

OLED TV Panel의 전류가속열화시험 설계

유지선¹ · 이득중² · 오창석² · 장중순^{1†}

¹아주대학교 산업공학과, ²LG display 품질센터

Electric Current Accelerated Degradation Test Design for OLED TV

Ji-Sun You¹ · Duek-Jung Lee² · Chang-Suk Oh² · Joong Soon Jang^{1†}

¹Department of Industrial Engineering, Ajou University

²Quality Center, LG display

Purpose: The purpose of this study is to estimate the life time of OLED TV panel through electric current ADT(Accelerated Degradation Test).

Methods: We performed accelerated degradation test for OLED TV Panel at the room temperature to avoid high temperature impact on the luminance.

Results: we got more accurately the life time of the OLED TV when we applied ADT without temperature factor than including both current and temperature.

Conclusion: Until now, the ADT of the OLED TV has been conducted with temperature and current at the same time for reducing test time and costs. We estimate incorrect life time when the temperature is adopted as an accelerated factor. Due to the high temperature impact on the luminance of the OLED TV panel. So as to solve this problem, we discard temperature and use electric current only.

Keywords: OLED TV Panel, Accelerated Degradation Test, Degradation Model, Electric Current Acceleration

1. 서론

최근, 대면적 프리미엄 TV 시장의 OLED TV 점유율은 점점 높아가는 추세이다. 대면적 OLED TV는 기존의 LED, LCD panel을 사용하는 TV보다 구매금액이 월등히 높기 때문에 제품의 신뢰성과 내구성에 대한 소비자들의 기대치가 높다. 각 기업은 그 기대치를 충족시키기 위해 제품 출하 전에 제품의 신뢰성에 대한 시험을 실시하게 된다. 제품 신뢰성에 관한 정보를

알아보기 위해 시험을 실시할 때 사용조건과 동일한 조건에서 시험을 실시하게 되면 아주 긴 시험시간과 큰 비용이 필요하다. 따라서 기업들은 시험 시간을 단축하고 비용을 절감하기 위해 사용조건보다 가혹한 조건에서 실시하는 가속시험을 실시한다.

지금까지 OLED TV의 가속시험은 제품의 신뢰성 척도를 효율적으로 알아내기 위해 온도와 전류 두 인자를 동시에 활용하여 가속시험을 실시하였다. Choi and Cho[1]은 OLED 소자에 대해 온도와 전류를 가속

† 교신저자 jsjang@ajou.ac.kr

2016년 11월 30일 접수; 2016년 12월 31일 수정본 접수; 2017년 1월 10일 게재 확정.

시켜 가속시험을 실시하였고, Moon, Park, and Choi[2]의 논문에서는 OLED를 온도와 전압을 인자로 활용해 가속시험을 실시하고 수명을 예측하였다. 하지만 가속시험 계획 시 부과되는 가속스트레스가 2개 이상일 경우 교호작용이 존재할 수 있다[3].

OLED의 가속시험 시 주로 부과되는 가속스트레스인 온도와 전류, 온도와 전압의 관계는 다음 논문을 통해서 확인할 수 있다. Chesterman 외의 연구에서는 OLED의 휘도가 작동온도에 따라서 변화한다고 언급하였다[4]. 이는 가속시험 시, 온도인자와 함께 가속인자로 쓰이는 전류밀도에 영향을 준다고 해석할 수 있는데, OLED의 휘도는 panel을 흐르는 전류밀도에 의해 결정되기 때문이다. 또한, Lee, Kim, and Park[5]의 연구에서도 같은 인가전압에서 온도가 증가할수록 전류가 증가하는 것을 볼 수 있다. 다시 말해, OLED 가속시험을 실시할 때 온도를 포함한 두 개 이상의 가속인자를 활용하게 되면, 두 인자간의 교호작용이 발생해 온도에 따른 입력 전류 값에 대한 증가, 신뢰성 불량(화면이상 등)을 야기시켜 한 가지 가속인자를 활용해 시험을 실시할 때 보다 시험시간이 길어지거나 수명산출시 수명이 더 길게 예측되는 등의 부정확한 시험결과를 야기할 수 있다. 부정확한 시험 결과 사례로는 A社의 LED Package 수명시험 시 고온조건에 의한 휘도상승으로 인해 활성화 에너지 1.3eV 이상이 나오며, 이로부터 산출된 예측수명이 백만 시간 이상이 된 결과가 있다.

