

## 기술 특 집

# AMOLED 개발 동향

박준영, 권장혁(삼성SDI 주식회사 AM사업화팀)

## I. 서 론

전 세계적으로 디스플레이 시장은 디지털 평판 디스플레이(Flat Panel Display) 중심으로 재편되고 있다. 특히 평판 디스플레이 분야에서 AMLCD는 소비 전력, 두께, 해상도 등에서의 장점을 내세워 시장 영역을 지속적으로 확대해 가고 있다. AMLCD는 중대형 디스플레이(모니터, 노트북 PC, 중소형 TV) 영역 뿐만 아니라 소형 디스플레이(PDA, 휴대폰 등) 및 대형 TV 영역까지 전 방위에 걸쳐 막강한 기술력과 자금을 바탕으로 하여 공격적인 시장 점유 전략으

로 타 디스플레이를 압도해가고 있다. 그러나 이러한 AMLCD는 시야각에서 제한이 있고 액정의 느린 응답 속도 때문에 자연스러운 동영상 구동이 어려우며 또한 백라이트 사용에 따라 박막화와 소비전력 절감에 있어 한계를 가지고 있다. 이에 비하여 OLED는 빠른 응답 속도와 자발광이라는 특징으로 백라이트가 필요 없으며 밝고 선명한 화질과 자연스러운 동영상 구현이 가능하며 LCD의 한계를 뛰어 넘을 수 있는 궁극의 디스플레이로 평가 받고 있다. 이에 따라 이미 국내외 많은 디스플레이 업체들이 향후 디지털 FPD 시장에서의 주도권을 확보하기 위하여 OLED에 대한 관심과 투자를

[표 1] 개략적인 OLED 개발 연대기

Year	Developer	저분자 OLED	Developer	PLED
1982	Kodak	First Patent		
1987	Kodak	First Practical Display Structure		
1990			Cambridge University	First Patent
1997	Pioneer	First Monochrome Product		
1998	Pioneer	Color PM QVGA Prototype 제시		
1999	Kodak/Sanyo	Color AMOLED	CDT/Seiko Epson	Mono AMPLED 보고
2000	Pioneer/Motorola	Multi-color OLED display 휴대폰 탑재	CDT/Seiko Epson	Color AMPLED 보고
2001	Sony SDI	13-inch AMOLED 개발 15.1-inch AMOLED 개발	Toshiba	17" 풀칼라 잉크젯 AMPLED
2002	SOLED	외부창용 OLED 256 color	Philips	Philips 면도기 첫 PLED 제품
2003	Kodak/Sanyo	Digital Camera용 디스플레이 시판	Seiko-Epson	40" Tiled AMPLED 잉크젯
2004	SDI Sony	17" UXGA AMOLED 13" 전면발광 AMOLED		

확대하기 시작하였다.

OLED의 첫 상업화는 1990년대 후반 일본 Pioneer사에 의해 PMOLED(Passive Matrix Organic Light Emitting Diode Display) 방식으로 시작되었다. 이후 한국에서는 삼성SDI가 최초로 PMOLED 상업화를 이루었고 세계 최초 Full Color PMOLED의 시판을 통하여 현재 시장 점유율에서 1위를 달리고 있다. 이미 PMOLED는 카오디오, MP3 player, 휴대폰 등에 많이 채용되면서 일반인들이 어렵지 않게 볼 수 있는 디스플레이로 성장하고 있다. 그러나 PMOLED는 구조 및 공정이 단순하여 가격 및 투자 비용이 저렴하다는 장점이 있지만 고해상도 및 대면적화가 어렵고 소비 전력이 높은 편이라 스캔 라인 수 200개 이하의 1~2" 크기의 초소형 디스플레이에 국한되어 제품화되고 있다. 2~5" 사이의 크기만 되어도 Active Matrix 방식이 되어야만 OLED 특유의 선명한 화질과 낮은 소비 전력을 제대로 살릴 수 있다. 시장전문 조사 기관인 Display Search사의 2003년도 하반기 Report에 따르면, 2005년도 상반기 평판 디스플레이의 시장에서 10" 이상의 중대형 평판 디스플레이가 전체 평판 디스플레이 시장의 68% 이상을 차지하는 것으로 보고하였으며, 따라서 OLED가 최근 시장을 형성하기 시작한 소형 Mobile용 디스플레이 영역을 뛰어 넘어 향후 고부가 가치의 중대형 평판 디스플레이 시장에 진입하기 위해서는 AMOLED를 중심으로 한 대형화, 고정세화는 필수적으로 이루어져야 한다. 이에 따라 각 업체는 이미 90년대 말부터 AMOLED의 개발에 착수하여 초기에는 소형 중심의 디스플레이를 개발하였으나 최근 몇 년 사이에는 소형 뿐만 아니라 12" 이상의 중대형 AMOLED도 학회 또는 전시장에서 선보이고 있다([표 1] 참조). AMOLED는 구조와 공정이 복잡하고 투자비용이 높아 저가격화 실현이 쉽지 않은 편이다. 그러나 최근 이를 해결하기 위한 설비와 공정 기술이 본격적으로 개발되면서 기판의 대형화와 수율 향상을 위한 업계의 노력이 지속적으로 진행되고 있다. 이와 같은 업계 동향에 따라 iSupply사에서 2003년도 하반기에 제시한 시장 분석에 따르면 OLED 시장이 2006년에 32억불로 규모로 성장하고 2009년에는 103억불 규모로 성장할 것으로 전망된다. 이와 같이 AMOLED는 빠른 속도로 발전해 왔으며 앞으로도 발전 가능성이 가장 높은 디스플레이 기술로서 향후 2~3년 이내에 우리 주변에서 일상적인 디스플레이 중 하나가 될 것이다. 본 논문에서는 현재 상용화가 급속히 진전되고 있는 AMOLED의 기술 동향 등에 대하여 전반적으로 소개하고자 한다.

## II. AMOLED 구동 방식의 기술 동향

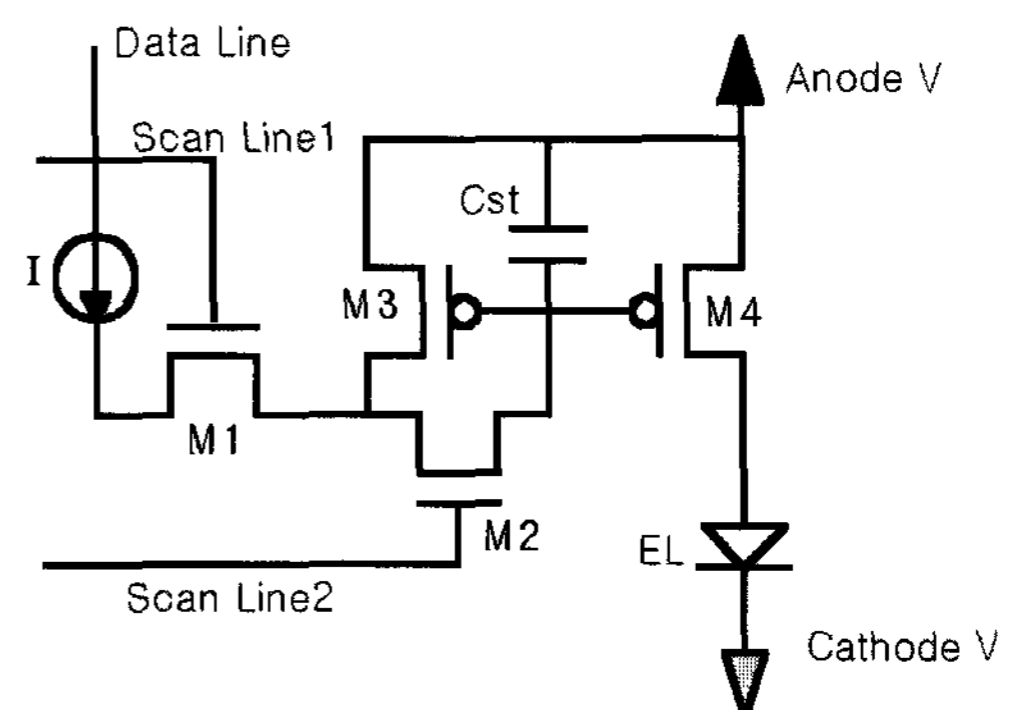
먼저 TFT를 형성하는 실리콘의 결정 구조에 따라서 비정질 실리콘(amorphous Si : a-Si) 트랜지스터와 저온 다결정 실리콘(LTPS : p-Si) 트랜지스터로 나눌 수 있다. 비정질 실리콘의 경우에는 균일한 TFT를 형성할 수 있고 이미 AMLCD 업계에서는 성숙된 기술로 기존의 설비와 공정

