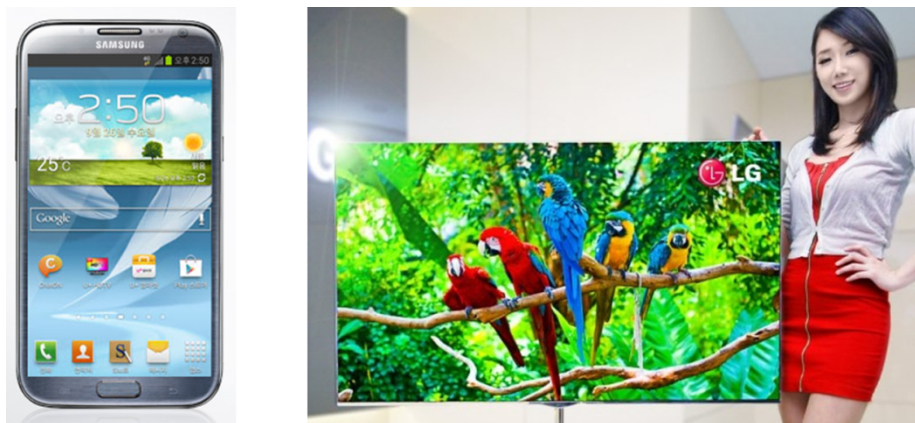


그림 7. 삼성의 갤럭시 노트2와 2013년 2월 출시한 LG의 55" AMOLED TV.

표 4. AMOLED 디스플레이와 OLED조명의 비교

	AMOLED 디스플레이	OLED 조명	비교
구조	- TFT Back-plane 필요 - RGB 픽셀 필요	- TFT Back-plane 불필요 - 백색광의 단일 픽셀로 구성	
OLED 특성	- 색온도 : 6,000K~10,000K - 연색성 : 고려하지 않음 (<60) - 시야각 : 지방광 - 색재현율이 중요	- 색온도 : 3,000K~6,000K - 연색성 : >80 - 지방성 : 확산광	디스플레이용 조명용
제조장비 호환성	- 픽셀 구성을 위한 기둥 필요 - 공정시간 : 現 4분 (<2분 목표) - 유기소재 소비율 : 現 15% (40% 목표) - 2세대형 생산장비로 양산 중 - 5.5세대형 생산장비 개발 중	- 픽셀 불필요 - 공정시간 : <1분 요구 - 유기소재 소비율 : >50% 요구 - 2세대형 장비로 파일럿 생산 - 4세대이상 장비 개발 예정	- 디스플레이용 장비로 조명용 패널의 제조는 가능하나, 원가를 낮출 수 없음
응용분야	- 모바일용, TV용 디스플레이	- 보조조명, 주조명, BLU	
벤더 (現)	해외 - 소니, CMEL 국내 - 삼성모바일디스플레이 - LG디스플레이	- 필립스, 오스람 - 도요쿠디바이스, 루미오릭	- LG와약, 삼성모바일디스플레이, 네오뷰코오롱 등 기술 개발 중

구현으로 색 재현율면에서는 비교우위를 점하지만 실시간으로 align의 변화, glass의 처짐 발생등이 있어 수율과 생산성에서 열세를 가지게 된다. 그리고 고해상도 대응시 mask gap으로 혼색이 발생하는 어려움이 있다. 하지만 각각의 방식으로 기술의 성공 가능성은 입증되었으며 소재부터 공정기술까지 많은 연구기술자들이 개선에 박차를 가하고 있다(그림 8).

이렇듯 대형 AMOLED TV기술에서는 다양한 기술적 난제 및 cost 저감 등 해결해야 할 이슈를 포함하여 현재 개발 진행 및 기 출시된 LG의 대형 AMOLED TV에 적합한 특성을 확보하지 못한 소재와 소자 기술로 인하여 가격요인이 큰 걸림돌로 여겨지고 있으나 가격을 넘어 display의 value 메시지를 주어 차별화 포인트를 어필하는 전략으로 시장 진입을 시도하고 있다. 이에 현재 당면하고 있는 기술적 이슈 및 cost 저감을 위한 소재의 개발과 소자 기술이 요구되어 많은 연구자들이 이 부분을 해결하도록 많은 노력이 요구되고 있다.