따라서 본 논문은 정확한 OLED TV Panel의 수명산출을 위해, 온도를 가속인자에서 제외한 후 상온조건에서 전류만을 활용해 OLED TV Panel의 가속열화 시험을 실시하고 그로부터 수명을 산출하려고 한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 OLED TV panel의 가속시험에 대해 언급하고 제 3장에서 OLED TV panel 전류가속시험결과, 제 4장 결론 및 고찰로 이루어져있다.

2. OLED TV panel의 가속시험

OLED TV panel의 밝기(휘도)는 전류의 세기에 비례하는데, 전류를 일정하게 공급하더라도 시간이 지남에 따라 소자의 열화에 의해 OLED TV panel의 평균 휘도는 떨어지게 된다. OLED TV의 수명을 평가하

기 위해서 과거에는 주로 온도와 전류를 이용하여 가속열화시험을 실시하였다. 그러나 서론에서 언급했듯이 온도는 여러 가지 이유로 OLED TV panel의 휘도에 영향을 미치고 휘도는 OLED TV panel의 수명을 산출하는데 기준이 되기 때문에 이번 절에서는 상온조건(25℃)에서 전류만을 가속인자로 사용한 가속수명시험을 실시하고 그 결과를 제시할 것이다.

2.1 시험계획

시험은 55인치 OLED TV panel을 Accelerated Degradation Test(ADT)를 위해 <Fig. 1>과 같이 구역별로 나누어 White, Red, Green, Blue 컬러별로 실시하였다. 각 컬러별로 3개의 데이터가 존재하며, 모든 컬러에 대해 모두 가속열화시험을 실시하였다. 소자 모두 peak 전류 밀도(mA/cm^2)까지 시험하였고, 컬러별 전류 밀도를 세분화하고 등 간격으로 스프릿하였다. 하지만 본 논문의 데이터분석과 수명산출은 White 소자만 다루고 있다. 그 이유는 OLED TV Panel에서 색구현시 95% 이상 사용하는 소자이기 때문이다. 예를 들어 red, blue, green 구현 시 각 컬러의 소자만 구동하는 것이 아니라 red+white, blue+white, green+white로 구동된다. 따라서 White 수명을 대표 수명이라고 보고 데이터 분석과 수명산출을 실시하였다.

고장판정기준은 기존의 OLED 소자의 고장판정기준과 같이 OLED TV Panel의 휘도를 측정했을 때 초기휘도의 50%까지 떨어지면 고장이라고 판정한다. 가속인자는 전류한가지로 분석에 쓰인 White 소자에 대한 전류밀도는 $6\text{mA}/\text{cm}^2$, $9\text{mA}/\text{cm}^2$, $12\text{mA}/\text{cm}^2$, $15\text{mA}/\text{cm}^2$, $18\text{mA}/\text{cm}^2$, $21\text{mA}/\text{cm}^2$, $21.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 로 7수준이다. 시험 온도는 25℃의 상온에서 실시하였고, 시험시간은 총 437.5시간을 시험했으며 휘도측정은 총 7회로 45.5, 63.5, 110.5, 164, 204.5, 276.5, 437.5시간에서 측정하였다.

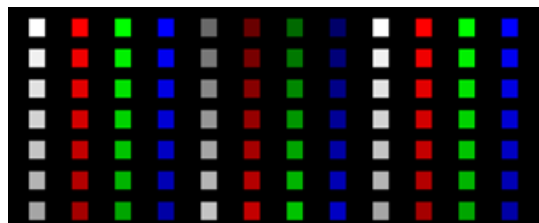


Fig. 1 Divide OLED TV panel for ADT

3. OLED TV panel 전류가속시험결과

3.1 열화데이터 그래프

<Fig. 2> 그래프를 보면 $6\text{mA}/\text{cm}^2$ 에서는 휘도가 초기 휘도인 1 이하로 거의 감소하지 않는 것을 볼 수 있다. 따라서 $6\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 데이터는 클렌징 후 분석을 실시하였다. 그래프의 가로축은 시간이며 세로축은 초기 휘도에 대한 휘도 유지율을 나타낸다. 각 전류밀도 당 데이터가 3개씩 존재하기 때문에 전류밀도별 휘도변화의 가시성을 위해 같은 전류밀도에 대해서는 그래프에 같은 색상을 이용해 표시하였다.