을 그대로 적용할 수 있는 장점이 있다. 현재 비정질 실리콘 적용 AMOLED의 대표적인 회사는 RiT Display, ID Tech, 그리고 최근에 기술을 선보인 Casio, 삼성전자 등이 있다. 그러나 a-Si은 전하 이동도가 낮고 문턱 전압이 불안정하여 Output 전류가 낮은 편이고 그 전류량 조차도 온도에 대해 안정적이지 못하여 구동 시간에 따라 점점 줄어드는 현상이 발생한다. 그 결과 OLED의 수명을 단축시키는 효과로 나타나게 되어 디스플레이로의 본격 적용은 아직까지는 어려운 실정이다. 이에 반하여 저온 다결정 실리콘 트랜지스터는 전하 이동도가 높고 통과 전류량이 비정질 실리콘에 비하여 안정적이어서 전류 주입에 따라 휘도가 결정되는 OLED에 훨씬 적합하다. 또한 트랜지스터의 소형화 및 구동 회로 내장이 가능하여 고정세 디스플레이 구현 측면에서 훨씬 유리하다<sup>[1]</sup>. 따라서 현재 AMOLED 분야의 선두 회사(Sanyo, Sony, 삼성SDI)들은 저온 다결정 실리콘 방식을 이용하고 있다. 그러나 Si 다결정화를 위한 설비와 공정이 현재까지는 기판 크기에 제한이 있고 결정화 방법에 따라 결정 균일도에서 산포가 나타난다. 따라서 앞으로 저온 다결정화 설비의 대형화와 결정 균일도 확보는 AMOLED의 본격적인 시장 형성을 위한 가장 중요한 이슈가 될 것이다. 최근에는 전하 이동도를 높인 a-Si의 개발과 보상형 구조를 접목한 회로 구조가 선보임에 따라 a-Si 방식이 새로이 주목을 끌고 있다<sup>[2]</sup>.

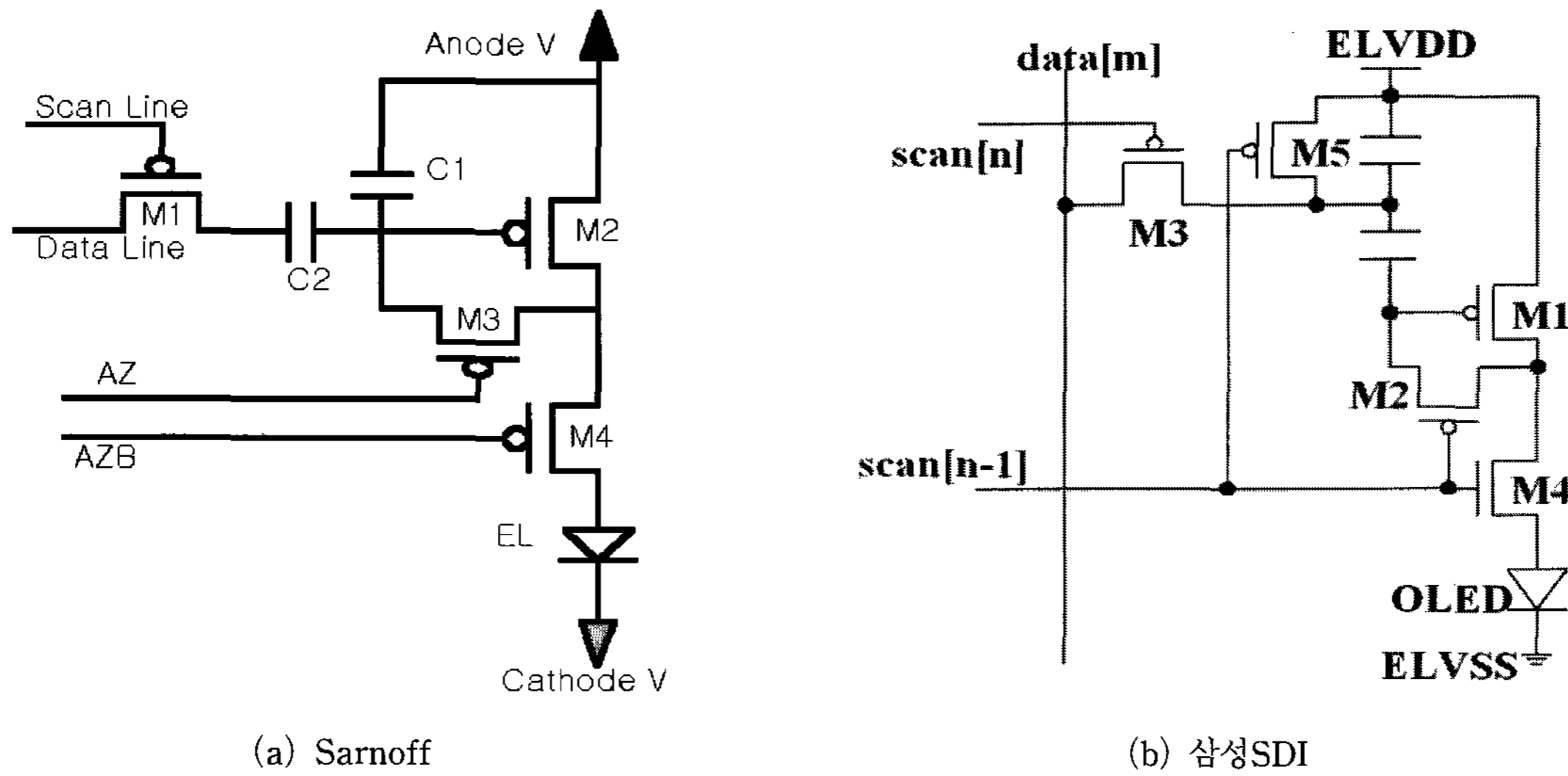
저온 다결정 실리콘을 이용한 AMOLED의 구동 방식은 결정 균일도에 따른 산포를 개선하고자 아날로그 방식인 전류 보상형과 전압 보상형, 그리고 디지털 방식인 시분할형과 면분할형 등이 알려져 있다. 아날로그 방식은 다시 회로 설계 방식에 따라 다시 구동 트랜지스터 직접 보상 방식과 Pair-TFT 보상 방식이 있다.

전류 보상형은 Si의 전하 이동도와 트랜지스터의 문턱 전압의 분균일한 산포, 그리고 배선 저항에 의한 구동 전압의 IR drop 현상에 대해서도 보상 능력이 높아 화질이 뛰어난 장점이 있다. 그러나 픽셀 내 Capacitor 충전이 느리고 Nano-level의 낮은 전류를 제어하기가 어려우며 전력 소비가 증가하는 단점 때문에 대형 디스플레이에서는 적용이 쉽지 않을 것으로 예상된다. [그림 1]은 전류 보상형 회로의 대표적인 것으로 Sony사가 채용하는 기본 구조이다.

전압 보상형은 많은 업체에서 연구되고 있으며 충전이 빠



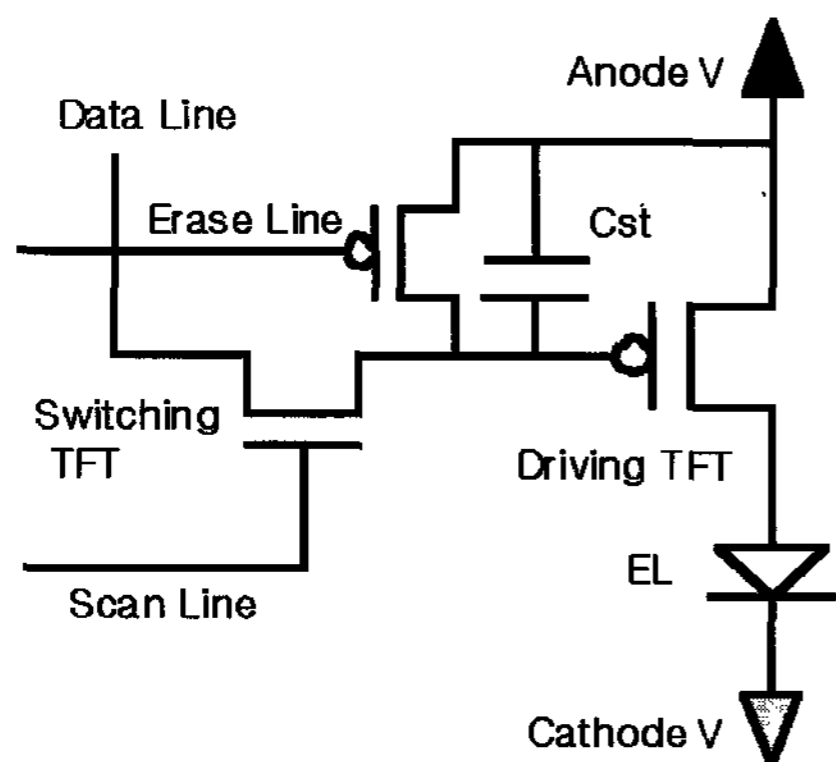
[그림 1] Sony사의 전류 보상형 트랜지스터 설계



[그림 2] 전압 보상형 트랜지스터 Pixel 설계

[표 2] 각종 트랜지스터 보상 방식에 따른 기술 분류

입력 data	보상 방법		회사/연구소	장 점	단 점
Analog	Driving TFT 직접 보상	전압	Sarnoff	Vth 특성 변화 보상	Vth 이외 특성변화 보상 안됨
		전류	Sarnoff, Philips, NEC, Epson	화질 우수 특성 변화 보상	프로그램 Time 문제 대형화
	Pair TFT로 보상	전압	Epson, 서울대, 한양대	Vth 특성 변화 보상	특성 mismatch Vth 이외 특성변화 보상 안됨
		전류	NEC, Sony	Large size가능	특성 mismatch
Digital	Area		Epson	간단히 구현 가능	Resolution, Size, Power Consumption
	Time		Epson, SEL		