6. OLED 조명의 현황

조명 광원으로로서의 OLED는 디스플레이 응용을 위한 OLED와 공통적인 기술 요소도 있지만, 각각 특징적 요소도 가지고 있다. 공통적인 기술 요소는 전력효율, 안정성, 수명,

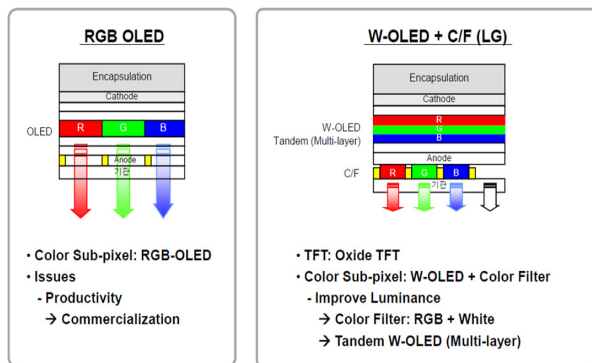


그림 8. (좌) 대면적 TV 제조방식 RGB 독립 구동 방식(Samsung Display), (우) WOLED + C/F(LG Display).

제조가격 등이 있으며, OLED 디스플레이만의 기술 요소는 미세 화소 패턴 형성, 콘트라스트, 해상도, 색재현 능력 등이 있고, OLED 조명광원만의 기술 요소로는 연색지수(color rendering index, CRI), 대면적 발광 균일도, 색유지 능력 등이 있다(표 4).

조명용 OLED에서 매우 중요한 특성인 연색지수는 한마디로 얼마나 태양광과 근접한 스펙트럼을 가지느냐를 정량화한 것이라고 할 수 있다. 그 값은 0에서 100까지 나타낼 수 있으며, 100에 가까울수록 태양광과 유사한 스펙트럼을 가지는 우수한 광원이라고 할 수 있다. 일반적으로 백열등은 효율은 낮지만 100에 가까운 연색지수를 가지고 있다. 또한, 색좌표 기준으로는 백색의 기준인 블랙바디 라디에이션 곡선(그림 9)으로부터 많이 벗어나게 되면 조명의 품질이 떨어지는 광원이 된다. 일반적으로 1931 CIE 좌표상에서 y 좌표가 커지면 효율(efficacy)은 증가하게 되는데, 효율만을 높이고자 하다보면 y 좌표가 너무 높아져서 조명으로 사용하기 어려운 광원이 될 수가 있으므로 주의하여야 한다. 또한, 광원의 색안정성 역시 중요한 요소로서 광원의 수명과 구동전압에 따른 색상변화와 광원의 배광 방향에 따른 색상변화가 적어야 한다.

조명의 신기술 광원으로 주목 받는 OLED는 백색 LED 광원과 흔히 비교되곤 한다. LED가 반도체 칩을 사용하여 만들기 때문에 소형의 점광원이고 면광원화하는데 있어서 부가적인 부품과 공정이 필요한데 반하여, OLED 조명은 패널 형태로 생산되므로 자체가 면광원이며 확산광이라는 특징이 있다. 확산광은 눈의 피로감을 줄이고 낮은 높이에서 넓은 면적을 밝힐 수 있어 실내용 조명으로 적합한 특성을 나타낸다.

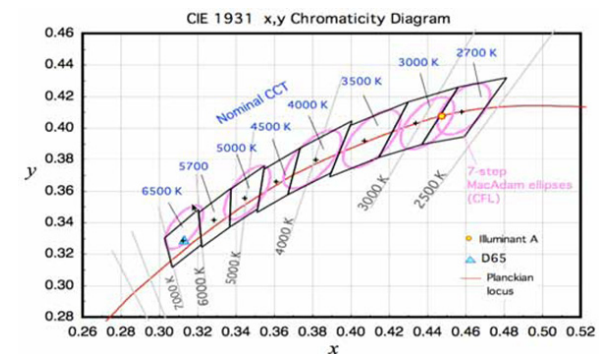


그림 9. 조명용 광원으로 적합한 색온도(CCT) 별 색좌표 범위.

