

유기발광 다이오드의 전류 가속 수명 평가법에 대한 연구
A study on the method of organic light emission diode's current accelerated life test

최영태 · 조재립
경희대학교 산업공학과

Kyung-Hee Jung · Jai-Rip Cho
Dept. of Industrial Engineering, KyungHee University

Abstract

The growing mobile products market is expected energy efficiency. So product design is more important focusing on reducing power consumption than improving technology of color sense. A Organic light emission diode is in limelight of the best display to satisfy market expectation.

A Organic light emission diode is achieved low power consumption, pixel response which was fast for its time, high contrast of brightness and wide color reproduction ratio.

Therefore there is a fierce competition for the organic light emission diode development between a country and another country over business.

The technical value's life is short because of a fierce development competition, and there is little probability that technical success become business success.

In this study, the 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.

1. 서 론

디스플레이를 장착한 모바일 제품이 급속히 확대됨과 동시에 에너지에 대한 사회적 요구수준이 상향되면서 디스플레이는 색감에 대한 기술 완성도 외 에너지 효율 중심의 제품 개발 또한 중요한 요소가 되었다. 이와 같은 시장 환경을 만족시킬 수 있는 최적의 디스플레이로 유기발광 다이오드가 각광받고 있다.

유기발광 다이오드는 낮은 소비전력, 넓은 색재현성, 빠른 응답속도를 지난 차세대 디스플레이이다. 이에 따라 유기발광 다이오드의 개발 경쟁이 치열해 지고 있으며, 이는 기업 간의 경쟁을 넘어 국가 간의 경쟁이 되고 있다. 이와 같이 개발 경쟁이 치열해 지면서 기술적 수명이 단축되어 연구개발의 기술적 성과가 상업적 성공으로 이어지는 가능성이 낮아지게 되었다.

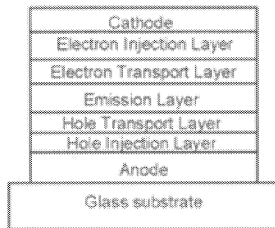
본 연구는 이와 같은 환경에서 경쟁우위를 강화하기 위하여 유기발광 다이오드의 전류가속 수명평가에 대한 올바른 평가법 정립하여 수명 시험을 단축하고 설계치로 수명 예측이 가능한 모형을 만들어, 설계 단계에서 양산성을 고려한 개발이 가능하도록 하여 개발 속도를 향상시키는 것을 목적으로 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 유기발광 다이오드의 구조 및 역할

유기발광 다이오드의 구조는 두 가지 이상의 발광층을 적층하는 구조인 적층형과 단층의 발광층에 두 개 이상의 발광 물질을 혼합하거나 하나의 물질을 이용하여 백색을 구현하는 구조인 단층형으로 나눌 수 있다.

일반적인 디스플레이 구조는 [그림 1]과 같은 적층형 다층 박막 구조로 양극(anode), 정공 주입층(hole injection layer, HIL), 정공 수송층(hole transport layer, HTL), 발광층(emission layer, EML), 전자 수송층(electron transport layer, ETL), 전자 주입층(electron injection layer, EIL), 음극(cathode)로 이루어져 있다.



[그림 1] 적층형 유기발광다이오드 구조

양극(Anode)은 전압이 인가되었을 때 유기층으로 정공을 주입하는 전극이고, 정공 주입층(Hole Injection Layer)은 양극으로부터 유기층에 정공이 원활히 주입되도록 하는 기능층이다. 정공 수송층(Hole Transport Layer) 양극으로부터 발광층으로 정공을 수송하는 기능층이고, 정공 방지층(Hole Blocking Layer)은 큰 이온화 준위를 가짐으로써 정공 흐름을 저지하는 기능층이다. 발광층 (Emitting Layer) 엑시톤에 의해 발광되는 층이고, 전자 수송층(Electron Transport Layer)은 음극으로부터 발광층으로 전자를 수송하는 기능층이다. 전자 주입층(Electron Injection Layer)은 음극으로부터 유기층에 전자가 원활히 주입되도록 하는 기능층이고, 음극(Cathode)은 전압이 인가되었을 때 유기층으로 전자를 주입하는 전극이다.

2.2 유기발광 다이오드의 발광원리

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 되고 여기자가 낮은 에너지로 떨어지면서 빛을 발생한다. 발광층을 구성하고 있는 유기물질이 어떤 것이냐에 따라 빛의 색깔을 달라지게 되며, Red/Green/Blue를 내는 각각의 유기물질을 이용하여 Full Color를 구현할 수 있다.

