

有機發光 다이오드의 加速 壽命 試驗에 관한 研究

Life Estimation of Organic Light Emission Diode by Accelerated Test

최영태·조재립

경희대학교 산업경영공학과

Young-Tei Choi-Jai-Rip Cho

Dept. of Industrial & Management System Engineering, KyungHee University

Abstract

Organic light emitting diode is developed fast from 1963 after discovering electric light emitting phenomenon. First PMOLED(passive matrix OLED) product is manufactured and AMOLED(active matrix OLED) using TFT(thin film transistor) is now in the center. PMOLED is mainly mounted at sub display, but AMOLED is mounted at main display. Also AMOLED expand the market to PMP(portable multimedia players), navigation and TV. Even though OLED's market is opening to many applications, OLED is worried about lifetime until now. That's appeared in market in a very short time and is not known well about result of OLED's lifetime and reliability test. And there is no standard assessment method and not enough study to standardization the method.

A study's purpose is reduce the time for life test by accelerated current and it can do production possible design by accelerated life model in design phase. It's must be add to process variables and

design variables(like ratio of light emitting, organic material structure, condition of aging, etc) to make the best use of supplied accelerated lifetime model in this paper. In terms of lifetime it needs each criterion of applications because of image sticking.

In conclusion, it's possible to discover new defect because there is not much time to be opened in market and develop a method of manufacturing process & materials, so we need to study on the subject of this paper continuously.

1. 서론

유기발광 다이오드(organic light emitting diode, OLED)는 1982년도에 최초로 전기적인 발광현상이 발견된 이후 빠른 속도로 발전하고 있으며, 처음 제품화 되었던 PMOLED(Passive Matrix OLED)를 시작으로 현재는 TFT(Thin Film Transistor)를 이용하여 구동하는 AMOLED(Active Matrix OLED)가 중심이 되어 제품 개발이 진행되고 있다. PMOLED에서는 주로 휴대폰 서브 디스플레이(sub display)로 채용되었으나, AMOLED의 등장으로 휴대폰의 메인 디스플레이(main

display)로 영역을 확대하였으며, PMP(portable multimedia players), 네비게이션(navigation), 카메라, 네비게이션, TV까지 확대되고 있다.

유기발광 다이오드는 넓은 색재현성으로 인한 높은 화질과 빠른 응답속도로 인한 떨림 현상 방지 등의 장점이 있고 발광 효율이 높아 적은 소비전력으로 구동할 수 있다. 이와 같은 특징은 2차 전지를 사용하는 모바일 환경에서 커다란 장점으로 부각되고 있어 시장 점유율을 지속적으로 높여 가고 있다.

본 연구의 목적은 유기발광 다이오드의 수명 평가에 있어서 장시간 평가의 어려움과 고휘도 및 고해상도로 발전해 가는 시장 요구에 부응하기 위하여 가속 수명에 대한 모형을 제시하여 설계단계에서부터 가속 실험과 시뮬레이션을 통하여 상품화의 가치를 빠르게 판단하고자 함이다.

그러므로, 본 연구에서는 색좌표 수명에 대한 판정기준 및 가속수명에 대한 모형을 제시하였다. 이를 통하여 평가시간 단축과 설계 단계에서 수명에 대한 시뮬레이션 뿐만 아니라 공정 변동에 의한 이상점 발생 시 문제의 원인을 밝히는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

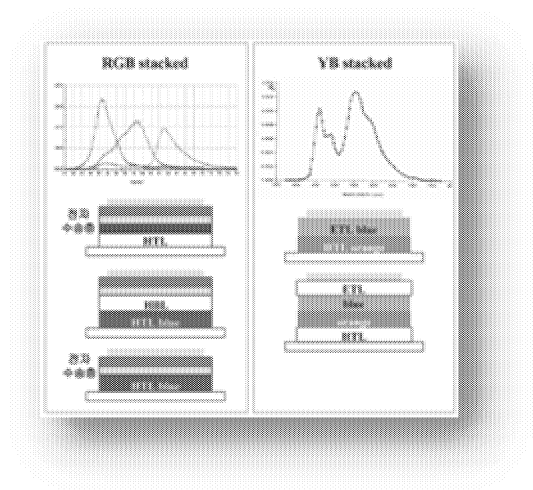
2. 이론적 배경

2.1 유기발광 다이오드의 구조

유기발광 다이오드는 적층형 유기발광 다이오드와 단층형 유기발광 다이오드로 구분할 수 있다. 지금 디스플레이로 개발되고 있는 구조는 두 가지 이상의 발광층을 적층하는 구조로 가장 일반적으로 사용되고 있고, 적색, 녹색, 청색의 세 색깔의 발광층을 적층구조이다. 적색, 녹색, 청색의 추출 효율이 높기 때문에 디스플레이에 적합하다[6].