[그림 3] SEL의 Digital 방식 시분할형 트랜지스터 설계

르고 구동 IC 구조가 AMLCD의 구동 IC 호환될 수 있는 장점이 있어 많은 업체에서 개발을 하고 있다. 그러나 이 방식은 전류 보상형과는 달리 트랜지스터의 문턱 전압 산포에 대해서만 보상 능력을 보이고 전하 이동도의 산포에 대해서는 거의 보상을 할 수 없으며 구동 전압의 IR drop에 의한 휘도 변화가 나타날 수 있는 단점도 있다. [그림 2]는 전압 보상 방식 트랜지스터 설계로 Sarnoff사와 삼성SDI의 것

이다.

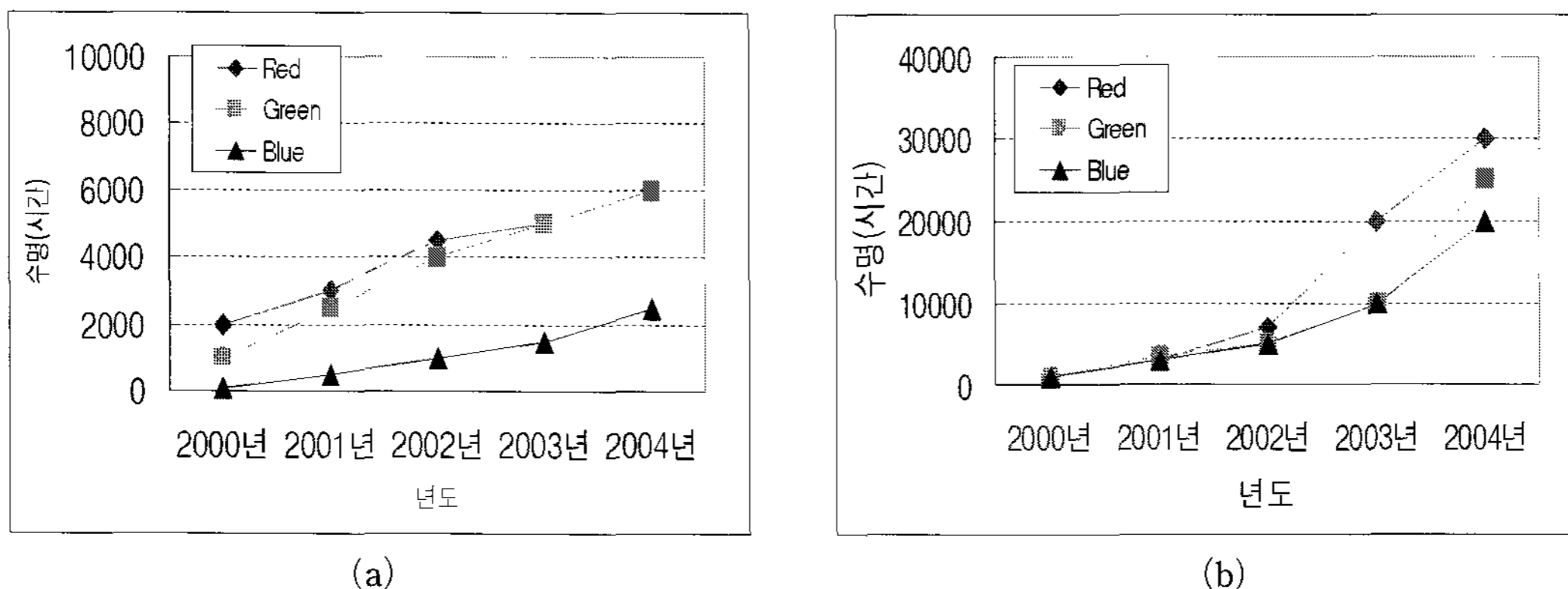
디지털 방식의 대표적인 것으로 일본 Seiko-Epson사와 반도체 에너지 연구소(SEL)에서 선보인 면분할형 및 시분할형이 그리고 최근 Hitachi사에서 발표한 Inverter Pixel 방식이 있다. 대표적인 시분할형 회로도에는 [그림 3]에 나타내었다.

이와 같은 각종 보상 설계 방식의 장단점을 [표 2]에서 정리하였다.

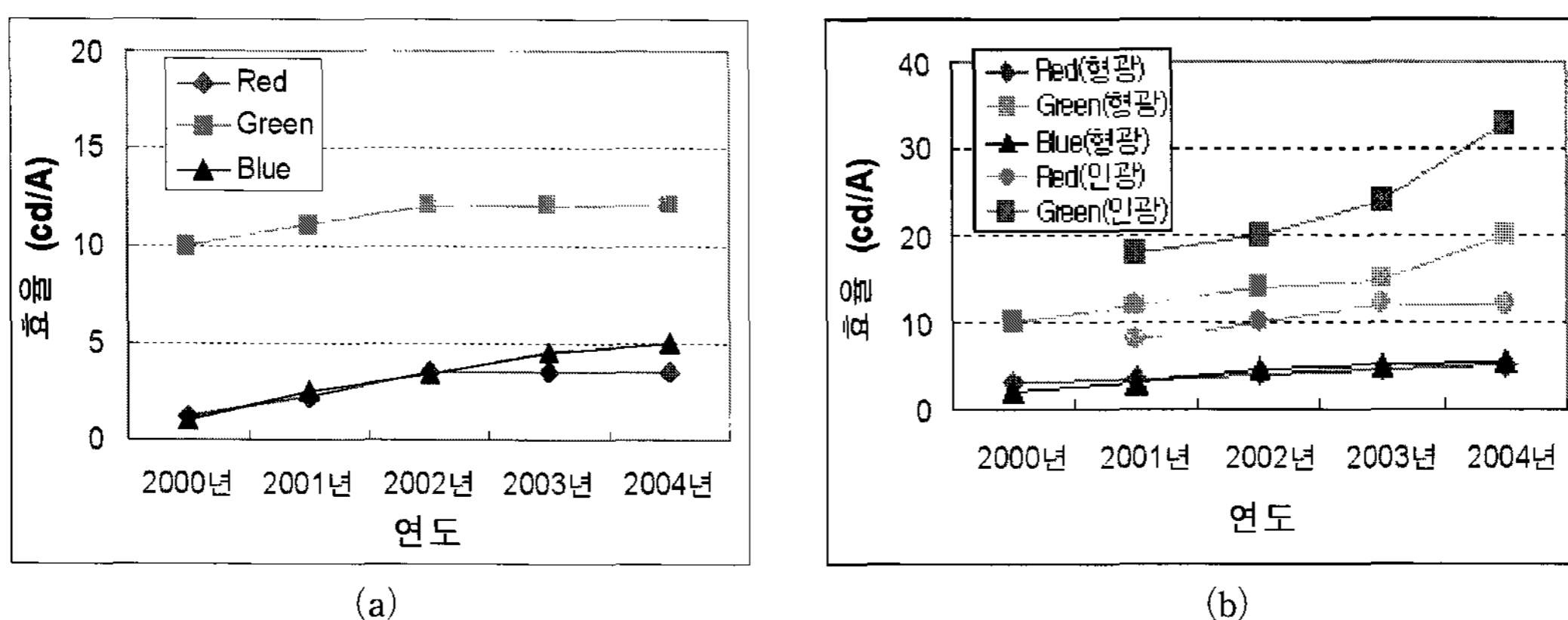
### III. 발광 재료 개발 현황

지금까지 OLED를 구동하기 위한 TFT 회로적인 측면 즉 기판 상에서의 기술적인 현황을 살펴 보았다. 이제부터는 OLED 자체의 소재 및 구조에 따른 기술적인 개발 현황을 살펴 보기로 한다.

