

# 나노 셀 OLED의 열 분포 해석

장경욱 

가천대학교 전기공학과

## Thermal Distribution Analysis in Nano Cell OLED

Kyung-Uk Jang

Department of Electrical Engineering, Gachon University, Seongnam 13120, Korea

(Received February 14, 2024; Revised February 19, 2024; Accepted February 20, 2024)

**Abstract:** The key to determining the lifetime of OLED device is how much brightness can be maintained. It can be said that there are internal and external causes for the degradation of OLED devices. The most important cause of internal degradation is bonding and degradation in the excited state due to the electrochemical instability of organic materials. The structure of OLED modeled in this paper consists of a cathode layer, electron injection layer (EIL), electron transport layer (ETL), light emission layer, hole transport layer (HTL), hole injection layer (HIL), and anode layer on a glass substrate from top to bottom. It was confirmed that the temperature generated in OLED was distributed around the maximum of 343.15 K centered on the emission layer. It can be seen that the heat distribution generated in the presented OLED structure has an asymmetrically high temperature distribution toward the cathode, which is believed to be because the sizes of the cathode and positive electrode are asymmetric. Therefore, when designing OLED, it is believed that designing the structures of the cathode and anode electrodes as symmetrically as possible can ensure uniform heat distribution, maintain uniform luminance of OLED, and extend the lifetime. The thermal distribution of OLED was analyzed using the finite element method according to Comsol 5.2.

**Keywords:** OLED, Emission layer, Degradation, Thermal distribution, Comsol 5.2

### 1. 서론

OLED 소자의 수명 결정 인자는 휘도를 얼마나 유지시킬 수 있느냐가 관건이다. 지금까지 유기물의 열화 특성이 OLED 소자의 수명을 결정한다고 알려져 있다. OLED 소자의 열화에 대한 원인은 내부적인 원인과 외부적인 원인

이 있다고 할 수 있다. 내부 열화 원인 중 가장 주요한 것은 유기물질의 전기화학적 불안정성에 의한 여기상태에서 결합 및 열화가 진행된다. OLED 소자는 음극 전극 및 양극 전극에서 전자와 정공이 끊임없이 주입되어 박막 상태의 유기물질을 1초에 약 10억 번 이상 들뜨게 만든 후 빛을 생성시키는 원리로 동작한다. 유기 박막과 투명 양극 전극 또는 금속 음극 전극 사이에 접착력이 근본적으로 좋지 않기 때문에 구동 전압 및 온도가 높을 경우 계면(interface) 전압 차이 및 서로 다른 열팽창 계수 때문에 층간 분리가 일어나 OLED 소자가 열화된다고 알려져 있다 [1,2].

최근에는 OLED를 이용한 제품이 나오면서 OLED 소자

✉ Kyung-Uk Jang; [kujang@gachon.ac.kr](mailto:kujang@gachon.ac.kr)

Copyright ©2024 KIEEME. All rights reserved.  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 수명에 대한 지속적으로 문제가 제기되고 있으며, OLED가 다른 display에 비해서 색감, 반응 속도, 소비 전력, 두께 등 상품으로서의 가치가 높기 때문에 수명을 향상시키기 위한 연구가 계속되고 있다. OLED를 작동함에 따라서 발열의 균일성이 수명을 단축하게 되는 원인이 되는 것은 널리 알려져 있다. 또한 OLED의 열화 원인은 열 분포뿐만 아니라 양극의 표면 거칠기, 일함수, 표면의 순도에 따라서 결정된다. 특히, 균일한 발열 특성을 얻기 위해서는 OLED를 설계할 때 구조적으로 최적화된 구조로 설계하여야 하는 것은 주지의 사실이다 [3,4].

본 논문에서는 최적화된 OLED 구조를 구하기 위해서 설계된 OLED에 대해서 Comsol 5.2프로그램에 의한 열 분포 해석을 진행하여 열 분포의 균일도를 제시하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 OLED의 모델링

그림 1은 제작된 OLED의 구조를 보여주고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 OLED 유리 기판의 가로, 세로 크기는 각각 100 nm의 정사각형 셀로 정하여 모델링을 진행하였다 [5]. 그림에서 OLED의 구조는 유리 기판 위에 위에서부터 음극(cathode), 전자 주입층(EIL), 전자 전도층(ETL), 발광층(emission layer), 홀 전도층(HTL), 홀 주입층(HIL), 양전극(anode)으로 구성하였다. OLED 각 층에

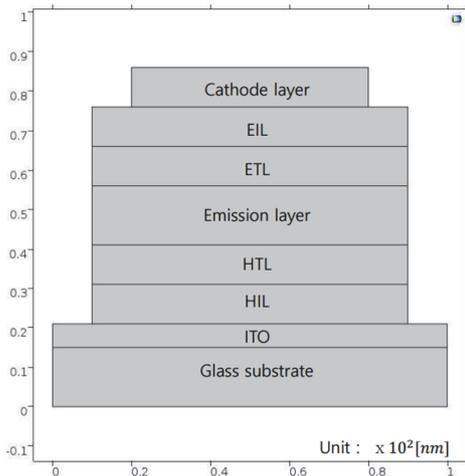


Fig. 1. Diagram of OLED.