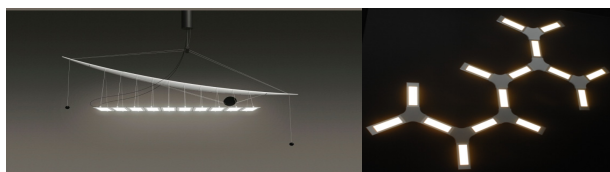



그림 10. 2009년(좌) 및 2010년(우) OLED 조명디자인 공모전 대상작.

표 5. OLED 면광원과 타 조명용 광원과의 특성 비교

구분	OLED	LED	형광등	백열등
특징	면광원 	점광원 	선광원 	원광원 
광원 밝기	보통	강함	보통	약함
광원효율 (lm/W)	50	100	70	20
주 사용처	가정	신호등, 자동차, BLU 등	가정	가정
수명 (시간)	20,000	100,000	10,000	1,000
단가(\$/Klm)	--	100	10	1
장점	높은 연색성 다양한 형태 등기구화 효율 우수	고휘도	저렴한 가격	저렴한 가격
단점	R&D투자필요	부품추가소요 조명공해유발	중금속 오염	낮은 효율

LED광원은 매우 높은 휘도를 갖고 수명이 길며 외광효율이 높은 장점이 있지만 발열이 심하여 커다란 방열장치를 필요로 하며 눈이 부시고 확산광을 만들기 어려운 단점이 있다. 반면에 OLED 광원은 눈에 편안한 휘도로 면광원 형태의 발광을 하므로 실내용 조명으로 적합하고 매우 얇아 혁신적인 디자인이 가능하다는 장점이 부각되고 있다. 이전에 단점으로 지적되던 수명과 LED에 비해 떨어지는 외광효율 및 휘도는 최근 활발한 기술개발에 따라 LED와의 격차가 급속히 줄어들고 있는 상황이다(표 5).

7. OLED 조명의 개발현황

OLED 면조명은 신개념의 면광원으로서 기존 백열등 대비 60~90%의 전력 절감 효과가 기대되는 저전력 특성과 종래 조명기기에서 볼 수 없는 디자인 혁신성을 나타내어 유력한 차세대 조명 후보로 주목 받고 있다. 함께 주목 받고 있는 LED 광원에 비해 구조와 공정기술이 간단하며 공정시간 단축, 공정장비 단순화가 가능하여 대량생산이 실현될 경우 상당히 낮은 가격으로 공급이 가능할 것으로 예측된다. 또한 점광원뿐만 아니라 사용 가능한 LED 광원에 비해 면광원 조명으로서 다양한 응용이 가능하므로 대부분의 주요 조명 기업이 상용 제품의 조기 개발에 힘을 기울이고 있다. 2년 전만 해도 시제품으로 선보인 OLED 조명의 외광효율이 20 lm/W를 넘지 못하고 휘도와 수명도 낮아 LED에 비해 늦게 주목 받기는 하였으나 2011년 현재 전력효율 70 lm/W(백열등 16 lm/W), 수명 10,000 시간 이상(백열등 1,000 시간)의 우수한 특성을 나타내는 시제품들이 나와 상용화 시장에 OLED 조명이 진입 단계에 와 있는 것으로 생각된다. OLED 조명 기기는 추후에도 성능 향상이 지속적으로 이루어질 것으로 예상되며 2020년에 전력효율 200 lm/W, 수명 20,000 시간 이상, 가격 1\$/Klm 등의 성능을 가질 것으로 예측되고 있다.

전 세계는 온실가스의 배출을 줄이기 위한 방안의 하나로 에너지 소비의 약 20%를 차지하고 있는 조명의 고효율화를

위한 노력을 다각적으로 경주하고 있다. 1879년 에디슨에 의하여 발명된 후 현재까지 사용되고 있는 백열등은 저렴한 가격과 다양한 용도로 인하여 일반조명용 광원으로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 효율 특성이 16 lm/W에 불과하여 세계 각국에서 에너지 절감을 위하여 사용규제를 논의하거나 시행하고 있다. 이에 반해 1938년에 개발된 형광등은 효율 측면에서는 백열등의 7~8배에 이르며 낮은 열발생과 다양한 색상으로 인하여 지금까지 꾸준히 사용되고 있으나, 수은이 10~50 mg과 납 10.8~12.4%가 함유되어 있어 중금속 사용규제(RoHS, WEEE)의 움직임에 따라 그 사용이 규제될 계획이다. 따라서, 백열등과 형광등의 빈자리를 채울 수 있는 친환경 차세대 조명으로 LED(light emitting diode), OLED(organic light emitting diode)와 같은 반도체 광원을 이용한 고체조명(solid state light)의 개발이 활발히 이루어지고 있다.