일반적인 유기발광 다이오드의 기본적인 구조는 적층형 다층 박막 구조로 양극(anode),

정공 주입층(hole injection layer, HIL), 정공 수송층(hole transport layer, HTL), 발광층(emission layer, EML), 전자수송층(electron transport layer, ETL), 전자 주입층(electron injection layer, EIL), 음극(cathode)으로 구성 되어 있다.



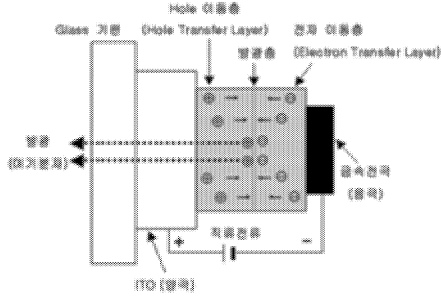
[그림 1] 적층형 유기발광 다이오드 소자구조

2.2 유기발광 다이오드의 특성

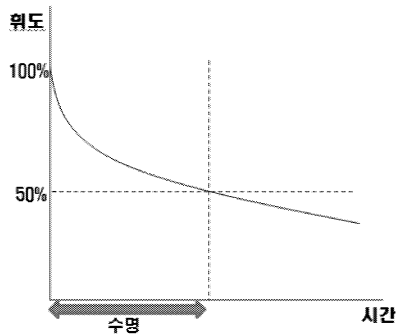
유기재료의 발광원리는 양극과 음극에서 주입된 전자(electron)와 정공(hole)의 재결합에 의해 발광이 일어난다. 전원이 공급되면 전자가 이동하면서 전류가 흐르게 되는데 음극에서는 전자(-)가 전자수송층의 도움으로 발광층으로 이동하고, 양극에서는 Hole(+개념, 전자가 빠져나간 상태)이 Hole수송층의 도움으로 발광층으로 이동한다. 유기물질인 발광층에서 만난 전자와 홀은 높은 에너지를 갖는 여기자(exiton)를 생성하게 되는데 여기자가 낮은 에너지로 떨어지면서 빛을 발생한다. 발광층을 구성하고 있는 유기물질이 어떤 것이냐에 따라 빛의 색깔을 달라지게 되며, R,G,B를 내는 각각의 유기물질을 이용하여 Full Color를 구현할 수 있다.

[그림 2] 유기발광 다이오드의 발광원리

2.3 디스플레이 수명



디스플레이에서 수명이란 [그림 3]와 같이 white 상태에서 휘도(밝기)가 반감될 때까지의 시간을 말한다.



[그림 3] 디스플레이 수명

유기발광 다이오드는 자발광 디스플레이로써 LCD와 같이 백라이트가 필요없는 장점이 있으나, 단위 화소가 독립적으로 발광하기 때문에 사용환경에 따라서 특정 부분의 열화로 인하여 Color Uniformity가 떨어질 수 있다. 그렇기 때문에 [그림 4]과 같이 디스플레이에 동일한 화면을 켜 두었을 경우 다른 화면으로 바뀌어도 이전의 상이 지속되는 현상인 잔상 (Image Sticking)*에 대한 고려 필요하다.



[그림 4] 자발광 디스플레이의 잔상현상

2.4 가속수명 모형

본 실험에서는 전기절연체, 베어링, 금속

피로(metal fatigue) 등에 널리 사용되고 있는 가속수명-스트레스 모형으로 전기 절연체와 유전체, 볼과 물러 베어링, 기계적 부하에 따른 단순 금속 피로, 백열전구 등에 적용가능하며 모형은 반도체를 비롯한 다양한 분야에 적용되고 있는 역거듭제공 모형(Inverse power model)이다[1].

$$\tau = A \cdot V^{-\gamma}$$

$$\left[\begin{array}{l} A, \gamma : \text{대상제품의 고장 메커니즘과 시험조건의 특성에 따른 상수} \\ V : \text{전압스트레스} \end{array} \right]$$

3. 가속수명모형 설계 및 실험

3.1 수명에 영향을 미치는 요소

유기발광 다이오드는 독립발광 소자이므로 설계 조건에 따라 Pixel이 받은 전류의 크기는 다르다. 설계적인 요소는 다음과 같다.