Table 1. Materials using in OLED layers.

Layer	Material	Thickness [nm]
Cathode	Al	10
EIL	Alq <sub>3</sub>	10
ETL	BCP	10
Emission layer	PVK	15
HTL	TPD	10
HIL	CuPc	10
Anode	ITO	5

사용된 재료와 두께는 표 1과 같다.

이와 같이 모델링된 OLED 구조에 대해서 Comsol 5.2에 의해 유한요소법을 이용하여 OLED 동작 시 발생하는 열 분포 현상을 분석하기 위하여 해석을 진행하였다.

OLED에서 발생하는 온도는 대류와 복사에 의해 이루어지며, 수직 방향 디스플레이의 경우 총 전력에 따라 온도가 상승하게 된다 [6].

OLED에서 발생하는 발생 온도는 다음의 식 (1)에 의해 수치적으로 계산할 수 있다.

$$\frac{P}{A} = 2.6\Delta T_D \left[ 4.7\varepsilon + \left( \frac{\Delta T_D}{L_D} \Delta \right)^{0.25} \right] \quad (1)$$

여기서  $P/A \text{ W/m}^2$ 은 전력 밀도이고,  $\Delta T_D$  켈빈 온도 상승분,  $L_D$ 는 디스플레이 높이,  $\varepsilon$ 는 디스플레이 방사율을 나타낸다.

이렇게 발생된 열이 OLED 내부에서 어떻게 분포되는지 확인하기 위해서 그림 1과 같이 모델링된 OLED에 대해서 Comsol 5.2 프로그램을 통하여 다음의 지배방정식을 이용하여 해석을 진행하였다 [1,7].

$$e_a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + d_a \frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot (-c\nabla u - \alpha u + \gamma) + \beta \cdot \nabla u + \alpha u = f \quad (2)$$

$$\therefore \nabla = \left[ \frac{\partial}{\partial r}, \frac{\partial}{\partial z} \right]$$

수식에서  $u$ 는 원통좌표에서 변수  $r, \theta, z$  및  $t$ 의 함수,  $c$ 와  $\alpha$ 는 계수,  $f$ 는 외부 온도,  $e_a$ 는 특성 계수,  $d_a$ 는 감쇄 계수,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 물질의 열대류 계수,  $\gamma$ 는 열특성 계수를 나타낸다. 경계 조건은 Dirichlet를 사용하여 해석하였다 [7].

### 3. 실험 결과 및 검토

최적의 OLED 구조를 설계하기 위하여 유한요소 해석에 의한 OLED 동작 시 발생하는 열 분포 현상에 대해서 Comsol 5.2 해석 프로그램을 이용하여 제시된 OLED의 구조에 대해서 식 (2)의 지배 방정식을 이용하여 열 전달 특성을 해석하였다.

그림 2는 열 분포 해석을 하기 위해서 도입한 유한요소 법으로 진행한 메쉬 해석을 보이고 있으며, 그림 3은 OLED에서 발생된 열의 분포도를 보이고 있으며, 발생된 온도는 발광층을 중심으로 최고 343.15 K 부근에 분포하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 4는 OLED 중앙 수직 단면에 대해서 열 분포를 보이고 있으며, 최고 온도 343.153 K까지 이르는 것을 보이고 있다. 발광층 중심에서 최고 온도에 이르고 양전극으로 갈수록 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 전자 주입층과 정공 주입층의 단면 전체에 대해서 온도 분포를 나타내고 있다. 발광층이 있는 중심에서 최고 온도 343.153 K를 보이고 있다.

그림 6은 발광층의 단면에 대해서 열 분포도를 보이고 있으며, 음전극과 양전극을 비교했을 때 음전극 쪽으로 온도 분포가 비대칭적으로 높게 분포하는 것을 확인할 수 있으며 이는 음전극과 양전극의 크기가 구조적으로 비대칭으로 이루어져 있기 때문인 것으로 판단된다.

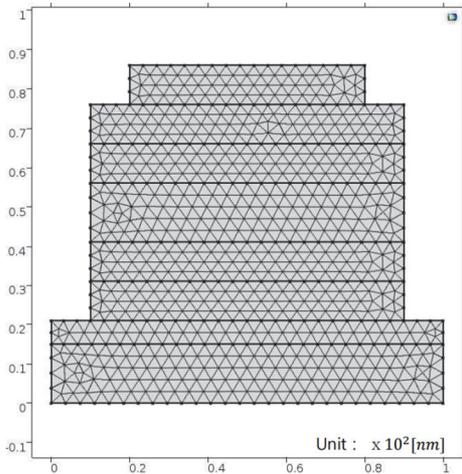


Fig. 2. Mesh analysis of OLED.