OLED 광원은 지금까지의 광원에 비하여 점광원-선광원-면광원의 다양한 형태로 제작이 가능하여 디자인 자유도가 높다. 또한, 발열이 없으며, 다양한 색상을 구현할 수 있고, 조광(dimming)이 가능하여 에너지 절감효과가 있다. OLED는 약 1.0~2.0 mm의 두께를 갖는 얇은 면광원 형태로 제작이 가능하다. 따라서 타 광원을 이용하여 면광원화하는 과정에서 소요되는 부가적인 부품이 필요하지 않으며, 효율, 연색성감소와 같은 문제점이 없어 실내조명으로 응용 면에서는 매우 큰 장점이 있다. 또한, 미적인 아름다움을 가지면서 눈부심이 적어 보는 즐거움이 있는 조명이라는 점에서 매우 큰 부가가치를 창출할 수 있는 조명용 광원으로 발전할 가능성이 매우 높다. 국내의 조명 산업 예측 보고서에 따르면 2012년부터 OLED를 이용한 옥내의 조명 시장이 본격적으로 형성될 것으로 예측되고, 2020년에는 LED 조명과 함께 모든 조명 시장을 대체할 것으로 예상되고 있다. 일본 아노경제연구소의 보고서는 일본 OLED 조명 패널 시장 규모가 2012년에 100억 엔을 초과하고, 기하 급수적으로 시장이 증가하여 2015년에는 540억 엔에 달할 것으로 예측하고 있다. OLED 조명의 상용화를 위해서는 광원의 효율, 수명 및 대면적화, 저가격 특성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히 일반조명으로 사용되기 위해서는 3,000 K 이상의 색온도와 80 이상의 연색성을 가지면서 10,000시간 이상의 수명을 가지는 백색 OLED 광원이 요구된다. 이와 같은 특성을 가지는 고효율 장수명의 OLED 패널을 제조하기 위해서는 우수한 특성의 유기소재, 최적의 소자구조 및 광추출 기술의 개발이 필요하다.

오스람, 필립스, GE 등의 전통조명 산업을 주도하고 있는 선진기업들이 차세대 조명으로 OLED 조명의 기술 개발과 상용화를 위한 다각적인 노력을 하고 있으며, 또한 기존 OLED 산업에 참여해 온 산업체나 신규로 OLED 조명을 위

하여 설립한 업체 등 다양한 산업체들이 OLED 조명 산업에 참여하고 있다. 각 산업체들은 2010년에서 2011년 사이에 대량생산으로 시장에 진입할 계획을 발표하고 있으며, 2012년에는 본격적인 시장이 형성될 것으로 예측하고 있다. 대규모 기업뿐만 아니라 중소기업의 유명 조명기업도 OLED 조명에 많은 관심을 보이고 있다. 영국의 Thorn Lighting, 미국의 Acuity Brands Lighting, 프랑스의 BLACKBODY 등이 OLED 조명의 새로운 디자인을 발표하면서 OLED 조명 패널이 공급되기를 기다리고 있다. 사무실 및 공장 등의 업무공간을 제외하고는 조명기기는 다양한 디자인이 요구된다. 다양한 디자인을 소량 생산하는 조명기기 산업의 특성상 대규모 자본이 필요한 패널 및 모듈 공급은 대규모 기업에서 조명기기는 중소기업에서 공급하는 생산체제로 발전할 가능성이 높아 보인다.