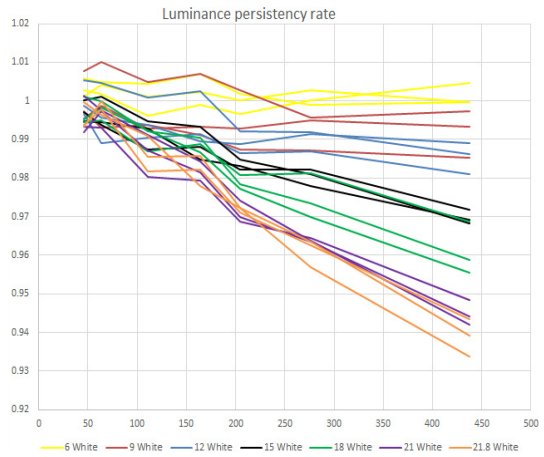


Fig. 2 Luminance persistency rate of OLED

3.2 열화모형, 가속모형선정

가속시험으로부터 OLED TV panel 소자의 열화 패턴을 알기 위해서는 열화모형을 선정해야 한다. 모형은 Exponential Model을 선정했으며 식은 다음과 같다.

$$y = ae^{bt} \quad (1)$$

식 (1)을 선형변환하게 되면 다음과 같은 식으로 변換되고

$$\ln y = \ln a + bt \quad (2)$$

식 (2)를 이용해 a, b값과 수명 t를 산출 할 수 있다.

선정된 열화모형에 대한 R²값을 산출하였을 때, 클렌징 한 $6\text{mA}/\text{cm}^2$ 전류밀도 조건을 제외한 $9\text{mA}/\text{cm}^2$ 전류밀도 이상의 조건에서의 R²값은 다음 <Table 1> 과 같다.

Table 1 R-square of each Electric Current density

| current density (mA/cm ²) | 21.8 | 21.8 | 21.8 | 21 | 21 | 21 | 18 | 18 | 18 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | #1 | #2 | #3 | #1 | #2 | #3 | #1 | #2 | #3 |
| R-square | 0.9852 | 0.9664 | 0.9747 | 0.9791 | 0.9719 | 0.9823 | 0.9763 | 0.9644 | 0.9479 |
| current density (mA/cm ²) | 15 | 15 | 15 | 12 | 12 | 12 | 9 | 9 | 9 |
| | #1 | #2 | #3 | #1 | #2 | #3 | #1 | #2 | #3 |
| R-square | 0.9794 | 0.9429 | 0.9637 | 0.7954 | 0.8369 | 0.6541 | 0.3696 | 0.3958 | 0.3966 |

Table 2 time t, calculate from acceleration model

| current density | 210 | 272 | 333 | 387 | 442 | 458 |
|-----------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| No. | (9mA/cm ²) | (12mA/cm ²) | (15mA/cm ²) | (18mA/cm ²) | (21mA/cm ²) | (21.8mA/cm ²) |
| #1 | 30,636 | 16,121 | 8,639 | 6,536 | 4,716 | 4,135 |
| #2 | 20,682 | 18,352 | 9,593 | 6,283 | 5,110 | 4,729 |
| #3 | 58,123 | 27,478 | 10,933 | 9,991 | 5,644 | 5,042 |

3.3 가속성 성립 검토

가속열화시험은 정상조건보다 가혹한 조건에서 시험을 실시하기 때문에 각 가속 조건의 가속성이 성립하는지, 각 가속 조건에 대한 고장 메커니즘이 같은가를 살펴봐야 한다. 가속성이 성립하는지 확인하고 수명 산출을 위해 제 3.2절의 식 (1)을 이용해 초기 휘도 대비 50%가 되는 고장시간 t를 산출하였다. 산출된 t는 다음 <Table 2>와 같다. <Table 2>의 전류밀도 위의 숫자는 전류밀도별 휘도 값이며 단위는 nit를 사용한다.

이를 살펴보기 위해 동일 척도모수에 대한 검정을 실시하였다. 시험한 전체 전류밀도에 관해 가속성이 성립하는가에 대해서 동일 척도 모수에 대한 검정을 실시한 결과는 다음 <Fig. 3>과 같다.