①Aperture Ratio: 유효구경을 표시판의 면적으로 나눈 값으로 개구율이 클수록 화소들이 차지하고 있는 면적이 증가되므로 밝기가 증가한다. 개구율의 감소는 적절한 디스플레이 휘도를 위하여 픽셀 소자에 가해지는 전류 및 전압의 증가를 가져오기 때문에 소비전력의 증가 및 디스플레이 수명의 감소가 유발된다.

②Resolution: Panel Size가 동일하다고 할 때 해상도에 따라서 발광하는 전체 면적의 차이가 날 수 있다. 설계하는 방법에 따라서 Pixel과 Pixel간의 공간의 차이, 즉 비발광 영역의 차이가 날 수 있다. 발광면적의 차이는 동일한 휘도로 발광한다고 할 때 해상도에 따라서 전류밀도 차이를 발생시킨다.

③Sub Pixel Pitch: Red, Green, Blue 유기물의 열화 속도의 차이로 개구율을 다르게 설계하는 것이 일반적이다. 각 color別 sub pixel pitch에 따른 전류밀도가 다르기 때문에 sub pixel pitch가 반영되어야 한다.

④Active Area: 실제 구현되는 영역으로 Sub pixel pitch와 resolution의 곱으로 면적을 나타낸다.

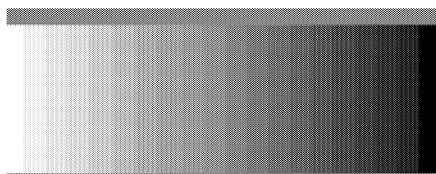
⑤Luminance: 목표 휘도에 따라서 전류 밀도가 달라지기 때문에 기본적으로 반영되어야 하는 항목이다.

⑥Polarizer Transmittance: 금속물질을 전극으로 사용하기 때문에 외부광원에 노출될 경우 거울과 같이 외부광원을 반사시킨다. 외부 광원에 대한 반사와 contrast ratio 저하를 보상에 주기 위해 편광 필름을 사용한다. 일반적으로 투과율이 50%를 넘지 않는다.

⑦Color: 단색이 가지는 색좌표와 White를 구성하는 색좌표에 따라서 White 휘도를 만들기 위한 Red, Green, Blue의 휘도비가 달라지게 된다. 휘도비에 따라서 열화하는 속도가 달라진다.

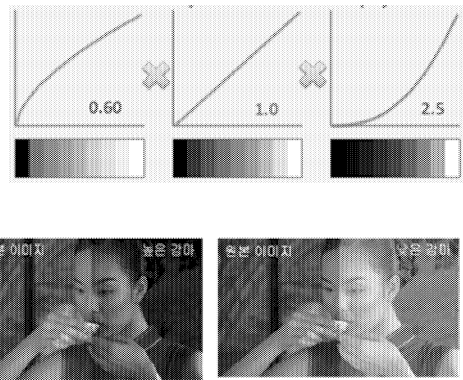
⑧EML 두께: EML의 두께가 증가하면 전류밀도는 감소하고, Host 물질의 이동도가 증가될수록 전류밀도가 증가한다. 전체 두께 중 발광에 참여하는 두께가 증가되면서 효율 증가한다. 공통층 두께를 고정하고 EML두께를 늘릴 경우, 전체 두께가 늘어나면서 동일 전압에서 전류밀도와 luminance가 감소하지만, 전체 두께 중 EML이 차지하는 비율이 높아지면서 효율의 증가를 동반한다[7].

사용자 환경에 의한 요소는 Gray scale & Gamma가 있다. User가 사용하는 Gray Scale & Gamma에 따라서 전류밀도 차이가 발생한다.