유기재료의 바람직한 특성으로는 순도가 높아야 하고 진공증착이 가능해야 하고, 유리 전이온도와 열분해 온도에서 높은 열 안정성을 나타내야 한다. 인접한 다른 층과의 접착력은 좋은 반면 다른 층으로 이동하지 않아야 하고, 소자 작동 시 발생하는 줄(Jule) 열에 의한 결정화에 의한 소자 파괴를 방지하기 위해 무정형이어야 한다.

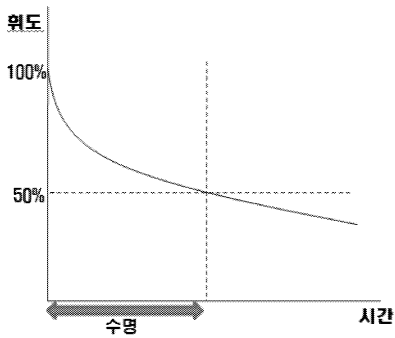
2.3 유기발광 다이오드의 열화

양극(anode)의 표면 균일도(surface roughness), 일함수(work function), 표면 오염도의 영향으로 열화가 발생한다. 양극 유기층(anode-organic layer)의 ITO 오염(indium-tin-oxide contamination), 산소의 확산(oxygen diffusion), 계면 상태 (interface contact status) 등이 열화의 원인이 된다.

3. 수명 평가방법 연구

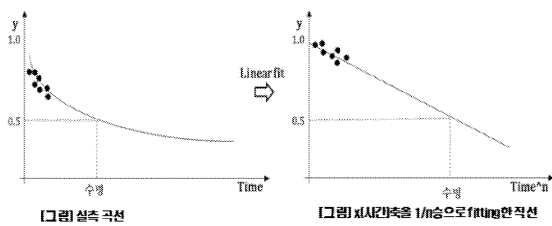
3.1 데이터 수집 및 fitting

디스플레이에서 수명이란 [그림 2]와 같이 white 상태에서 휘도(밝기)가 반감될 때까지의 시간을 말한다.



[그림 2] 디스플레이 수명

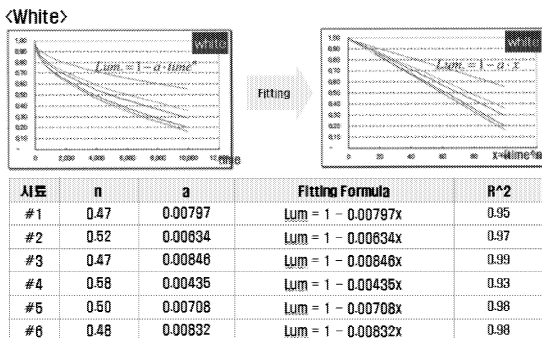
전류값을 고정하고 일정한 주기로 시간을 x, 휘도를 y로 하여 휘도를 측정하면 곡선 형태로 휘도가 감소하게 된다. 이 곡선을 시간을 n승으로 fitting하면 [그림 3]과 같이 직선 형태로 유도할 수 있다.



[그림 3] x(시간)축을 fitting한 전후

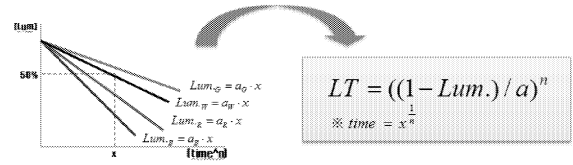
3.2 수명 모형 설계 및 검증

데이터 fitting 하기 위해서 n, 및 a값을 구한 후 최소자승법을 검증한 결과는 [그림 5]와 같다.



[그림 5] White 휘도 곡선 fitting 검증

휘도 수명은 휘도 잔존율이 50%될 때까지의 시간이므로 [그림 6]과 같이 나타낼 수 있다.



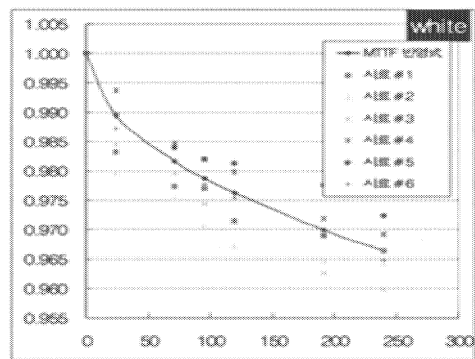
[그림 6] 휘도 수명식

위의 방법으로 White 뿐만 아니라 Red/Green/Blue에 대하여 휘도 수명에 대하여 시료별로 예측수명을 산출하고 각 color별로 MTTF를 구하면 <표 1>과 같다.

