

## OLED 면조명 기술개발 현황

조성민 <성균관대학교 화학공학부 교수>

### 1 서론

조명은 인류를 밤의 어둠에서 해방시켜 인류의 문명이 한 단계 더 발전할 수 있는 길을 열어 현재와 같은 문명이 가능하도록 한 인류의 역사에 있어서 가장 획기적인 발명의 하나라고 할 수 있다. 조명은 1879년 10월 21일 미국 뉴저지의 멘로 파크 실험실에서 에디슨이 최초의 상업용 백열전구를 발명함으로써 시작되었다. 이 발명 이후 현재까지 백열등은 조명 시장을 대표해 오고 있다. 백열등의 상업화와 함께 전기산업은 시작되었고 GE, 필립스, 오스람(지멘스 자회사) 등 조명 시장의 패권을 쥔 회사들은 세계 최고·최대 전기·전자 업체로 성장할 수 있었다. 하지만 이제 백열등은 에너지 효율이 낮다는 문제로 인해 역사의 뒤안길로 사라질 운명에 처하고 있다.

이제 세계는 에너지원의 고갈과 환경오염이라는 두 가지 문제를 동시에 해결하지 않으면 안 되는 상황에 이르게 되어 조명 기술에 있어서도 더 높은 에너지 효율을 가지는 조명을 요구하고 있다. 백열등 이후로 형광등에 관련한 기술이 지속적으로 개발되어 현재는 60~70(lm/W)의 에너지 효율을 가지는 형광등이 활용되고 있으나 각각의 형광등은 약 5(mg) 정도의 수은을 가지고 있어서 환경오염 문제를 안고 있으며 또한, 회수에 많은 비용이 소모되기 때문에 더 높은 에너지 효율을 가지면서 친환경적인 조명원의 개발에

많은 노력을 기울이고 있다. 또한, 세계 조명기구의 연간 소비전력은 2조 1,000억(kWh)로 전체 전력 사용량의 12~15[%] 정도이며 이로 인한 CO<sub>2</sub> 배출은 연간 17억톤에 달하고 있기 때문에 조명의 에너지 효율 증가는 환경 문제에 큰 영향을 미칠 수 있다.

새로운 조명기술로서 반도체 LED(Light Emitting Diode)는 1907년 헨리 조셉 라운드(Henry Joseph Round)가 전기발광(electroluminescence)의 물리적 효과를 발견하면서 시작되었으나 초기에는 이와 같은 발견은 활용되지 못하였다. 이후 1962년 GaAsP 유형의 적색 LED가 최초로 개발되고 1971년 녹색, 오렌지색 및 황색과 같은 다른 색상의 LED가 개발되면서 모든 LED의 출력과 효율이 증대되기 시작하였다. 그 후로 1993년 이르러 청색 및 녹색 빛을 방출하는 고효율 InGaN LED가 개발되면서 조명을 위한 백색 LED의 기술적 기반이 마련되었고 마침내 1995년에 백색 LED가 최초로 개발되어 새로운 조명원으로 각광을 받기 시작하였다. 지속적으로 개발이 이루어지면서 현재는 최대 100(lm/W)까지 에너지 효율이 증가하고 있으며 이러한 추세는 앞으로도 지속될 것으로 예측되고 있어서 기존의 형광등 조명의 에너지 효율 보다 높으면서도 친환경적인 새로운 조명기술로서 자리를 잡아가고 있다.

반도체 LED를 이용한 조명기술이 점차 발달하면

서 에너지 효율이 낮은 백열등은 이제 사라질 운명에 처하고 있다. 에디슨의 발명 이후 100년 이상 지속된 조명의 헤게모니가 이제 종착역을 향해 다가서고 있는 시점인 것이다. 먼저 호주가 2010년까지 모든 백열전구를 퇴출시킬 계획이고, 유럽연합(EU)은 2010년부터 100(W)급 백열전구 판매 금지, 2012년부터 백열전구 판매가 전면 금지된다. 미국도 우선 2012년 100(W)급 백열전구 시판이 금지되고 2014년에는 모든 백열전구가 판매 금지될 예정이다. 우리나라도 다른 나라들과 마찬가지로 백열전구를 2013년까지 전면 퇴출시킬 계획이다.