[그림 6] Grayscale: 흑백의 명암(255단계의 음영)으로 이미지를 표현하는 방식

[그림 7] Gamma: 입력값에 대한 출력값의 지수함수적 관계에서의 자승값



[그림 8] Gamma따른 이미지 차이

3.2 가속을 위한 전류밀도 산출

가속수명 모형을 설계하기 위해서 design factor, user environment factor, Organic Material factor에 대해서 전류밀도를 산출하였다. Design factor의 input parameter와 value는 <표 1>과 같다.

<표 1> QVGA Design factor의 input parameter & value

Input parameter		Value
Resolution	H	320
	V	480
Sub Pixel Pitch	H [μm]	47
	V [μm]	141
Aperture ratio	R [%]	35
	G [%]	35.2
	B [%]	490
Active Area	[cm^2]	30.3
Polarizer transmittance	[%]	44
Luminance	[cd/m^2]	300
Color	X	0.297
	y	0.323

전류밀도를 구하기 위해서는 Color별 휘도비, Color별 휘도, 발광면적을 고려한 휘도, 발광에 참여하는 실제 면적, 발광에 소모되는 전류, 재료 효율이 산출되어야 한다.

단색 색좌표는 재료의 고유특성에 공정 조건에 의한 막두께에 의해 정해진다. 이는 red, green, blue 고유의 color, 즉 색좌표가 되고 단색의 고유 색좌표로 white 색좌표를 맞추기 위해서 각 color별로 휘도비를 조정해 주어야 한다. color별 휘도비가 산출되었으면 target white 휘도에 맞는 color별 휘도를 계산할 수 있다.

지금까지는 사용자가 인식하는 휘도를 계산하였다. 디스플레이의 패널의 구조는 전체 면적에서 발광은 픽셀 면적만 해당된다. 전체 면적 중에서 실제로 발광에 참여하는 면적을 구하면 실제 발광하는 휘도를 구할 필요가 있다. 이는 단위 면적당 휘도를 구할 수 있고, 투입되는 전류량으로 나누면 효율이 된다. 계산 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2>Color별 휘도비, 휘도, 발광면적, 전류 및 효율

구분	White	Red	Green	Blue	단위
① Lum_ratio	1.000	0.280	0.650	0.070	-
② Lum_target	300	84	195	21	cd/m ²
③ Lum_real	5.706	1.635	3.779	292	cd/m ²
④ Lum_area	12.13	3.56	3.58	4.99	cm ²
⑤ I [실측]	452	97	182	172	mA
⑥ E	132	152	187	22	cd/A

<표2>에 의한 White 휘도별 전류밀도는 <표3>과 같다.

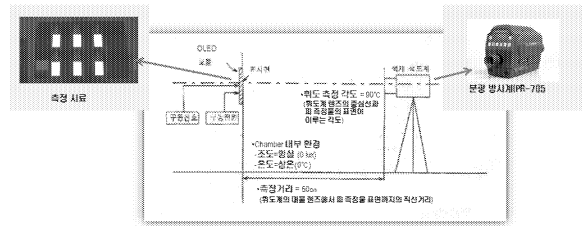
<표 3>White 휘도별 전류밀도

휘도	전류밀도			
	White	Red	Green	Blue
300	372	272	512	347
400	452	332	617	417
500	562	412	772	522

·단위: cd/m², A/m²

3.3 실험방법

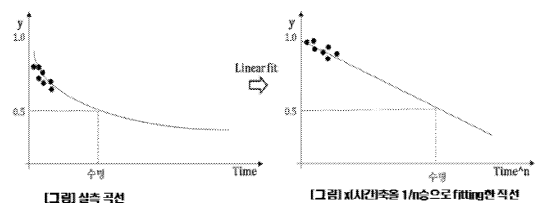
측정방법은 “KS C IEC 61988-2-1” 표준을 따랐고, 장비는 검교정 유효기간 내를 확인하였고 [그림 9]과 같다.



[그림 9] 휘도/색좌표 측정 거리 및 방법

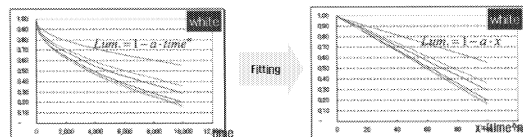
3.4 수명 모형 및 검증

실험은 시료수는 6개, 240시간 동안 진행하여 데이터를 확보하였고, 데이터의 전류값을 고정하고 일정한 주기로 시간을 x, 휘도를 y로 하여 휘도를 측정하면 곡선 형태로 휘도가 감소하게 된다. 이 곡선을 시간을 n승으로 fitting하면 [그림 10]과 같이 직선 모형으로 유도할 수 있다.