오스람은 세계 최초로 OLED 스탠드 조명 제품을 출시한 이후로 OLED 조명 시장을 선도하고 있다. 세계적인 조명 디자이너인 잉고마우러와 더불어 감성적인 조명 시제품들을 선보이며 조명기기에 예술적 감성을 부가하여 심미적 프리미엄을 갖는 조명으로 마케팅하고 있다. 또한, OLED 기술만으로 구현 가능한 투명한 광원을 이용하여 타 조명과의 경쟁력을 확보하기 위한 노력도 기울이고 있다. 최근에 ORBEOS라는 제품명으로 OLED 면조명 패널 제품을 소량 생산하고 있으며 시장 판매를 시작하여 시장의 반응을 지켜보고 있는 상황이다. OSRAM의 ORBEOS는 팔각형(발광면 원형)과 사각형의 두 가지 패널을 판매하고 있으며 이 패널들을 이용한 다양한 제품의 OLED 조명기기 디자인을 선보이고 있다. 한편 OLED 소자 자체의 특성 향상에도 많은 연구개발 노력을 기울여 2011년 6월에는 작은 패널 크기의 광원에서 최고 87 lm/W, 5000 cd/m²의 휘도에서도 75 lm/W라는 놀라운 전



그림 11. OSRAM의 ORBEOS(좌)와 그를 이용한 조명기기(우).



그림 12. 필립스의 Lumiblade(좌)와 교감형 OLED 조명(우).

력효율 특성 기록을 발표하기도 하였다.

필립스 사는 「LUMIBLADE」라는 브랜드의 OLED 조명 kit 상품을 판매하며 본격적으로 시장을 준비하고 있다. 유리를 기반으로 다양한 컬러와 다양한 모양을 갖는 광원을 이용하여 시제품을 선보이고 있으며, 단순한 OLED 패널을 조명 기기에 응용하려는 노력과 더불어 IT 기술과 융합하여 교감형(interactive) 조명의 신기술을 개발하여 시연함으로써 미래형 조명으로 새로운 모델을 제시하기도 하였다. 필립스 사는 최근 Konica Minolta와 공동으로 UDC의 인광발광체를 이용하여 45lm/W의 전력효율을 나타내는 사용 패널 제품을 내놓기도 하였다. 필립스는 오스람에 비해 OLED 조명의 상용화에 약간 뒤져 있는 것으로 보이나 오스람에 뒤처지지 않도록 외부기관과의 제휴 움직임이 활발하다. 필립스는 자신이 부족한 패널의 소재 및 제조 기술을 일본 및 미국의 전문기업들과 협력하여 개발하고 있다.

GE 사는 2007년 Konica Minolta와 파트너십을 맺으며 3년 내에 제품을 출시하는 것을 목표로 roll-to-roll 제조공법을 적용한 플렉서블 OLED 조명 제작을 시연함으로써 저가형 OLED 조명의 가능성을 제시한 바 있다. GE 사는 2010년부터 데코레이션용 조명으로 시장에 진입하여 2015년 본격적인 주조명 시장에서 경쟁하고자 하는 로드맵을 발표한 바 있다. GE는 플렉서블 OLED 조명에 많은 관심을 가지고 연구개발을 진행하여 연구내용과 연구실 수준의 시제품은 발표하고 있으나 아직 상용 시제품은 내놓고 있지 않다.

오스람과 함께 OLED 조명 산업에서 일본 업체들의 활약이 뛰어나다. 파나소닉은 저가형 공정을 개발하여 시장 경쟁력을 확보할 전략으로 LCD 컬러필터 공정에서 검증된 바 있는 슬릿코팅방법(slit coating method)으로 제작한 광원을 발표하여 시장진입 가능성을 보였다. 파나소닉의 백색 OLED는 40 lm/W의 효율과 수명 20,000시간의 특성과 함께 연색성 95를 갖는 것으로 발표하여 최고의 연색성을 가진 광원으로 보고하였다. 파나소닉은 2010년에 특수조명 시장을 시작으로 하여 점진적으로 확대할 계획을 발표하고 있다. 루미오텍(Lumiotec)은 미쓰비시 중공업, 롬(Rohm), 토판프린팅, 三井物産, Junji Kido교수 등이 2008년 설립한 OLED 조명회사로 Keiji Akiba의 디자인으로 다양한 조명을 선보이고 있다. 루미오텍은 2009년에 5,000 nit의 휘도에서 10,000시간의 수명과 25 lm/W의 효율 특성을 갖는 OLED 조명 샘플을 발표하였다. 처음에는 15 cm × 15 cm 1개당 5만엔의 고가이나, 2012년에는 5천 엔, 2015년에는 1 m²당 10,000 엔 수준으로 인하할 계획을 수립하고 있다. 그 외에 Konica Minolta홀딩스는 2006년 64 lm/W의 고효율의 백색 OLED를 발표한 이래로, 2008년 GE 및 Philips와 전략적 제휴를 맺고 2012년중에 본격적인 생산을 계획하고 있다. 그 외의 일본회사로는 도호쿠 디바이스가 초기 제품을 출시했