<표 1> Color別 MTTF

시도	White	Red	Green	Blue
#1	57.204	67.830	79.046	7.424
#2	54.454	61.662	82.605	8.471
#3	61.727	65.807	97.364	6.241
#4	58.238	86.389	84.971	7.786
#5	50.525	85.666	83.009	6.263
#6	50.320	66.400	83.618	6.045
항목	White	Red	Green	Blue
MTTF	55.368	72.180	84.621	7.032

산출된 MTTF로 color別 n, a를 다시 구한다. White Color의 결과는 <표2>, [그림 7]과 같이 p-value가 0.05 이상으로 이론값과 관찰값이 차이가 나지 않음을 확인하였고, Red/Green/Blue에 대해서도 동일한 결과를 얻었다.



[그림 7] 이론값과 관찰값 그래프

<표 2> 관찰값, 이론값 및 검증결과

Time	관찰값						이론값	P-Value
	시도 #1	시도 #2	시도 #3	시도 #4	시도 #5	시도 #6		
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-
24	0.983	0.980	0.984	0.984	0.989	0.987	0.989	0.185
72	0.977	0.975	0.980	0.985	0.984	0.984	0.982	0.659
96	0.977	0.971	0.974	0.982	0.982	0.978	0.979	0.458
120	0.972	0.967	0.971	0.980	0.981	0.975	0.976	0.447
192	0.969	0.965	0.963	0.972	0.978	0.969	0.970	0.720
240	0.966	0.964	0.960	0.969	0.972	0.965	0.966	0.668

3.3 수명 모형 적용 결과

<표 3>의 소비자의 사용환경 조사결과, 휘도 수명을 30,000시간 이상 확보하면 現 어플리케이션에 적용 가능하고, 本 실험에서 확보된 수명은 55,368시간이다.

<표 3> 사용자 환경 & 필요 수명

어플리케이션	기준 휘도 (cd/m ²)	보 사용시간 (hour)	교체 주기 (year)	중 사용 시간 (hour)
휴대폰	150	1.83	2.5	1,670
PMP	250	2.3	4	3,358
UMPC	300	3.5	3.5	4,471
Navigation	300	4	3	4,380
Note PC	200	8	3.5	10,220
TV	600	10	8	29,200

* 자료: Display Search(2006)

4. 가속수명 평가방법 연구

4.1 Design factor에 의한 가속 모형

유기발광 다이오드는 전류에 의한 독립발광 소자로 Pixel이 받은 전류의 크기에 따라서 휘도의 차이가 발생한다.

유기발광 다이오드의 전류밀도의 변화에 영향을 주는 요소로는 EML두께, 개구율, Anode uniformity, Aging 처리 등이 있다. 이중 설계적 요소는 <표 4>와 같다.

설계적 요소에 의한 전류밀도를 산출하기 위해서는 Color別 고유 색좌표와 White Target 색좌표 고려한 Color別 휘도비 산출하고, 설계 Target 휘도와 White Balance를 고려한 Color別 휘도를 산출해야 한다. 그리고 발광면적을 고려한 실제로 발광하는 휘도값(Luminance/Aperture ratio/Polarizer transmittance*3) 및 발광에 참여하는 실제 면적(Resolution*Sub Pixel Pitch*Aperture

<표 4> 전류밀도의 설계적 요소

Input parameter	Value	
Resolution	H	320
	V	480
Sub Pixel Pitch	H [μm]	47.0
	V [μm]	141.0
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

ratio)을 계산한다. 발광에 소모되는 전류값은 재료&재료구조의 고유특성이므로 실측을 해야 하고, 산출된 값에 의해 <표 5>과 같이 효율(휘도*면적/전류)을 구할 수 있다.

<표 5>설계치에 대한 전류 실측치 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	5706	1635	3779	292	cd/m ²
④ Lum_area	12.13	3.56	3.58	4.99	cm ²
⑤ I (실측)	90	19	36	34	mA
⑥ E	26	30	37	4	cd/J

효율을 통하여 단위 면적당 전류밀도를 구할 수 있다. 전류밀도를 구하는 목적은 전류가속을 위해서 재료의 고유 특성을 고려한 전류값을 유도해 내기 위해서 이다.