[그림 10] x(시간)축을 fitting한 전/후

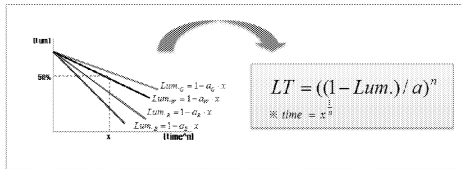
Fitting한 결과, White는 아래와 같고, R²는 전체 변동 중 휘기 변동에 대한 값으로 회귀식에 대해 설명되는 변동의 값이다. 동일한 방법으로 Red, Green, Blue에 대한 Fitting을 할 수 있다.



시료	n	a	Fitting Formula	R ²
#1	0.47	0.00638	Lum = 1 - 0.00638x	0.96
#2	0.52	0.00807	Lum = 1 - 0.00807x	0.97
#3	0.47	0.00677	Lum = 1 - 0.00677x	0.99
#4	0.58	0.00648	Lum = 1 - 0.00648x	0.93
#5	0.50	0.00666	Lum = 1 - 0.00666x	0.98
#6	0.48	0.00666	Lum = 1 - 0.00666x	0.98

3.5 수명 모형 설계 및 검증

휘도 수명은 휘도 잔존율이 50%될 때까지의 시간이므로 [그림 11]과 같이 White/Red/Green/Blue에 대하여 나타낼 수 있고, 휘도 수명에 대하여 시료별로 예측수명을 산출하고 각 color別로 MTTF를 구하면 <표 4>와 같다.



[그림 11] 휘도와 수명 관계

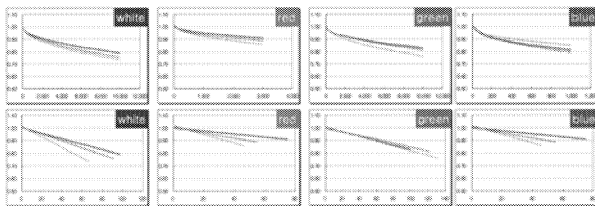
<표 4> Color別 MTTF

항목	White	Red	Green	Blue
MTTF	114,413	135,665	159,097	14,853

4. 가속수명 모형 및 검증

4.1 전류밀도별 실험결과

전류밀도에 의한 수명 실험 결과는 [그림 12]와 같다.



[그림 12] 전류밀도별 수명 곡선

전류밀도별 수명(MTTF)는 <표 5>와 같다

<표 5> 전류밀도별 수명(MTTF)

전류밀도	White	Red	Green	Blue
74	110,741	144,365	169,247	14,069
90	89,689	99,419	116,435	10,971
112	70,229	66,261	56,049	8,423

4.2 가속수명모형 및 검증

설계적 요소에 의한 가속수명모형은 전류밀도별 휘도 반감수명의 MTTF에 실선을 연결하면 곡선의 형태가 됨을 알 수 있다. 이는 기본 수명 모형에 전류밀도에 곡선의 형태로 가속되고 모형은 다음과 같다

• γ 값

구분	White	Red	Green	Blue
γ	1.08	1.87	1.93	1.24

적합도 검증결과는 아래와 같다.

- 통계량 χ^2 값이 $\chi^2(2, 0.05)$ 보다 훨씬 적으므로 적합함
(자유도 2, 위험률 5% 일 때 $\chi^2(2, 0.05) = 5.99$)

구분	관찰값	이론값	χ^2
74	55,368	55,300	0.0836
90	44,842	44,500	2.6284
112	35,112	35,000	0.3584

User가 사용하는 Gray Scale & Gamma에 따라서 전류밀도 차이가 발생하기 때문에 다음과 같이 식이 성립한다.

$$LT = \left(\frac{1 - Lum}{a} \right)^n \cdot \left(\frac{\frac{Lum_{white_std} \times Ratio_{lum_color_std} \times \left(\frac{255_{std}}{G_Scale} \right)^{gamma_{std}} \times 3}{Aperture_ratio_{color_std} \times Pol_trans_ratio}}{\frac{Lum_{white_target} \times Ratio_{lum_color_target} \times \left(\frac{255_{target}}{G_Scale} \right)^{gamma_{target}} \times 3}{Aperture_ratio_{color_target} \times Pol_trans_ratio}} \right)^{1/n}$$

4.3 수명 모형 적용 결과

위의 모형을 사용하여 <표 6>과 같이 새로운 설계 조건에 의한 수명 예측이 가능하다.