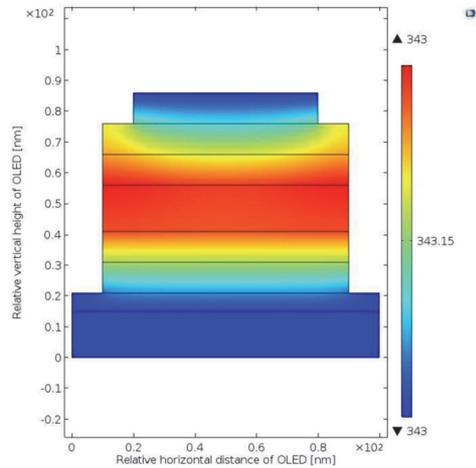


Fig. 3. Thermal distribution of OLED.

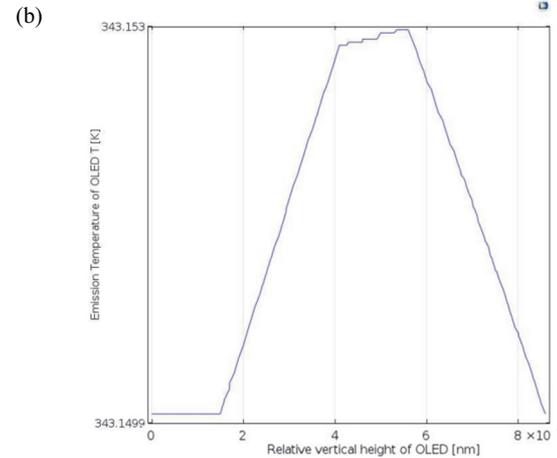
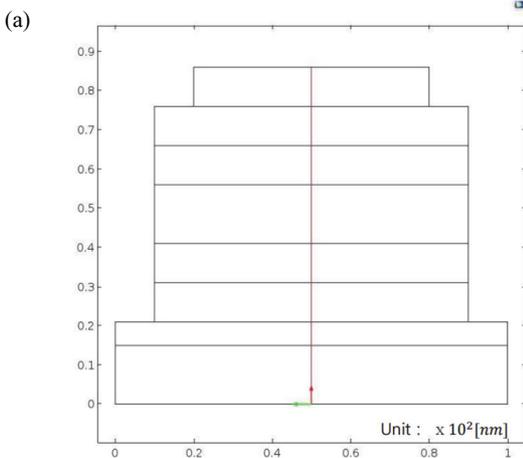


Fig. 4. Emission temperature of OLED center section: (a) cross section position and (b) thermal distribution.

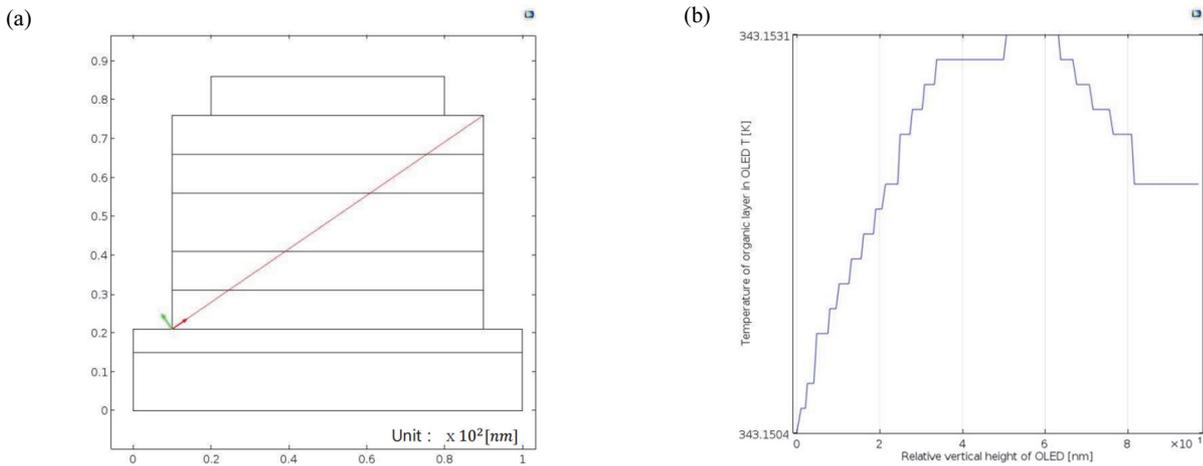


Fig. 5. Thermal distribution of organic layer: (a) cross section position and (b) thermal distribution.