<표 6> Color別 전류밀도

구분	White	Red	Green	Blue	단위
J	74	54	102	69	A/m ²

전류가속을 위해서 목표 휘도를 300, 400, 500cd/m²으로 선정한 後 전류밀도를 구하였다. Target 휘도를 위한 실제 발광해야 하는 값 <표 7>과 앞에서 산출한 재료의 고유 특성인 효율 데이터로 인가해야될 전류 밀도 및 전류를 <표 8>, <표 9>과 같이 구하였다.

<표 7> Target別 실제 발광휘도

휘도	Lum_real			
	White	Red	Green	Blue
300	5706	1635	3779	292
400	7608	2180	5039	389
500	9510	2725	6298	486

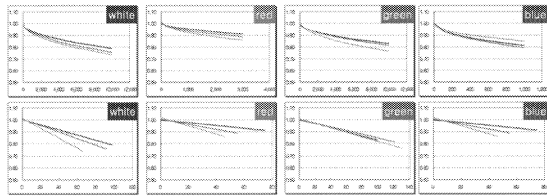
<표 8> Target別 전류밀도

휘도	전류밀도			
	White	Red	Green	Blue
300	74	54	102	69
400	90	66	123	83
500	112	82	154	104

<표 9> Target別 인가전류

휘도	White	Red	Green	Blue
300	90	19	36	34
400	109	23	44	42
500	136	29	55	52

이와 같이 산출된 전류를 인가하여 산출한 휘도 곡선 및 fitting 결과는 [그림 8]과 같다.



[그림 8] 전류밀도別 휘도 곡선

Fitting 결과에 의한 휘도수명(휘도 잔존율이 50%될 때까지의 시간)은 <표 10>과 같다.

<표 10> 전류 밀도別 수명

전류밀도	White	Red	Green	Blue
90	56,388	72,180	84,821	7,032
109	44,842	49,707	58,215	5,483
136	35,112	33,128	28,022	4,209

전류밀도別 수명에 의해서 가속수명 모형을 유도해 보면 다음과 같다.

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

$$= \left(\frac{-Lum}{a} \right)^n \left(\frac{\frac{Lum_{base} \times color_{\text{휘도비}}_{base}}{Aperture_ratio_{base} \times Pol_trans_ratio_{base}} \times 3}{\frac{Lum_{white_target} \times Ratio_{lum_color_target}}{Aperture_ratio_{color_target} \times Pol_trans_ratio}} \times 3} \right)^{ac}$$

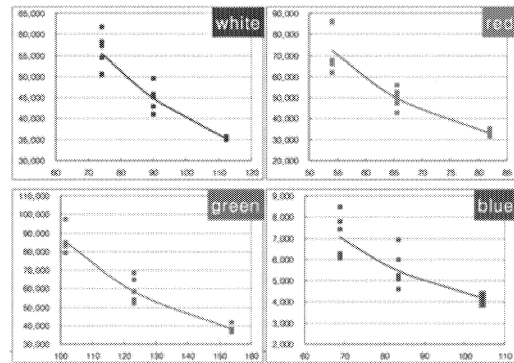
이 식에 의한 가속계수는 <표 11>과 같고, 검증결과는 [그림 9]와 <표 12>와 같다.

<표 11> 가속계수

구분	White	Red	Green	Blue
AC	1.08	1.87	1.93	1.24

<표 12> 검증결과

구분	White	Red	Green	Blue
P-Value	0.935	0.991	0.968	0.949

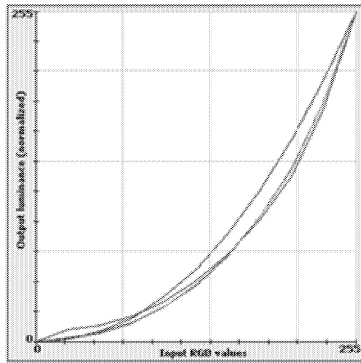


[그림 9] 검증결과

4.2 User environment factor에 의한 가속 모형

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

$$LT = \left(\frac{1-Lum}{a} \right)^n \left(\frac{\frac{Lum_{white_std} \times Ratio_{lum_color_std} \times \left(\frac{255}{G_Scale} \right)^{gamma_std}}{Aperture_ratio_{color_std} \times Pol_trans_ratio} \times 3}{\frac{Lum_{white_target} \times Ratio_{lum_color_target} \times \left(\frac{255}{G_Scale} \right)^{gamma_target}}{Aperture_ratio_{color_target} \times Pol_trans_ratio}} \times 3} \right)^{ac}$$



[그림 10] Gamma Curve

사용하는 색좌표 및 휘도가 <표 13>과 같을 때 2.2 gamma일 경우 사용하는 gray scale에 따른 휘도 변화는 <표 14>와 같다.