먼저 발광 소재에 따라서 현재 가장 널리 채택되어 사용되는 저분자 OLED와 고분자 OLED로 나눌 수 있다. 고분자 OLED는 Polymer LED 즉 PLED로 표시하여 저분자



[그림 4] (a) PLED 수명 현황(100nits 기준), (b) OLED 수명 현황(적(인광) : 800nits, 녹(인광) : 1000nits, 청(형광) : 600nits)



[그림 5] (a) PLED RGB 효율 현황(100nits 기준), (b) 저분자 OLED 효율 현황(적 : 800nits, 녹 : 1000nits, 청 : 600nits)

형 OLED와 구분한다. 저분자 OLED는 보통 4층 혹은 5층 유기막 구조를 사용하며, PLED는 주로 2층 유기막 구조를 사용한다. 먼저 PLED는 반도체의 전기 광학적 특성과 일반 고분자의 높은 가공성을 동시에 가지는 공액 고분자를 이용하는 것이다. 그러나 고분자라는 특성 때문에 불순물을 함유할 가능성이 커지고 또한 용액 상태에서 소자를 제조하기 때문에 저분자 OLED와 같은 다층 구조 제작이 용이하지 않다. 이로 인해 저분자 OLED에 비해 효율이 낮고 수명이 짧은 것이 아직까지 단점으로 인식되고 있다. 그러나 최근에는 고분자 재료 역시 꾸준한 개선을 보여 수명 및 효율이 향상되어 가고 있고 향후 대형화 공정에 적합한 재료라는 인식으로 계속된 관심을 받고 있다. 업체로는 Philips, Dupont 그리고 Seiko-Epson 등이 이후 설명하게 될 잉크젯 프린팅 방식을 적용한 AMOLED 개발의 대표적 회사들이다.

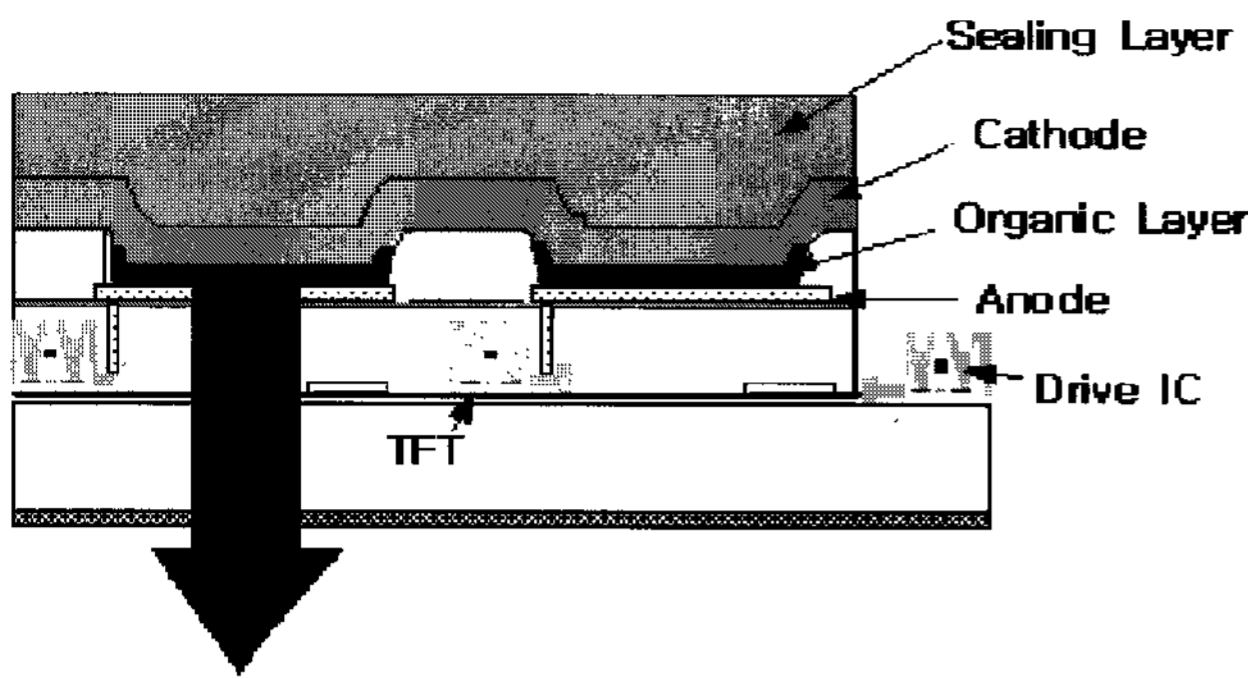
저분자 OLED도 발광체(발광층의 Host 물질에 도핑되는 발광 Dopant)에 따라 인광형 저분자와 형광형 저분자로 다시 나뉘어진다. 형광형 저분자는 현재 양산 중인 OLED 업체가 대부분 적용하고 있는 재료로 양산성과 제품 신뢰성이 어느 정도 검증되었다고 볼 수 있다. 형광형 저분자 OLED는 대부분 정공주입층-정공전달층-발광층-전자전달층과 같이 4층 유기막 구조를 가지게 된다. 이와 같은 여러 개의 기능층은 순차적으로 추가된 것으로 음극과 양극에 사용되는 금속에서 발광층으로 직접 전자 혹은 정공이 주입되는 것보다 각각의 기능층을 거칠 경우 에너지 장벽도 더 낮아지고

전자-정공이 발광층 내에서 재결합하는 확률도 더 높아져서 수명과 효율을 향상시키는 효과로 이어진다.

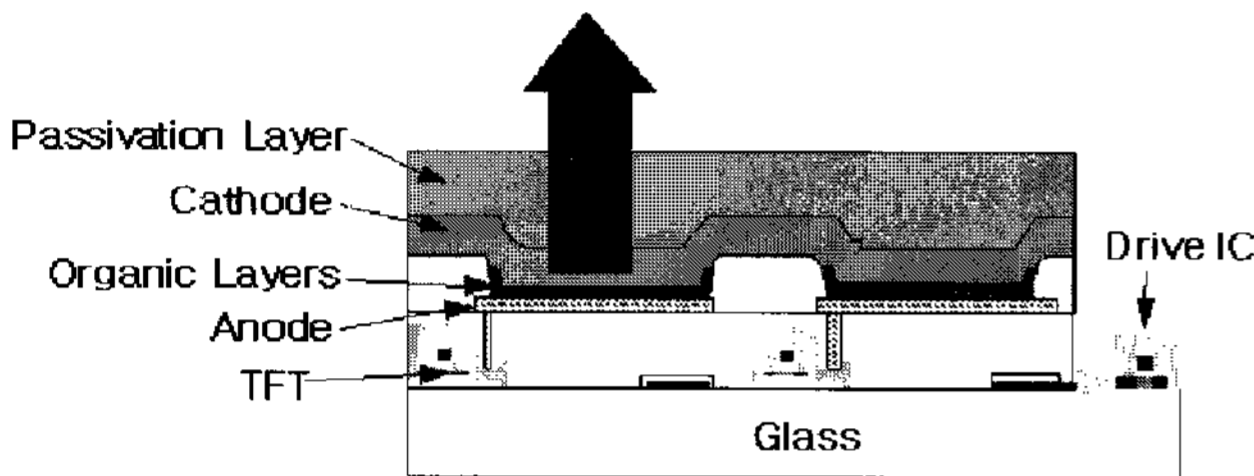
이론적으로 양자 발광 효율이 형광형에 비해 4배까지 나올 수 있는 인광형 저분자 OLED는 주로 5층 유기막(정공주입층-정공전달층-발광층-정공저지층-전자수송층) 구조로 이루어진다. Princeton 대학의 S. R. Forrest 교수 팀에서 상온 인광 상태에서 효과적으로 빛이 방출되는 현상을 발표한 이후 인광 저분자 OLED에서는 외부 양자 효율 극대치인 25% 근처까지 보고된 바가 있다. 현재 상업화를 시작한 대부분의 OLED 업체들은 재료비 혹은 특허 라이선스 등과 같은 여러 가지 이유로 우선 형광형 저분자를 이용하여 OLED 제작을 하고 있지만, 고효율과 장수명을 나타내고 있는 인광형 저분자의 공정 안정성과 특성도 동시에 연구하면서 향후 채용 여부를 지속적으로 검토하고 있다. 인광형 AMOLED의 가장 선도업체는 삼성SDI, ID Tech 등이 있다. 지금까지 설명한 고분자, 형광 및 인광형 저분자 재료의 특성(수명, 효율) 발전 현황을 위 그래프에서 종합하였다.