반도체 LED 조명이 에너지 효율이 높고 친환경적이며 또한 수명이 길다는 장점으로 인해 백열전구를 대체하면서 조명 시장에 진입하고는 있으나 반도체 LED 조명의 가격이 비싸기 때문에 특수 조명이 아닌 일반 조명으로 활용되기 위해서는 초기 설치비용을 낮추지 않으면 안 되는 현실적으로 문제를 안고 있다. 따라서 현재의 LED 산업은 일반 조명 보다는 노트북 PC나 LCD TV를 위한 백라이트 유닛(BLU)의 용도로 성장이 기대되고 있는 상황이다.

한편, 1987년 미국 Eastman Kodak사의 C.W. Tang과 S. Van Slyke에 의해 유기물을 이용한 발광 다이오드가 처음으로 개발되어 발표되면서 이 유기발광다이오드(OLED, Organic Light Emitting Diode)에 관련한 연구에 있어서 급속도의 기술적인 진보가 이루어져 오고 있다. 발광성 유기물은 고분자 혹은 저분자의 유기물이 사용될 수 있고 유기물의 합성은 무기물 반도체와는 달리 합성의 자유도가 높기 때문에 원하는 색상을 자유롭게 구현할 수 있으며 무기반도체 LED와는 달리 또한 넓은 면적으로 제작이 가능하다는 점 때문에 최근에 들어서면서 OLED가 새로운 조명 기술로서 각광을 받기 시작하고 있다. OLED는 다이오드로서 반도체 LED와 유사한 구조를 가지며 전기발광을 통해 빛을 낼 수 있다. 이러한 이유로 반도체 LED의 장점을 모두 가지

면서도 유기물을 사용함으로써 얻을 수 있는 가볍고 유연성이 있다는 장점까지 가지는 OLED가 새로운 조명으로서 기대되고 있다. 본 고에서는 OLED 조명의 국내외 기술개발 현황 및 앞으로의 전망에 대해 논의해 보고자 한다.

## 2. 국내 및 국외 OLED 면조명 기술 현황

국내에서 OLED 기술은 주로 기업에서 디스플레이로의 활용을 위해 개발이 진행 중에 있다. 이미 OLED 기술은 소형 디스플레이로 상용화가 이루어져 있으며 점차 대형 디스플레이로의 적용을 위해 연구가 진행되고 있는 상황이다. 이러한 OLED 기술을 조명으로 활용하기 위한 연구는 아직 초기 단계이기 때문에 기업체 보다는 대학 및 연구소 중심으로 진행되고 있는 상태이다. 생산기술연구원을 중심으로 기업 및 대학이 컨소시움을 구성하여 조명용 면광원 개발 연구가 지식경제부 지원으로 2006년부터 시작되어 2013년까지 100(lm/W)의 효율 달성을 목표로 진행 중에 있다. 또한, 2007년부터는 성균관대학교를 주관기관으로 하고 대학, 연구소 및 기업이 참여하는 초저가 유기면광원 조명시스템 개발연구가 에너지관리공단 지원 하에 진행 중에 있다. 2009년도부터는 지식경제부 지원 하에 환경/감성형 OLED 면조명 기술개발에 관한 연구가 전자통신연구소를 주관기관으로 하고 삼성SMD, 대주전자재료, 필룩스 등의 기업이 참여하여 2014년까지 개발을 완료하는 것을 목표로 연구개발이 진행 중에 있다.

국외 선진국의 OLED 면조명 기술개발이 본격적으로 시작된 시점인 2001년에 비하면 국내의 경우는 5년 정도 뒤늦게 시작 되었고 연구지원의 규모도 상대적으로 매우 적기는 하지만 여러 대학, 연구소 및 기업이 참여하여 연구가 진행되고 있다는 점에서는 고무적이라고 판단되며 현재는 점차 대기업에서도 OLED 면조명 기술에 관심을 가지기 시작하는 단계

에 있다.