<표 13> 색좌표 및 휘도비

구분	White	Red	Green	Blue
색좌표 x	0.256	0.560	0.181	0.119
색좌표 y	0.263	0.272	0.595	0.041
휘도비	1.000	0.279	0.652	0.069

<표 14> Gray Scale에 따른 휘도변화

Gray scale	White	Red	Green	Blue
255	300	76	202	23
200	176	44	118	13
100	22	6	15	2

4.3 수명 모형 적용 결과

<표 3>의 소비자의 사용환경 조사결과, 휘도 수명을 30,000시간 이상 확보하면 現 어플리케이션에 적용 가능하고, 本 실험에서 확보된 수명은 500cd/m², 255 gray scale을 적용한 경우의 수명은 35,112시간이다.

5. 결론 및 과제

본 연구에서 개발된 가속수명 모형으로 개발 단계에서 시뮬레이션으로 인한 최적 설계案 또는 설계에 따른 개발 목표 검증하는 것이 가능하고, 가속 수명 시험에 의한 공정변경時 평가 Lead Time 단축이 가능하다. User 사용 환경에 따른 Application別 User

Interface 설계 고정 Icon 설계 Guideline 제공 가능하다.

본 연구에 이어서 현재 모형보다 정교한 모형을 개발하기 위해서 유기발광 Layer別 수명 및 공정조건에 따른 수명의 영향에 대한 지속적인 연구가 필요하고, 他 어플리케이션 (예: 조명, Flexible Display 등)에 따른 수명 연구가 또한 필요하다.

참고문헌

- [1] “Accelerated Testing-Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis.” WILEY INTERSCIENCE, 2004.
- [2] AzizD. Popovic and HanyZoran. “Reliability and Degradation of Small Molecule-Based Organic Light-Emitting Devices (OLEDs).” IEEE JOURNAL ON SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 8, NO.2, 2002.
- [3] Chan, H. Anthony (EDT)/ Englert, Paul J. (EDT). *AcceleratedStressTestingHandbook*. WILEY,2004.
- [4] D.PopovicAziz and ZoranHany. “Degradation Phenomena in Small-Molecule Organic Light-Emitting Devices.” American Chemical Society, 2004.
- [5] OhtaNoboru. “色彩工學(Color Engineering).” 국제, 2003.
- [6] 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.
- [7] StreetmanG.Ben. “Solid State Electronic Devices.” Prentice-Hall, 1995.
- [8] 김용남. “균일침전법에 의한 ITO 나노분말 제조 및 ITO 박막의 열화 특성에 관한 연구.” “박사학위논문.” 연세대학교 대학원, 2003.

- [9] 김원삼. “ α -피리도인과 금속 착체의 합성과 전기발광에 관한 연구.” “석사학위논문.” 인제대학교, 2006.
- [10] 김진성. “유기발광소자의 퇴화에 관한 연구.” “석사학위논문.” 중앙대학교 대학원, 2003.
- [11] 서순근. “MINITAB 신뢰성 분석.” 이레테크, 2002.
- [12] 신동원. “유기 메모리 발광 소자 제작 및 특성 평가.” “석사학위논문.” 한양대학교 대학원, 2007.
- [13] 이상용. “신뢰성 공학.” 형설출판사, 2003.
- [14] 이종범. “환경물질을 제외한 전자부품의 신뢰성평가 방법 연구 : Pb와 Br을 제거한 PWB를 중심으로.” “박사학위논문.” 경희대학교 대학원, 2005.
- [15] 이준걸. “초음파를 이용한 침출수 처리용 막분리 공정의 성능향상.” “석사학위논문.” 대구대학교 대학원, 2004.
- [16] 이황직. “OLED 발광물질을 위한 2-Thio-EDOT 유도체들의 합성.” “석사학위논문.” 명지대학교 대학원, 2007.
- [17] 토비타 미찌아키(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.
- [18] 양중환, 윤종근, “AMOLED 불량 및 신뢰성 평가”, Information Display, 2007.
- [19] 김동철. “신뢰성 보증시스템에 관한 연구.” “박사학위논문.” 성균관대학교 대학원, 2007.