#### IV. 발광 구조 개발 현황

다음으로는 OLED의 발광 구조에 따라 배면 발광형과 전면 발광형으로 나눌 수 있다([그림 6]). 현재 시판 중인 PMOLED는 모두 배면 발광 방식이며, AMOLED 역시 많



(a) 배면 발광 구조 AMOLED(하부 회로 구조에 의해 실제 관측 방향 발광 면적이 감소함)



(b) 전면 발광 구조 AMOLED(하부 회로 구조에 따른 발광 면적 감소 효과가 없음)

[그림 6] AMOLED 기본 구조

[표 3] 발광 구조에 따른 색상별 요구 휘도

	색상별 요구 휘도(편광판 포함), White 120nits 기준		
	Red (0.65, 0.34)	Green (0.27, 0.63)	Blue (0.15, 0.15)
배면 발광 AMOLED (개구율 35%)	650nits	1050nits	550nits
전면 발광 AMOLED (개구율 60%)	400nits	600nits	350nits

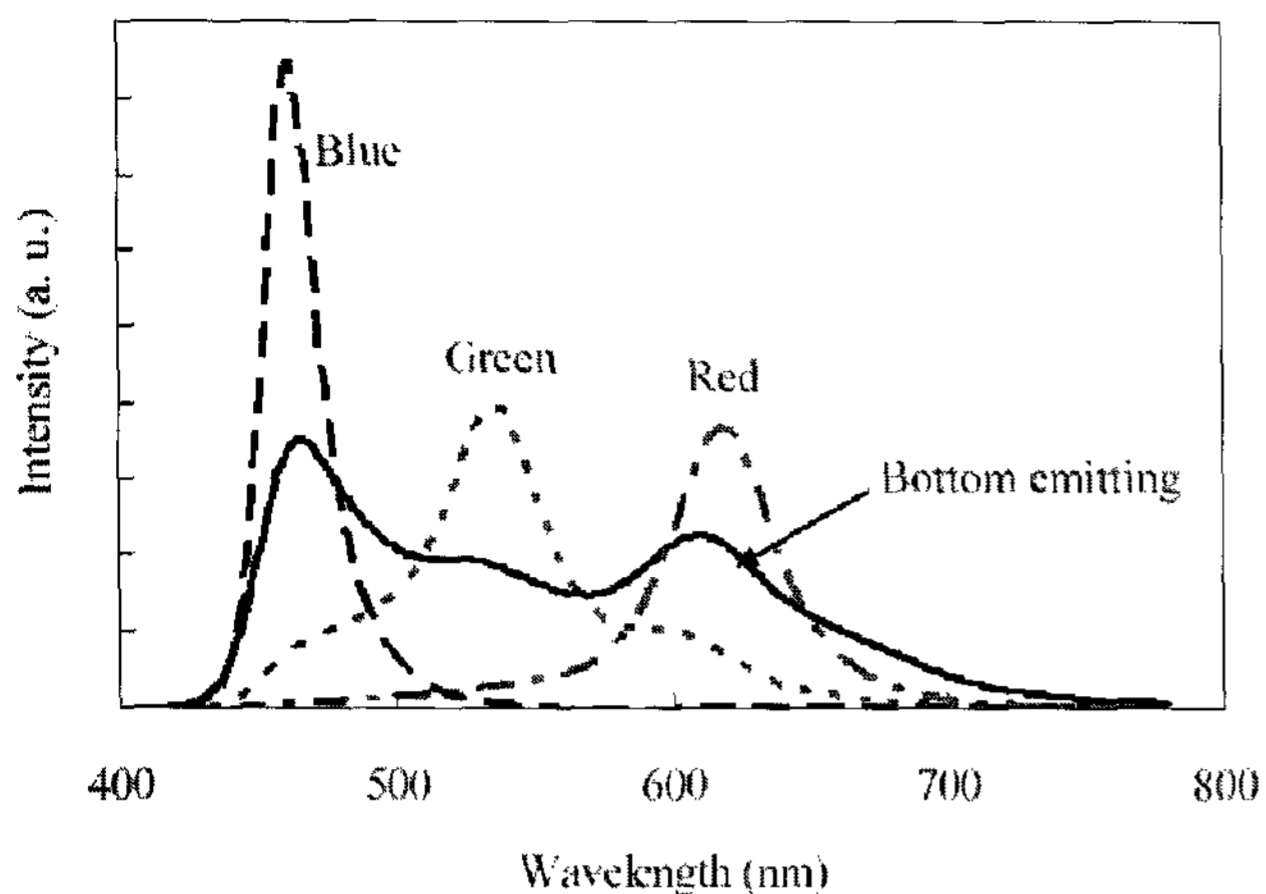
은 업체들이 배면 방식으로 개발하고 있다. 배면 발광 방식의 AMOLED는 각 화소 별로 투명 Anode 전극(ITO)이 패터닝되고 유기 다층막이 형성된 후 반사형 음극이 화면 전체에 형성된다. 따라서 TFT 회로가 놓여 있는 면적만큼 발광 면적에서 손해를 보게 된다. 이처럼 개구율이 줄면 각각의 화소에 요구되는 휘도가 증가하게 되어 OLED의 수명을 단축시키는 역효과로 이어진다. 또한 최근 고해상도 디스플레이의 흐름에 따라 같은 크기의 패널에서도 화소 자체 면적이 작아지는데 이때 고정 면적을 차지하는 TFT 회로 부를 제외한 실제 발광 면적 즉 개구율은 더욱 줄어들게 된다. 따라서 현재 배면 발광형 AMOLED는 보상형 회로를 채용하는 경우 2"급 패널에서 130ppi(인치 당 화소수)가 거의 한계로 받아들여지고 있다. 반면에 삼성SDI, Sony, ID Tech. 등에서 개발 중인 전면 발광 방식은 각 화소에 투명 전극이 아닌 반사형 전극이 형성되고 그 위에 유기 다층막이 형성된 후 반투명 전극이 형성된다. 이와 같은 전면 발광 구조는 하부의 구조물 위에 평탄화막이 형성된 후 반사형

전극이 놓이게 되므로 배면 발광 구조에서 보이는 개구율 손실이 발생하지 않는다. 따라서 배면 발광 구조에 비하여 같은 휘도를 내기 위한 각 부화소별 요구 휘도가 낮아지므로 수명에서도 유리하다([표 3] 발광 구조별 요구 휘도 참조). 또한 같은 면적에서 해상도가 높은 고품질 디스플레이 제작이 가능하게 된다. 더구나 반사형 전극과 반투명 전극에 의한 광학적 공진 메커니즘이 적용되어 광추출 효율 극대화 와 발광 색상의 조절이 용이하다. 따라서 향후 시장에서 점차 요구가 늘어날 것으로 예상되는 고해상도 AMOLED를 위해서는 전면 발광 구조 OLED 개발은 필수적이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 안정적인 반사형 전극, 투명 봉지 기술 개발이 반드시 뒤따라야 한다.

### V. 컬러 패터닝 기술 개발 현황

현재 대부분의 저분자 OLED 업체에서는 Shadow Mask를 이용한 패터닝 기술을 사용하고 있다.(삼성SDI, Ness, Pioneer, RiT Display, Sony 등). 이 기술은 약 50 um 두께의 Metal Mask를 사용하여 RGB를 패터닝하는 방식으로 비교적 작은 크기의 기판에 적용이 되어 왔으며 큰 문제가 없이 이용이 되고 있다. 그러나 이 기술은 유리 기판의 크기가 커지면 유리 기판의 처짐, Shadow Mask의 처짐, Mask 고정세화의 어려움 등이 있기 때문에 대형 기판용 OLED 제조기술에 적합하지 않다는 시각이 지배적이다. 또 다른 저분자 OLED의 패터닝 방식으로 청색 발광만을 이용하는 색변환 방식과 흰색(White) 발광만을 이용하는 컬러필터 방식이 있다. 색변환 방식은 일본의 Idemitsu-Kosan사에서 개발한 기술로 청색 재료만을 발광물질로 사용하는 것이다. 적색과 녹색 빛은 전체적으로 형성된 청색 OLED 앞쪽의 적색 및 녹색 해당 화소에 패터닝된 색변환 물질을 이용하여 청색 파장의 빛을 장파장인 적색과 녹색 쪽으로 전이시켜 얻는 3원색광을 추출하는 방식이다.

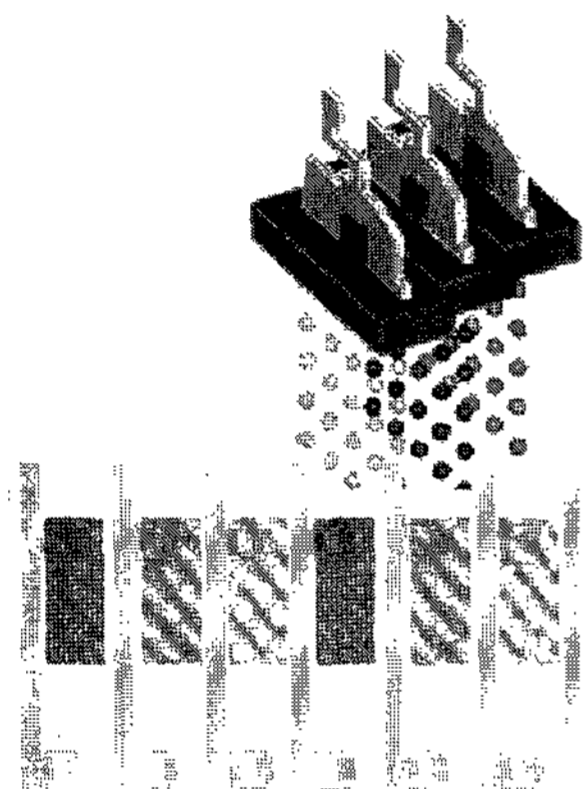
컬러필터 방식은 일본의 TDK사에서 개발한 기술로 위 색변환 방식과 거의 유사하나 백색 OLED를 광원으로 사용하여 적, 녹, 청색 광을 컬러 필터를 사용하여 얻는 점이 다르다. 위 두 기술들의 장점은 컬러화를 기판 상에 색변환 물질 혹은 컬러필터를 사진 식각 기술로 형성하기 때문에 생산성이 높고, 기존의 독립 증착 방식에서 보이는 마스크와 기판의 미세 정렬 문제점이 없다는 것이다. 그러나 재료의 광효율이 30~50%로 낮고 색순도가 변경되는 단점이 있다. 또한 아직 청색 OLED의 효율이 낮고, 고효율 3파장 백색광 OLED의 개발이 미진하여 소비전력과 수명 그리고 색상 품위 면에서 독립 증착 방식에 미치지 못하고 있는 실정이다. 그러나 최근 Sony사에서는 RGB 화소의 하부 ITO 두께를 각각 조절하는 방식으로 백색광 전면 발광 공진 효과를 적용한 AMOLED를 2004년 SID학회에서 선보였다<sup>13)</sup>. 이는 스펙트럼 영역별로 공진 조건을 최적화하여 컬러필터를 통한 색재현 범위가 TV에 적용 가능하도록 고안되었으며, 또 반사도를 최적화하여 시인성을 높인 것이 특징이었