기술적인 측면에서는 국외 선진국의 경우에는 시제품이 출시되고 있는 단계에 있음을 감안할 때 아직 국내의 기술수준은 매우 낮은 상태라고 할 수 있다. 외국의 경우에는 실험실 수준이기는 하지만 100 [lm/W] 이상의 효율을 보고하고 있지만 국내의 기술수준은 50[lm/W] 이하로서 아직 국외의 최고 수준에 비하면 약 50(%) 이내라고 평가할 수 있다.

앞서 기술한 바와 같이 국외의 경우에는 미국에서 2001년부터 차세대조명 프로젝트를 시작하였으며 UDC, GE, Dow Corning 등의 기업이 참여하여 2012년까지 전력효율 150[lm/W] 수준의 OLED 조명기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 특히 최근 3년간은 차세대조명 프로젝트의 약 50(%) 정도의 연구비를 OLED 조명기술 개발에 지원하는 등 OLED 조명을 차세대 조명기술로서 크게 육성하고 있는 상황이다.

유럽의 경우에는 OLED 기술을 디스플레이로 응용하는 것에 목표를 두고 OLED 기술 연구가 시작되었으나, 2000년대 초반에 목표를 변경하여 OLED 기술의 디스플레이로의 활용보다는 차세대 조명을 위한 기술로 목표를 수정한 이후 2004년부터는 유럽연합에서 유럽의 각 기업, 대학 및 연구소에 OLED 조명 기술 연구에 많은 투자를 하고 있는 상황이며 이러

한 투자의 결과로서 OLED 조명 기술은 현재 유럽이 가장 앞선 기술을 보유하고 있다. 2004년부터 OLLA 프로젝트를 시작하여 고효율 유기 면광원 조명의 개발에 주력하기 시작하였으며 이 프로젝트가 2008년에 완료된 이후 다시 OLED100.eu 프로젝트를 새롭게 시작하여 2011년까지 고효율 유기 면광원 조명기술 연구에 박차를 가하고 있다. 또한 진공공정을 사용하여 제조하는 유기 면광원 조명이 생산비가 높기 때문에 OLED 조명의 가격을 낮추기 위한 연구로서 ComboLED, ROLLED 등의 프로젝트가 Osram, Siemens, VTT, Philips 등의 기업을 중심으로 진행되고 있다.

한편, 일본에서는 NEDO 주관으로 2004년부터 2011년까지 43억엔을 투자하여 조명용 OLED 기술 개발에 주력을 하고 있다. 2008년에는 개발된 기술을 가지고 미쓰비시 중공업이 중심이 되어 Lumiotec이라는 OLED 조명 기업을 설립하여 OLED 면조명의 상용화를 앞당기기 위해 적극적인 노력을 하고 있다.

현재 세계의 우수 기업들은 OLED 면조명의 상용화를 위해 소재, 장비, 공정기술 등의 분야에서 서로 협력과 경쟁을 통해 기술 개발을 진행하고 있다. OLED 면조명을 개발하고 있는 기업들과 각 기업이 서로 협력관계를 이루고 있는 상황을 다음 표 1에 정

표 1. 세계 우수 기업들의 OLED 면조명 개발 협력 현황

기업명	협력기업(협력분야)
Osram Opto.(독일)	BASF(소재)
GE global(미국)	ECD Inc., NIST, Konica-Minolta(공정기술), CDT(소재)
Novalled(독일)	Ciba specialty chemicals(소재), Vitex, Sunic systems(공정기술), Dresden University of Technology, Fraunhofer Institute(설계기술)
CDT(영국)	Sumitomo Chemical(모기업), Novalled, Add-Vision, Seiko-Epson(공정기술)
UDC(미국)	Konica-Minolta, Seiko-Epson(공정기술), Kyocera, LG Chem, Idemitsu Kosan, LG display, SFC(소재)
Lumiotec(일본)	Mitsubishi heavy industries, ROHM, Toppan Printing, Mitsui
Dupont(미국)	Dainippon Printing(공정)

리하였다.

표 1에 나타난 바와 같이 LG화학, LG디스플레이, 선익시스템 등의 국내 회사도 국외의 OLED 조명기술 개발에 참여하여 개발을 진행하고 있다. 현재 세계의 3대 조명기업인 Osram, Philips, GE가 모두 차세대 조명으로서 OLED 면조명 기술개발 연구를 진행 중이며 각 기업들은 최근 OLED 조명 시제품을 발표한 바 있다.