그림 13. Lumiotec(좌)과 Panasonic(우)의 OLED 조명 패널.

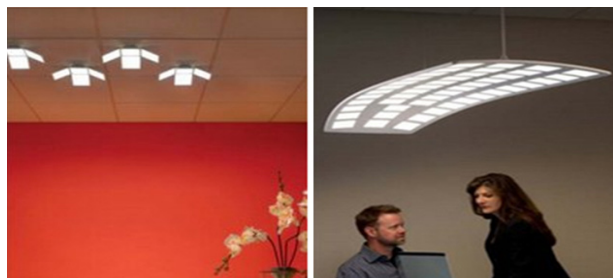


그림 14. LG화학의 OLED 패널을 이용한 Acuity Brands의 OLED 조명기기.

으며, NEC, KANEKA, 고이즈미 조명 등이 OLED 조명산업에 진출할 계획이다(그림 11-13).

국내에서는 OLED 디스플레이 패널 및 소재 산업에 참여하고 있는 삼성모바일디스플레이, 네오뷰코오롱, LG화학과 전통조명 산업체인 금호전기, 필룩스 등이 OLED 조명 사업에 본격적인 참여를 발표한 바 있다. 현재 가장 상용화에 앞서 있는 업체는 LG화학으로 2011년 5월에 미국의 Acuity Brands Lighting과 손잡고 OLED 조명 제품을 발표하였다. LG의 발표에 의하면 패널의 전력효율은 53 lm/W에 이르며 수명(L70)도 15,000시간을 보장하고 있어 형광등에 가까운 특성을 나타내고 있다. 필룩스는 2010년 홍콩 조명산업전에 ETRI에서 주관한 OLED 조명 공모전 대상 작품의 목업을 제

작 전시하여 많은 관람객에게 주목을 받기도 하였다(그림 10, 14).

8. 총론

현재 AMOLED 디스플레이 기술은 많은 기업과 연구기관에서 진행되고 있으나 국내의 삼성과 LG, 그리고 다수의 연구기관에서 주도적으로 진행중에 있다. 90년대에서 시작된 TFT-LCD에서 확보된 기술을 토대로 차세대 디스플레이로서 AMOLED 개발과 상업화를 진행하고 있다. 여기에는 AMOLED를 위한 TFT, OLED 전공정, encapsulation 공정 기술까지 모든 기술이 포함되어 있고 다만 소재의 원천기술 측면에서는 국내의 기업에서 고군분투하고는 있지만 아직 선진업체들에 비해서는 많은 노력이 필요한 상황이며 LCD를 대신하는 차세대 디스플레이로서 AMOLED는 확고한 위치를 확보해가고 있어 향후 시장의 규모는 예상보다 커질 것이 자명하다. 또한 OLED 기술을 이용하여 감성을 강조하는 OLED 조명 기술도 디스플레이 기술의 성숙과 함께 크게 주목받고 있으며 국내외 많은 연구기관 및 기업에서 기술개발에 박차를 가하고 있다. 따라서 소재와 소자의 개발과 개선은 분명 재료적 기반의 기술을 토대로 이루어져야 하는바 소재의 원천기술 확보에 많은 관심이 있기를 바라면서 본 기고문을 마감한다.

참고문헌

1. 이충훈, 2012년 OLED산업 결산과 2013년 산업전망, UBI Research, 2012.
2. AMOLED TV 경쟁력 분석, Display Bank, 2012.
3. AMOLED 시장자료, Display Bank, 2012.
4. 권장혁, 화학세계, 53(2), 48 (2013).