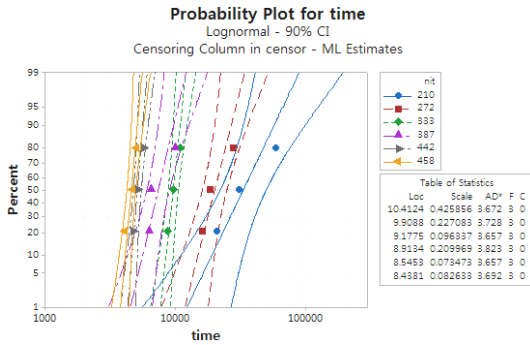


Fig. 3 Test for equal scale parameter

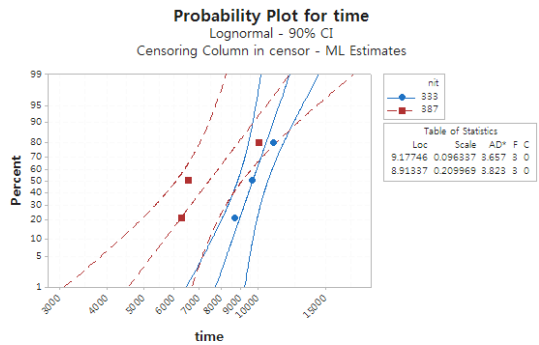


Fig. 5 Test for equal scale parameter (15mA/cm², 18mA/cm²)

Test for Equal Location Parameters

| Chi-Square | DF | P |
|------------|----|-------|
| 250.715 | 5 | 0.000 |

Fig. 4 P-value of scale parameter

Test for Equal Location Parameters

| Chi-Square | DF | P |
|------------|----|-------|
| 1.82027 | 1 | 0.177 |

Fig. 6 P-value of scale parameter(15mA/cm², 18mA/cm²)

<Fig. 4>를 보게 되면 모든 전류밀도조건에서의 p 값은 0으로 유의수준 0.05보다 낮기 때문에 가속성이 성립하지 않는다. 따라서 최적의 시험 전류밀도를 찾기 위해서 P값이 가장 큰 조건을 이용하여 수명 산출을 실시하였다. P값이 가장 큰 조건을 찾기 위해, 각 전류밀도 조건별로 동일척도 모수검정을 재 실시한 결과 <Fig. 5>, <Fig. 6>과 같이, 전류밀도조건 (15mA/cm², 18mA/cm²)에서 P값이 0.177로 유의수준 0.05 이상이기 때문에 가속성이 성립하는 것을 확인하였다.

3.4 분포 적합성 검정 및 수명산출

분포 적합성을 판단은 A-D값을 이용해 판단한다. 분포적합성 판단을 위해 수명 t에 대해 A-D값을 산출하였다. <Fig 7>과 같이 로그정규분포의 A-D값이 2.216으로 가장 작기 때문에 로그 정규 분포를 적용하였다.

로그 정규 분포를 적용한 후, 아래와 같은 역누승 모델(Inverse power model)을 이용하여 수명을 산출하였다.

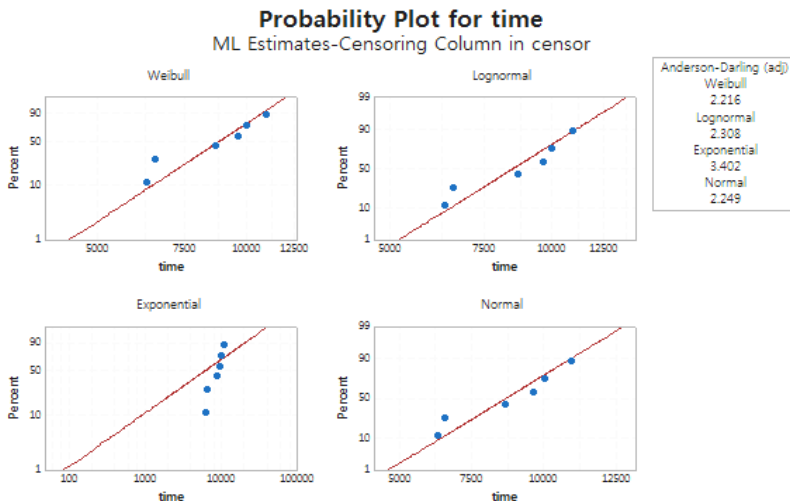


Fig. 7 Probability of time t

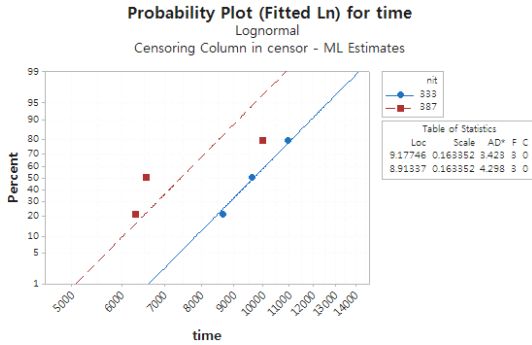


Fig. 8 Result of Lifetime

| Predictor | Coef | Standard Error | Z | P | 90.0% Normal CI | |
|-----------|----------|----------------|-------|-------|-----------------|-----------|
| | | | | | Lower | Upper |
| Intercept | 19.3838 | 5.22189 | 3.71 | 0.000 | 10.7946 | 27.9730 |
| nit | -1.75725 | 0.887508 | -1.98 | 0.048 | -3.21707 | -0.297426 |
| Scale | 0.163352 | 0.0471558 | | | 0.101604 | 0.262628 |

Fig. 9 Probability of time t-lognormal distribution

$$\tau = A_0 / V^n \tag{3}$$

식 (3)의 τ 는 수명, V 는 가속인자를 나타낸다. A 와 n 은 상수이다. 위 식으로부터 수명을 산출한 결과는 <Fig. 8>, <Fig. 9>와 같다.