Osram의 경우에 아래 그림 1에 보인 바와 같은 시제품을 선보인 바 있다. OLED 조명은 여러 개의

모듈로 이루어져 있으며 각 모듈은 백색 OLED 조명으로서 용도에 맞도록 자유롭게 구성이 가능하게 설계되어 있다.

Philips의 경우에도 유사한 형태의 모듈식 OLED 조명 및 투명한 OLED 조명 시제품을 발표하고 있다.

한편, GE의 경우에는 OLED 면조명을 개발하는데 있어서 대면적 및 저가의 생산 공정을 활용하는 방식의 기술개발이 주로 진행되고 있다. 액상 인쇄공정을 사용하여 roll-to-roll 생산공정을 통해 저가의 OLED 면조명을 개발하기 위한 연구가 진행 중이다.

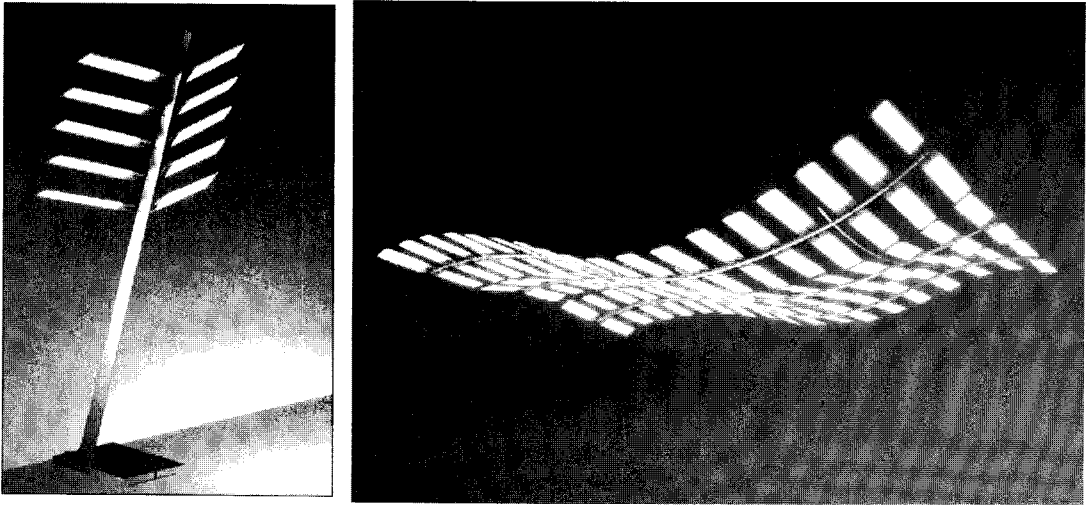


그림 1. Osram의 OLED 면조명 시제품

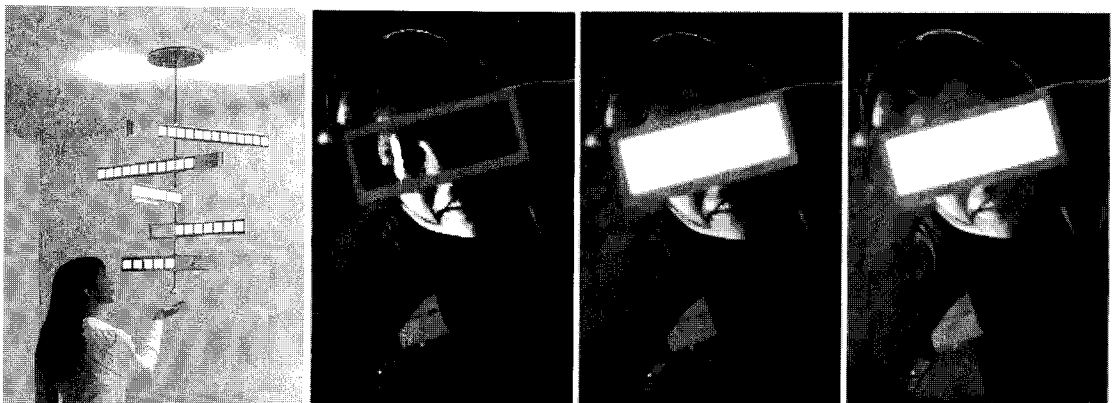


그림 2. Philips의 OLED 면조명 시제품

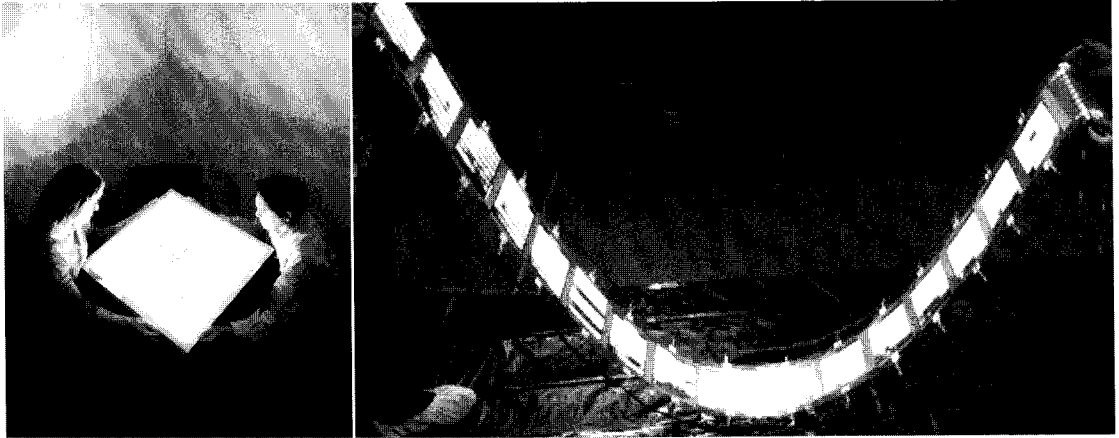