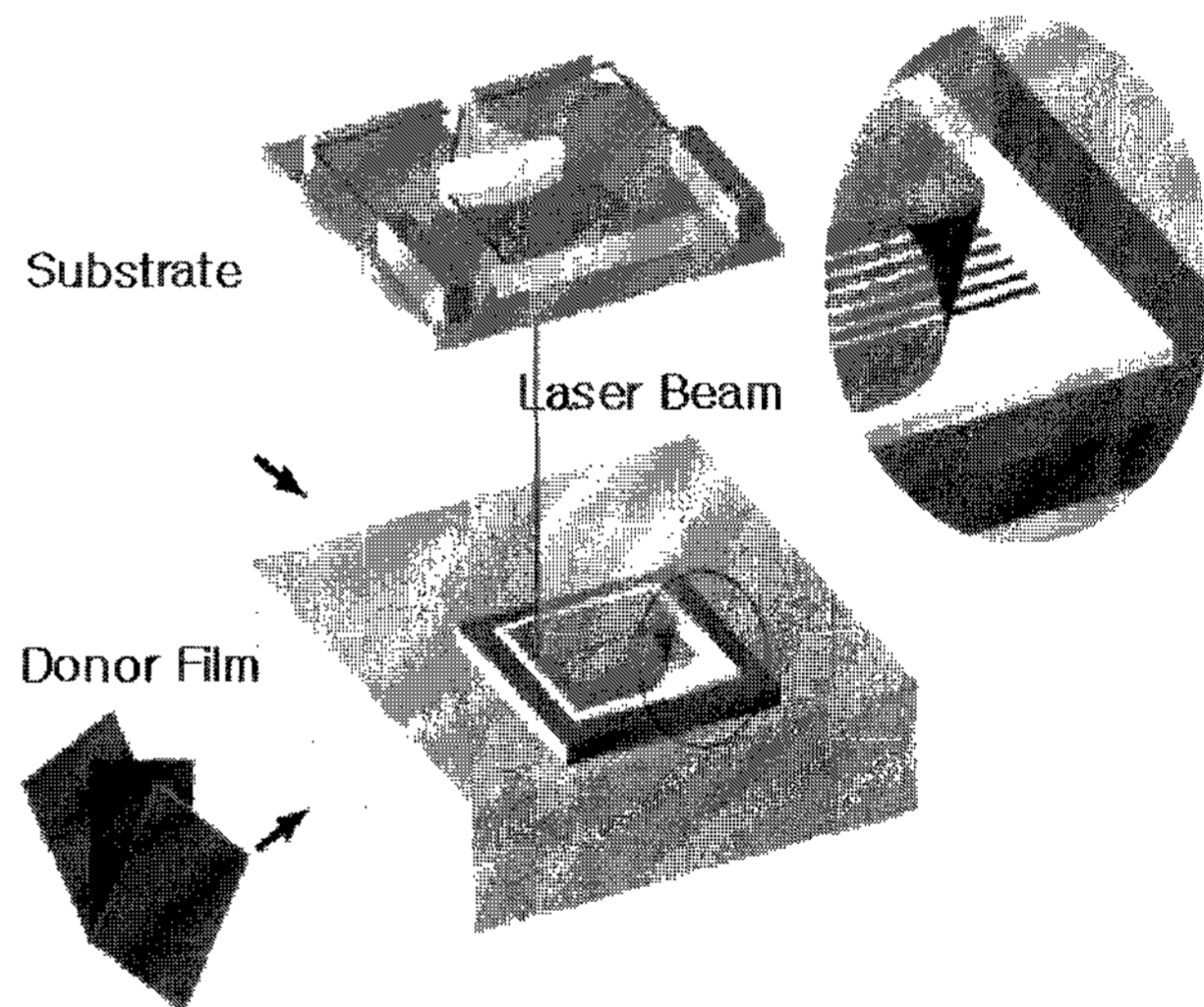
[그림 7] ITO 두께를 조절하여 백색광의 스펙트럼 각 영역을 RGB 화소에 최적화함.

서도 잉크젯 프린팅 방식이 현재 가장 앞서 있다. 저분자 재료도 이와 같은 패터닝 기술 적용이 불가능한 것은 아니지만 현재 대부분의 저분자는 일반적인 유기 용매에 잘 녹지 않아 호스트 고분자에 분산하여 용액 상태로 사용해야 한다. 잉크젯 프린팅 기술의 큰 장점은 대기 중에서 작업이 가능하고 대형 기판에 대한 기술적 대응이 현재 컬러 패터닝 방식 중에서 가장 용이하다는 것이다([그림 8]). 그러나 이 기술은 고분자의 특성(효율, 수명)에 절대적으로 의존하고 있으며 공정 상으로는 노즐이 막히는 현상과 화소 내 유기막 두께 불균일 현상을 반드시 해결해야 한다.

최근에는 Shadow Mask를 이용한 진공 패터닝도 아니며 잉크젯 등과 같은 습식 패터닝도 아닌 레이저 패터닝 방식(LITI: Laser Induced Thermal Imaging)이 개발되어 Full Color AMOLED를 위한 패터닝 기술에서 신기원을 이루고 있다<sup>[4]</sup>. 이 방식은 삼성SDI와 3M사가 공동 개발한 고유의 기술로 유기 물질이 형성된 Flexible Film을 기판



[그림 8] 잉크젯 프린팅 기술을 이용한 PLED의 칼라 패터닝 방식



[그림 9] LITI를 이용한 OLED의 칼라 패터닝 방식

다.([그림 7]).

이에 반하여 고분자의 경우 컬러 패터닝은 용액 상태에서 잉크젯 혹은 스탬프와 같은 프린팅 방법을 이용한다. 이중에

[표 4] AMOLED 기술 정리표

분 류	기술 방식	장 점	단 점
재 료	형광 저분자	양산 검증	저효율
	인광 저분자	장수명-고효율	양산 검증 필요
	고분자	대형화 용이 낮은 구동 전압	저효율 패터닝 어려움
발광 구조	배면 발광	PMOLED 이미 적용됨	고해상도 적용 어려움
	전면 발광	고해상도 적용 용이 색상 및 효율 유리	광학적 균일도 확보 어려움
패터닝 방식	독립 증착	패터닝 용이 발광체 고유색상 유지	대형화 어려움 고해상도 적용시 생산성 저하 우려
	색변환/ 컬러필터 방식	생산성 높음	저효율 및 색순도 저하 LCD와의 차별성 적음
	잉크젯 프린팅	대형화 용이	공정 변수가 많음
	LITI	대형화 용이 재료에 무관함	열에 의한 특성 저하 양산 검증 필요

에 밀착시킨 후 레이저 광선을 이용하여 그 유기 물질을 기판 위에 패터닝하는 것이다([그림 9]). 이 기술의 장점은 정렬 정밀도가 매우 높고, 레이저 광선의 빔 크기에 따라 소형 기판의 초미세 패턴에서부터 대형 기판에까지 적용이 용이한 점을 들 수 있다. 또한 필름 상에 패터닝 없이 유기 물질만 형성되면 되는 것으로 고분자 혹은 저분자 재료에 관계 없이 적용이 가능하다. 그러나 유기 물질이 필름이라는 추가의 매개체를 이용하여 기판에 전달되고, 순간적이지만 높은 열에너지 발생으로 인하여 저온 재료의 경우 OLED 특성이 저하되는 단점이 있다.

지금까지 기술한 AMOLED에서 OLED의 기술적 현황을 [표 4]로 정리하면 다음과 같다.

이제부터는 최근 국제 디스플레이 학회(SID 2004)에서 제작 발표한 실제 개발 제품을 비교하며 현재 AMOLED 업체별 개발 동향에 대해서 살펴 보자.