<표 6> VGA모형 설계적 요소

<표 6>의 조건에 의한 수명예측 결과는 다음과 같다.

Input parameter		Value
Resolution	H	480
	V	640
Sub Pixel Pitch	H [μm]	37
	V [μm]	84
Aperture ratio	R [%]	35.9
	G [%]	13.5
	B [%]	46.35
Active Area*	[cm^2]	28.64
Polarizer transmittance	[%]	44
Color	X	0.297
	y	0.323

$$LT = \left(\frac{1-Lum}{a} \right)^{\gamma} \left(\frac{J_{base}}{J_{acc}} \right)^{\gamma}$$

$$= \left(\frac{1-Lum}{a} \right)^{\gamma} \left(\frac{\frac{Lum_{base} \times color \text{ 휘도 비}}{Aperture_ratio_{base} \times Pol_trans_ratio_{base}} \times 3}{\frac{Lum_{acc_color} \times Ratio_{color_14241}}{Aperture_ratio_{color_14241}} \times Pol_trans_ratio} \times 3} \right)^{\gamma}$$

→ J_base:74, a:0.00217, γ : 1.08 일 때,
휘도 수명 MTTF(lum.=0.5)는
25,583시간임.

5. 결론 및 과제

유기발광 다이오드는 비교적 사용시간이 짧고 교체주기가 빠른 휴대폰, MP4등의 모바일 제품 중심으로 채용이 되고 있다. 최근 업계에서는 모니터, TV 등 장시간 사용되는 제품으로 확대할 준비를 하고 있다. 이러한 제품은 모바일 제품에 비하여 보증시간이 늘어나게 되고 보증시간을 만족시키기 위한 수명 시험도 더 길어지게 된다. 이러한 추세에 경쟁력을 확보하기 위해서는 가속수명 시험이 필수이다.

본 연구에서는 상온에서의 전류밀도에 의한 실험이 진행되었는데 온도에 따른 가속성이 성립되는 것을 확인한 결과가 있다. 온도에 따른 전류밀도의 상승으로 인한 수명변화에 대해서도 연구하여 유기발광 다이오드 가속수명 모형의 가속계수를 더 높이고 정교한 모형을 연구할 필요가 있다.

유기발광 다이오드는 TFT-LCD의 다음 세대를 이을 차세대 디스플레이로 각광받고 있

기 때문에 재료, 공법, 설비 등 관련 분야에 대해서 많은 연구가 진행되고 있기 때문에 본 연구에서 제시한 가속 수명 모형은 충분히 활용될 수 있다고 판단한다.

참고문헌

- [1] Chan, H. Anthony (EDT)/ Englert, Paul J. (EDT). *Accelerated Stress Testing Handbook*. WILEY, 2004.
- [2] D.PopovicAziz and ZoranHany. "Degradation Phenomena in Small-Molecule Organic Light-Emitting Devices." American Chemical Society, 2004.
- [3] PopovicAziz* and Zoran D.Hany. "Degradation Phenomena in Small-Molecule Organic Light-Emitting Devices." 2660 Speakman Drive, Mississauga, Ontario, Canada L5K 2L1: Xerox Research Centre of Canada, 2004.
- [4] StreetmanG.Ben. "Solid State Electronic Devices." Prentice-Hall, 1995.
- [5] 토비타 미찌야키(飛田 道昭)타츠로(石飛 達郎), 시렌 카즈시(枝連 一志), 나카야 타다오(仲矢 忠雄)이시토비. "고분자 OLED 재료의 개발." "Monthly "Display", TechnoTimes of Japan" (TechnoTimes of Japan), September 2005.
- [6] 이준엽, 김성현, 장정식, "백색 OLED 기술현황", 한국공업학회, Volume 10, No.2. 2007.
- [7] 한정인·문대규, "유기 EL 디스플레이 기술 (Organic EL Display Technology)", 방송공학회지 제6권 제4호, pp.66-78, 2001.
- [8] 양중환, 윤종근, "AMOLED 불량 및 신뢰성 평가", Information Display, 2007.