<Fig. 9>에서 휘도(전류계수 n)는 1.757이 나오는 것을 확인하였으며, 척도모수는 0.1633으로 산출 되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론 및 고찰

지금까지 OLED TV의 가속시험은 시험시간의 단축과 비용의 절감을 위해 온도와 전류 두 가지 인자를 동시에 가속시켜 수명을 산출하였다. 그러나 두 인자간의 교호작용이 발생해 온도에 따른 입력 전류값에 대한 증가, 신뢰성 불량(화면이상 등)을 야기 시켜 한 가지 가속인자를 활용해 시험을 실시할 때 보다 시험시간이 길어지거나 수명산출시 수명이 더 길게 예측되는 등의 부정확한 시험결과를 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전류밀도 한가지인자만 활용해 OLED TV Panel의 가속시험을 실시하였고 수명을 산출하였다. 본 연구에서는 온도를 뺀 한 가지 인자만을 사용하여 인자간의 교호작용이 제거함으로써, 보다

정확한 수명을 예측할 수 있었다. 본 연구의 향후 연구과제로는 상온 가속시험 계획 시 전류밀도 스프릿에 대한 검토 연구가 필요하다.

References

- [1] Choi, Y. T. and Cho, J. R. (2008). "A study on OLED device's accelerated lifetime test". Journal of Korea Safety Management and Science, Vol. 10, No. 3, pp. 73-79.
- [2] Moon, J. C., Park, H. K., and Choi, C. S. (2012). "Evaluation of Performance and Reliability of a White Organic Light-Emitting Diode (WOLED) Using an Accelerated Life Test (ALT)". Journal of the KOSOS, Vol. 27, No. 4, pp. 13-19.
- [3] Kim, H. E., Kang, B. S., and Cho, Y. H. (2012). "Study on Acceleration Factor Model with Accelerated Stress Interactions". Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 36, Issue 7, pp. 751-757.
- [4] Chesterman, F. E., Piepers, B., Tom, K., Patrick, D. V., and Kristiaan, N. (2016). "Influence of Temperature on the Steady State and Transient Luminance of an OLED Display". Journal of Display Technology, Vol. 12, No. 11, pp. 1268-1277.
- [5] Lee, H. S., Kim, G. Y., and Park, Y. P. (2007). "Electrical Conduction Properties of OLED Device with Varying Temperature". Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 11, No. 12, pp. 2361-2365.
- [6] In, H. J. (2010). "External compensation methods of OLED degradation and driving TFT deviation for AMOLED displays". HanYang University.
- [7] Ishii, T. (2002). "Influence of temperature and drive current on degradation mechanisms in organic light-emitting diodes". Applied Physics Letters, Vol. 80, No. 18, pp. 3430-3432.
- [8] Kim, I. K. and Kim, H. S. (2005). "A study of highly accelerated life test for lcd tv". Institute of Industrial Technology Journal, Vol. 30, pp. 57-70.
- [9] Kim, J. G. and Song, J. M. (2011). "Research Results and Trends Analysis on Accelerated Testing for Ensuring High Reliability". Korea Safety Management and

- Science, Vol. 1, pp. 419-432.
- [10] Kim, J. T., Paek, K. K., and Ju, S. H. (2009). "Luminescent Properties of OLEO Devices with Various Substrate Temperatures". *Journal of the Korean Institute of Electronic Material Engineers*, Vol. 22, No. 11, pp. 956-960.
- [11] Lee, W. D. and Cho, G. H. (1996). "A Study on Goodness of Fit Test in Accelerated Life Tests". *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, Vol. 7, No. 1, pp. 37-46.
- [12] Hong, W. S., Song, B. S., Jeong, H. S., and Jeong, H. S. (2009). "Reliability Assessment Criteria of Organic Light Emitting Diode (OLED)". *Journal of Applied Reliability*, Vol. 9, No. 2, pp. 131-148.