그림 3. GE의 OLED 면조명 시제품

아래의 그림 3은 GE에서 발표된 시제품을 나타내었다.

그 이외에 일본의 Lumiotec은 OLED 면조명 전문기업으로서 표 1에 나타낸 바와 같이, OLED 기술 분야에서 광 효율을 획기적으로 높인 연구자로서 유명한 야마가타 대학의 Junji Kido 교수의 OLED 관련 기술을 바탕으로 Mitsubishi 중공업, ROHM, Toppan Printing, Mitsui 등의 기업이 출자하여 2008년에 설립되어 현재는 시제품 개발을 완료한 단계이며 그림 4에 Lumiotec의 시제품을 보였다.

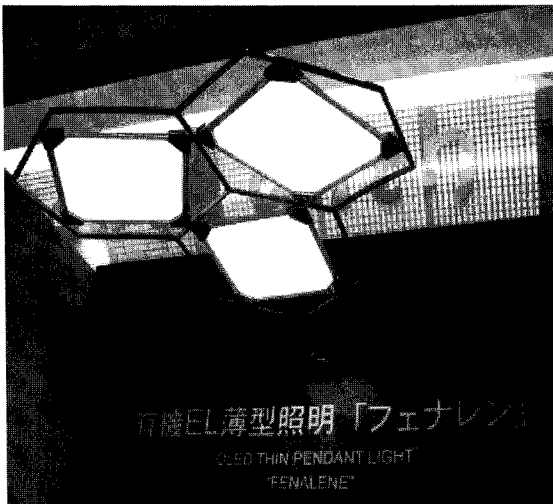


그림 4. 일본 Lumiotec의 OLED 면조명 시제품

한편, 다른 OLED 전문기업으로서 Novaled, CDT 등의 기업도 시제품을 발표하고 있으나 주로는 개발 기술의 licensing을 위하여 기술개발을 진행하고 있는 상황이다.