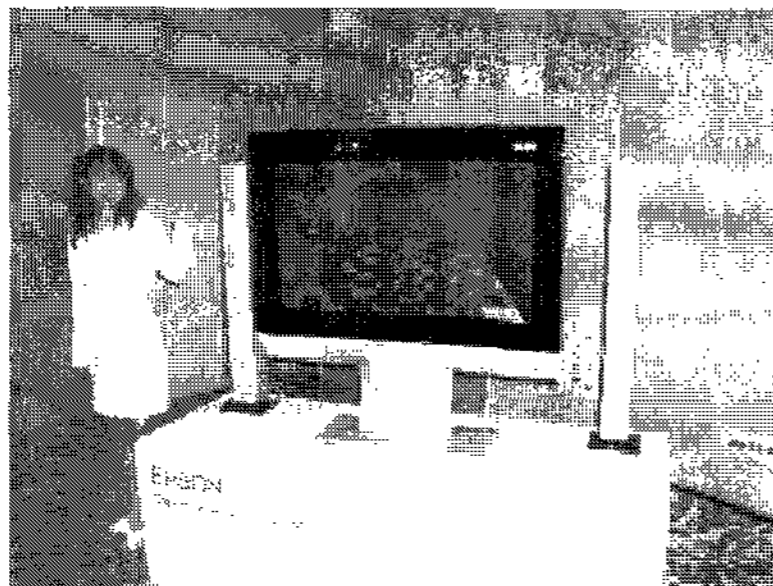
### VI. AMOLED 업체 개발 동향

먼저 LTPS-TFT 기판에 잉크젯을 이용한 AMPLED 개발품으로 2004년 Seiko-Epson에서 20" LTPS 기판을 4매를 붙인 후 잉크젯으로 인쇄하여 만든 40" 제품이 가장 대표적이다. 백색 최고 휘도는 50 nits로 발표되었으며 예상

수명은 1000-2000 시간으로 보고되었다([그림 10]). 그리고 Philips사에서 13" WQXGA급으로 잉크젯 AMPLED를 선보였다. 이 역시 백색 휘도는 100 nits 미만이었고 수명은 보고되지 않았다.

다음으로, LTPS 기판을 사용하고 저분자 전면 발광 방식에 패터닝은 백색광과 컬러필터 방식을 적용한 Sony사의 12.5" WSVGA급 AMOLED는 현재 AMOLED 선두 기술의 총집약체라고 볼 수 있다([그림 11] (a)). Sony사는 RGB별 광학적 최적 유기막 두께를 적용하는 기존의 독립 증착식 전면 발광과 하부 ITO 전극의 두께를 RGB별로 다르게 적용하여 같은 White OLED가 형성되었지만 발광 스펙트럼이 각 RGB 화소에 최적이 되도록 설계한 것이 특이한 점이다. 300nits 이상의 백색 휘도를 선보였지만 효율(소비전력)과 수명은 아직 미지수이다. 최근 Sony사는 컬러필터 방식과 독립 증착 방식을 결합한 전면 발광 구조의 3.8" HVGA AMOLED를 자사의 PDA(CLIE PEG-VZ90)에 채용하여 9월말부터 시판한다고 발표하였다. Sony사에 따르면 이 AMOLED는 Contrast 1000:1, 백색 최고 휘도 150nits, 시야각 상하좌우 180도, 그리고 표현색 26만 색상의 특성을 가지고 있다.

다음은 LTPS 기판에 저분자 독립 증착 방식을 이용한 AMOLED이다. 일본의 반도체 에너지 연구소(SEL)에서 선보인 4.3" VGA AMOLED는 디지털 구동 방식을 채용



(a)

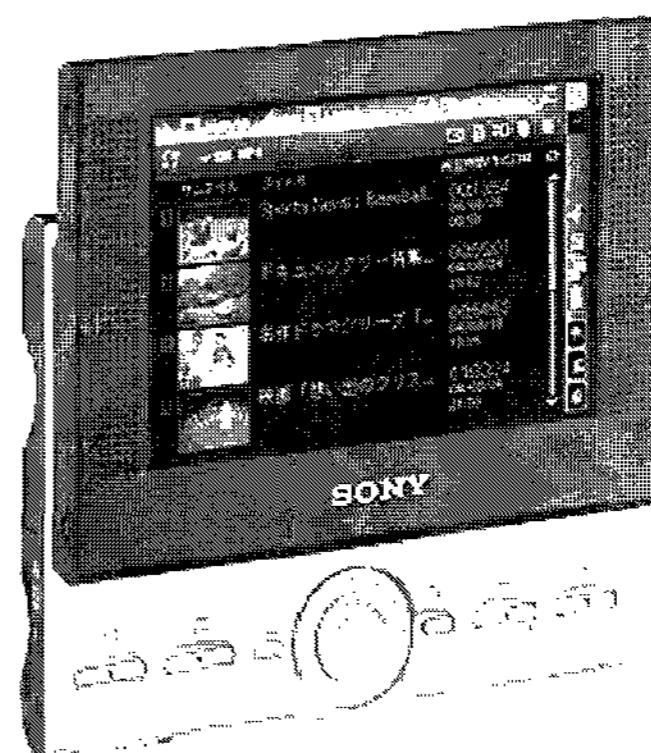


(b)

[그림 10] (a) Seiko Epson사의 40" 잉크젯 AMPLED(20" 4매를 Tiling함), (b) Philips사의 13" 잉크젯 AMPLED(WQXGA)

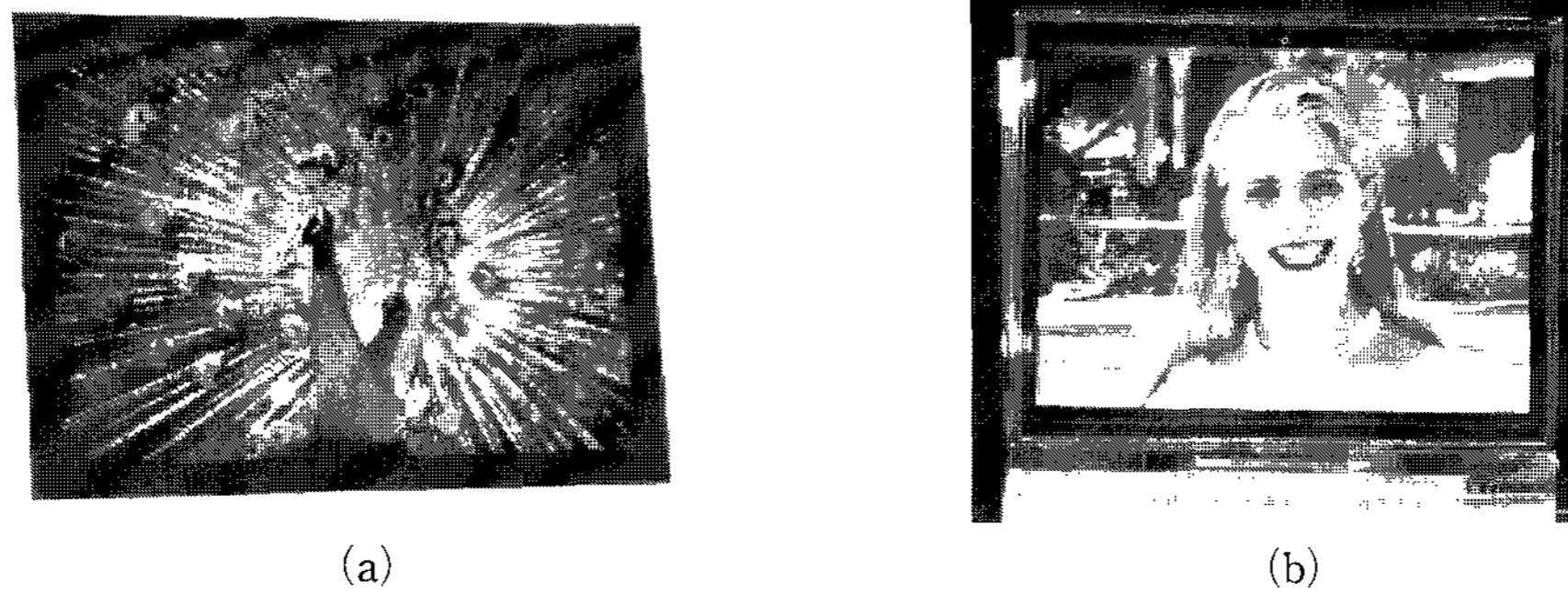


(a)