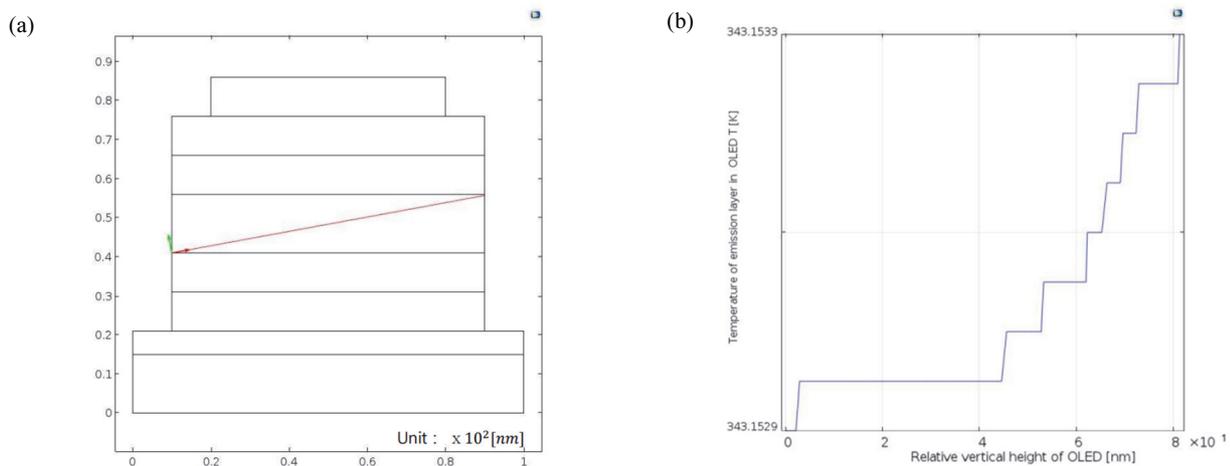


Fig. 6. Thermal distribution of emission layer: (a) cross section position and (b) thermal distribution.

#### 4. 결론

본 논문에서 모델링된 OLED의 구조는 유리 기판에 위에서부터 음극층(cathode layer), 전자 주입층(EIL), 전자 전도층(ETL), 발광층(emission layer), 홀 전도층(HTL), 홀 주입층(HIL), 양전극층(anode layer)으로 구성하였으며, 제시된 OLED에 대해서 Comsol 5.2를 이용하여 열 해석을 진행하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) OLED에서 발생된 온도는 발광층을 중심으로 최고 343.15 K 부근에 분포하는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 제시된 OLED 구조에서 발생된 열 분포는 음전극 쪽으로 온도 분포가 비대칭적으로 높게 분포하는 것을 확인할 수 있으며 이는 음전극과 양전극의 크기가 비대칭으로 이루어져 있기 때문인 것으로 판단된다.

위의 결과를 바탕으로 OLED를 설계할 때 가능한 음전극과 양전극의 구조를 대칭으로 설계하는 것이 열 분포를 균일하게 할 수 있으며, 이는 OLED의 휘도를 균일하게 유지하며 수명을 연장할 수 있는 요인으로 판단된다.

#### ORCID

Kyung-Uk Jang

<https://orcid.org/0000-0002-0599-8370>

#### REFERENCES

- [1] M. Slawinski, D. Bertram, M. Heuken, H. Kalisch, and A. Vescan, *Org. Electron.*, **12**, 1399 (2011).

- doi: <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2011.05.010>
- [2] Z. Kohári, E. Kollár, L. Pohl, and A. Poppe, *Microelectron. J.*, **44**, 1011 (2013).  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2012.05.015>
- [3] B. Su, Y. Wang, B. Feng, Y. Yan, E. Zhu, B. Wang, and G. Che, *Chin. J. Phys.*, **55**, 350 (2017).  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cjph.2016.12.009>
- [4] K. Diekmann, *ATZ Worldwide*, **115**, 36 (2013).  
doi: <https://doi.org/10.1007/s38311-013-0042-6>
- [5] N. Katz, A. Arango, and J. Hudgings, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, **26**, 194 (2014).  
doi: <https://doi.org/10.1109/LPT.2013.2291841>
- [6] M. H. Michael Lu, M. Hack, R. Hewitt, M. S. Weaver, and J. J. Brown, *J. Disp. Technol.*, **4**, 47 (2008).  
doi: <https://doi.org/10.1109/JDT.2007.900924>
- [7] Altsoft, COMSOL Multiphysics Version 4.0, *Sealing Technol.*, **2010** (2010).  
doi: [https://doi.org/10.1016/S1350-4789\(10\)70335-4](https://doi.org/10.1016/S1350-4789(10)70335-4)