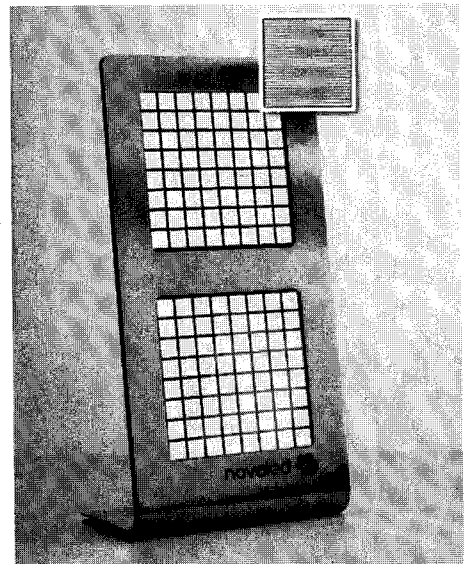


그림 5. Novaled의 OLED 면광원 시제품

이상과 같이 세계의 여러 기업에서 차세대 조명 기술로서 OLED 면광원이 2000년 이후로 급속하게 연구 개발이 진행 중에 있으며 기술의 발전 속도도 매우

표 2. 조명용 OLED의 최신 기술

Company/Institution	Year	Efficacy at 1,000(cd/m <sup>2</sup> )	Lifetime at 1,000(cd/m <sup>2</sup> )	Emitter type R, G, B
Novaled/Philips	2006	32(lm/W)	20,000(h)	P, P, F
Konica-Minolta	2006	64(lm/W)	10,000(h)	P, P, P
OLLA-project	2007	25(lm/W)	5,000 h	P, P, F
Idemitsu Kosan	2007	17(lm/W) at 10(mA/cm <sup>2</sup> )	30,000 h	F, F, F
Osram	2008	46(lm/W)	5,000(h)	P, P, F
Novaled	2008	35(lm/W)	100,000(h)	P, P, F
OLLA-project Philips/Novaled	2008	51(lm/W) (80(lm/W))*	> 10,000(h)	P, P, F
UDC	2008	(102(lm/W))*	8,000(h)	P, P, P

빠르게 발전하고 있는 상황이다. 아래 표 2에는 OLED 면광원 조명에 관련한 최신기술을 표로 정리하였다.

### 3. 향후 전망

OLED 조명은 차세대 조명으로서 향후 큰 발전이 기대되는 분야임이 확실하다. 국내에서도 최근 삼성 SMD에서 OLED 조명 시제품을 발표하고 조명시장에 진출하는 것을 공식적으로 발표하면서 국외의 기존 조명업체 들도 한국의 OLED 조명기술에 지대한 관심을 가지고 있다. 아래의 그림 6에 나타낸 바와 같이 OLED 조명은 2010년부터 소량 및 대량 생산 체제를 갖추어 시장이 열릴 것으로 예상하고 있으나 아직까지는 반도체 LED 조명과 마찬가지로 기존의 형광등 조명에 비해 고가이기 때문에 일반 조명으로서 시장의 확대는 쉽지 않은 상황이다.

기술적인 측면에서 국내의 OLED 조명 산업은 충분한 잠재력을 가지고 있는 것으로 판단된다. OLED 기술을 활용한 디스플레이에 있어서 국내 기술은 세계 최고 수준이며 따라서 이러한 기술을 응용하면 OLED 조명에 있어서도 세계 최고의 수준이 되는 것

은 그리 먼 장래의 이야기는 아니라고 판단된다. 그렇지만, OLED 조명과 OLED 디스플레이는 몇 가지 차이점이 있기 때문에 OLED 조명을 위한 중요한 요소를 만족시키기 위한 노력이 필요할 것으로 생각된다. 우선적인 중요 해결과제는 조명의 가격을 낮추는 노력이라 할 수 있다. 반도체 LED 조명이 높은 효율, 장 수명, 고품질에도 불구하고 조명 시장에서 성공을 거두고 있지 못한 원인은 높은 가격이기 때문에 OLED 조명의 경우에도 가격을 낮추기 위한 노력은 반드시 필요하다고 할 수 있다. 이미 유럽 EU의 경우에도 CombOLED, ROLLED 등의 과제를 통하여 저가격 OLED 조명을 실현하기 위한 연구를 시작하고 있으며 미국은 GE를 중심으로 이와 같은 연구개발이 진행되고 있는 상태이다. OLED 조명의 가격을 낮추기 위해서는 기존의 진공증착 공정 보다는 액상 공정을 통한 roll-to-roll 공정을 활용하는 것이 필요하다.