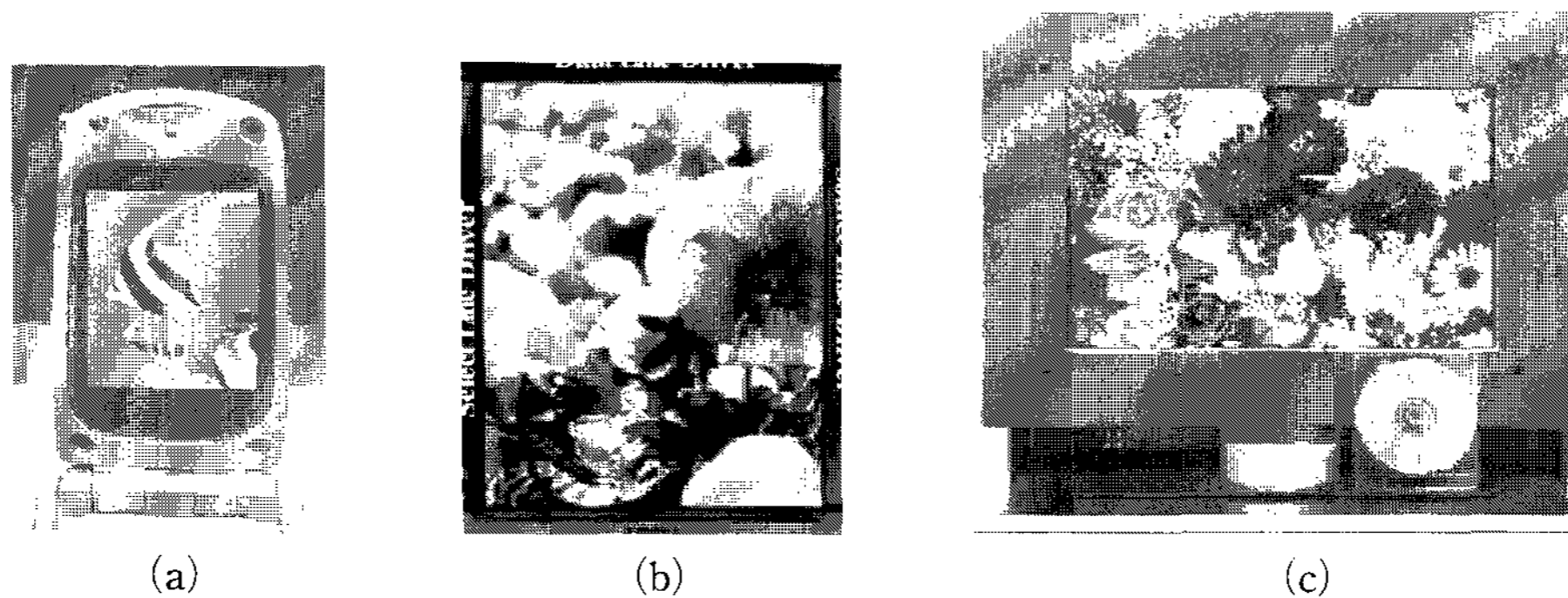


(b)

[그림 11] (a) Sony사의 12.5" WSVGA급 AMOLED(전면 발광, 백색광+컬러필터), (b) Sony사가 시판 예정인 PDA(3.8" HVGA 독립 증착식 전면 발광 AMOLED 채용)



[그림 12] (a) SEL의 저분자 독립 증착 AMOLED(4.3" VGA), (b) Hitachi사의 저분자 독립 증착 AMOLED(2.5" Delta 구조)



[그림 13] (a) RiT Display사의 저분자 독립 증착 AMOLED(QCIF, a-Si 적용), (b) Casio사의 고분자 잉크젯 AMPLED(160×128, a-Si 적용), (c) ID Tech사의 저분자 독립 증착 AMOLED(20" WXGA, 전면 발광)



[그림 14] (a) 2.2" QCIF 독립 증착 AMOLED, (b) 2.2" QVGA 독립 증착 전면 발광형 AMOLED, (c) 17" UXGA LITI AMOLED

하였고 백색 최고 휘도 400 nits를 자랑한다([그림 12] (a)). 또한 Hitachi사에서 선보인 2.5" AMOLED는 화소 수 680×220의 Delta type 화소 구조를 가지고 있다. 백색 휘도는 100 nits로 보고 되었다([그림 12] (b)).

그 다음으로 비결정형 Si 기판을 이용한 AMOLED가 있다. 대만의 RiT Display사가 선두를 형성하고 있는데 최근 저분자 독립 증착 방식을 이용하여 QCIF(176×220)급 AMOLED를 선보였다. 그 외 일본의 Casio사에서 고분자

잉크젯 방식을 이용한 160×128급 AMPLED를 선보였으며 ID Tech에서는 저분자 독립 증착 방식을 적용한 20" WXGA 급 전면 발광 AMOLED를 선보였다. 이들은 모두 비정질 Si TFT의 전기적 특성에 따라 수명이 짧을 것으로 예상된다.(각각 [그림 13]의 (a), (b), (c))

다음은 국내 AMOLED 개발의 선두 주자인 삼성SDI의 개발 현황이다. 현재 LTPS 기판을 적용한 저분자 독립 증착 방식을 중심으로 개발 중이지만 잉크젯 패터닝과 LITI



패터닝에 대해서도 지속적인 개발이 이루어져 왔다. 먼저 배면 발광 구조의 저분자 독립 증착 방식의 디스플레이에는 2.2" QCIF, 15.5" WXGA, 17" UXGA급이 있고 전면 발광 구조의 독립 증착 방식은 2.2" QVGA, 5" WVGA가 있다. 잉크젯 방식으로는 2.2" QCIF, 3.6" QVGA AMOLED가 개발되었으며 LITI 방식으로는 2.2" QCIF, 2.2" QVGA, 17" UXGA AMOLED가 개발되었다. [그림 14]에서 이중 대표적인 것을 사진으로 나타내었다.

## VII. AMOLED의 기술개발 방향 및 향후과제

OLED의 기술개발 속도는 최근 들어 매우 급속도로 진행이 되고 있다. 불과 몇 년 전만해도 재료의 수명 문제나 컬러화 문제, 능동 방식의 구동 문제 등이 매우 어려운 난제들로 알려져 있었다. 그러나 지난 몇 년 사이의 다양한 컬러 패터닝 기술이 여러 업체에서 개발되어 보고되었고, 재료의 수명도 비약적인 발전을 하고 있다. 또한 능동(AM) 구동기술도 poly-Si 박막 트랜지스터 기술 보유업체 들이 속속 참여하면서 그 개발 속도가 매우 빠르다. 수동(PM) 방식의 경우는 일본의 파이오니아, TDK, 그리고 한국에서는 삼성, LG, 코오롱, Ness 등이 사업화에 참여하였거나 참여를 발표하였으며 모바일(Mobile) 및 차재용 디스플레이의 응용 분야에서는 새로운 시장을 이미 형성하였다. 능동(AM)형 소자의 경우도 최근 Sony의 PDA 시판 발표 이후 각 업체의 개발 속도가 급물살을 타게 될 것이며 향후 2~3년 내에 큰 시장이 형성될 것으로 예측된다. 최근의 빠른 기술개발 속도를 본다면 AMOLED의 사업화는 큰 문제가 없으리라고 판단이 되나 몇 가지 점에서 아직 해결해야 할 기술적인 문제점들이 있다. 첫째로 재료 및 디스플레이 소자의 수명향상의 문제를 들 수 있겠다. 앞에서 언급한 것처럼 능동

(AM) 구동형 소자에서 전면발광 연구가 활발히 진행되고 있으나 소자의 안정성을 향상시킬 수 있는 봉지기술이 꼭 개발되어야 하며 재료의 수명도 지속적으로 개선되어야 텔레비전이나 모니터 시장에 진입이 가능할 것이다. 둘째로는 아직도 기술 개발 중인 컬러화 기술의 성숙화이다. 대형기판화, 고해상도화가 필히 이루어져야 원가적인 문제나 품질적인 문제를 극복하고 소형 디스플레이를 뛰어 넘는 고부가가치의 중대형 디스플레이로의 도약이 가능할 것으로 판단된다. 셋째로는 OLED향 박막 트랜지스터의 보다 성숙된 기술 개발을 들 수 있겠다. 여러 업체에서 풀 컬러화가 가능한 능동(AM)형 소자 기술을 개발하고 있으나 제작이 용이하고 휘도 조절(Gray Control)이 우수하며 안정성과 균일도가 우수한 박막 트랜지스터의 기술 개발이 이루어져야 고부가가치 제품으로의 사업화가 가능하리라 판단된다. 마지막으로 부품 및 양산 설비기술의 성숙화이다. 주변 산업 기술의 발달이 동시에 이루어져야 만이 원만한 부품의 조달과 양산설비의 구매가 가능해지기 때문에 주변기술의 공통된 발달이 사업화의 필수 불가결의 조건이다. 최근의 기술개발 속도 및 주변 산업의 적극적인 참여 등으로 미루어 볼 때 AMOLED의 전망은 매우 밝다고 볼 수 있으며 지금까지 보여지지 않았던 한단계 더 성숙된 기술적 도약이 조만간 이루어질 것이라고 기대해 볼 만하다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. J. Lih et al, SID 2004, 57.1.
- [2] A. Nathan et al, IMID 2004 19.2.
- [3] M. Kashiwabara et al, SID 2004, 29.5L.
- [4] S. T. Lee et al, SID 2004, 29.3.