OLED 디스플레이의 경우에는 TFT(thin fi(lm) transistor)를 사용하기 때문에 기술적, 재정적 장벽이 매우 높지만 OLED 조명의 경우에는 이러한 기술적, 재정적 장벽 보다는 소재 및 공정기술에 관련한 장벽이 더욱 클 것으로 예상된다. 이미 OLED 소재

의 경우에는 국내의 기술력은 낮기 때문에 국외에 이미 의존하는 상태이기 때문에 국내의 경우에 OLED 조명의 활성화를 위해서는 저가 공정기술을 개발하는 것이 매우 중요할 것으로 예상된다. OLED 조명을 위해 저가 공정기술이 개발되는 경우에는 OLED 조명기술은 세계적인 대기업만이 주도할 수 있는 시장은 아니며 기존 조명 산업과 마찬가지로 규모가 다른 많은 기업들이 서로 경쟁할 수 있는 시장이 될 것으로 예상된다.

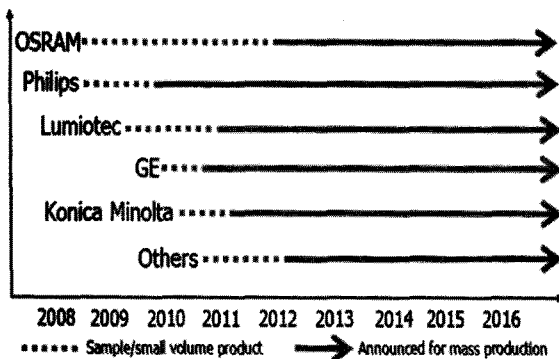


그림 6. 각 조명 기업의 OLED 조명 양산 계획

OLED 조명기술이 일반 조명으로 활용되기 이전에는 특수 조명의 형태로 시장이 열릴 것으로 예상되고 있다. OLED 조명은 특성상 유연성이 있는 기판에 제작이 가능하며, 경박단소화가 가능하고 또한 색상의 표현이 자유롭기 때문에 특수 조명으로서 다양한 활용이 기대되고 있다. 기술개발에 따라 에너지 효율이 현재의 형광등의 효율에 근접하게 되고 저 가격 공정기술이 개발되는 경우에 일반조명으로서 OLED 조명은 조명시장에 큰 변화를 가져올 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

OLED 조명은 반도체 LED 조명과 함께 차세대 조명기술로서 큰 각광을 받고 있다. 이 두 가지 기술

은 서로 경쟁적으로 기술개발이 진행 중에 있으며 향후 현재의 조명시장에 상호 보완적으로 형광등 조명 시장을 잠식할 것으로 예상된다. 특히 OLED 조명은 기존의 조명이 점광원 조명이었던 것에 비추어 면광원 조명이며, 지금까지는 구현되지 못 했던 유연성이 있으며 벽지 형태의 조명으로도 제작이 가능하다는 특수성으로 인해 향후 큰 발전이 기대되고 있다.

전 세계적으로 우수 조명기업들은 OLED 조명의 상용화를 위해 매우 빠르게 기술개발이 진행 중이며 국내의 대기업도 이러한 노력에 동참하고 있기 때문에 멀지 않은 장래에 OLED 조명이 각 가정에서 활용되는 날이 올 것으로 예상된다. 현재 국내의 차세대 조명기술이 국외의 선진기술에 비해 낙후되지 않기 위해서는 기업 자체뿐만이 아니라 정부 차원에서도 적극적인 투자가 필요한 상황이라는 인식이 매우 중요한 시점이다.

#### ◇ 저 자 소개 ◇



조성민(趙成珉)

1961년 10월 28일생. 성균관대학교 화학공학부 교수. 1985년 서울대학교 화학공학과 졸업. 1987년 서울대학교 화학공학과 대학원 졸업(석사). 1992년 University of Florida 화학공학과 대학원 졸업(박사). 1994년부터 성균관대학교 화학공학부 근무. 본 학회 LED·신광원연구회 부위원장. 에너지관리공단 지원 “초저가 면광원 조명시스템 개발연구” 중대형과제 총괄책임자.