

OLED 증착용 서큘러소스의 열적성능 해석

주영철^{†*} · 한충환^{**} · 엄태준* · 이상욱* · 김국원*

^{†*}순천향대학교 기계공학과, ^{**}순천향대학교 대학원 기계공학과

Thermal Performance Analysis of Circular Source for OLED Vapor Deposition

Youngcheol Joo^{†*}, Choong Hwan Han^{**}, Tai Joon Um*
Sang Wook Lee* and Kug Weon Kim*

^{†*}Dept. of Mechanical Engineering, Soonchunhyang University

^{**}Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Soonchunhyang University

ABSTRACT

Temperature distribution of the circular heat source was studied by analyzing the heat transfer of the environment of the circular source for OLED. Circular nozzle source was used to fabricate thin organic layer as the organic material in it was heated, vaporized and deposited to the large size panel. A modified heater structure of circular source has been suggested. The results of numerical analysis shows that the modified heater structure can use 15% more powder in a batch than the original heater structure does. Moreover, the modified heater structure can improve the uniformity of organic vapor deposition by controlling the temperature.

Key Words : Circular source, Computational fluid dynamics, Evaporation, Heat transfer, OLED

1. 서 론

유기발광다이오드(organic light emitting diode, OLED)는 다른 디스플레이에 비해 밝고 색 재현성이 뛰어나며 시야각이 넓고 응답속도도 빠르며 얇고 가벼운 등 많은 장점을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 LCD나 PDP와 같은 다른 디스플레이 매체에 비해 상용화가 늦은 것은 수명이 짧고 대형화가 어렵다는 제조공정상의 기술적인 문제점을 극복하지 못하였기 때문이다 [1,2]. 제조공정상에서 해결해야 할 과제중의 하나는 증착작업시 유기물의 증착효율을 높이는 것이다. 평판이 대면적화 할수록 유기물층의 균일화와 유기물의 수율을 높이는 기술이 요구되고 있기 때문이다.

서큘러소스는 Alq₃와 같은 유기물을 평판에 박막으로 증착하는 열원으로 사용된다. 크루시블(crucible, 도가니) 안에 있는 유기물 분말은 고진공환경에서

250~300°C로 가열되고, 승화되어 평판에 물리적으로 증착된다. 유기물 증착의 균일도를 높이기 위하여 크루시블의 위부분에 임의의 형상의 노즐을 장착하여 승화된 유기물이 고르게 퍼질 수 있도록 한다. 노즐의 형상은 유기물의 종류와 승화 속도, 서큘러소스와 기관과의 거리, 증착 속도 등 여러 가지 운전조건에 따라 최적의 형상이 달라지며, 시행착오에 의해서 최적의 형상을 구하고 있다. 흑연 소재의 크루시블은 바깥부분의 하우징에 의해 보호되고 있다. 가열을 위한 일반적인 히터는 응축된 유기물이 크루시블에 달라붙지 않도록 윗부분에 위치하고 있다. 히터의 온도는 온도제어기에 의해 조절되는데, 유기물의 양에 따라 적절한 온도곡선을 유지하도록 하고 있다. 유기물이 승화되어 분말의 높이가 낮아질수록 크루시블 아래 부분까지 열전달이 되도록 온도를 증가시키게 된다. 그러나 유기물 분말의 잔량이 적을 때 크루시블 밑부분에 남아있는 유기물 분말을 승화시키기 위하여 히터에 너무 많은 열을 가하면 히터에서 나온 열이 소스의 위부분에 위치하고 있는 노

[†]E-mail : ychjoo@sch.ac.kr

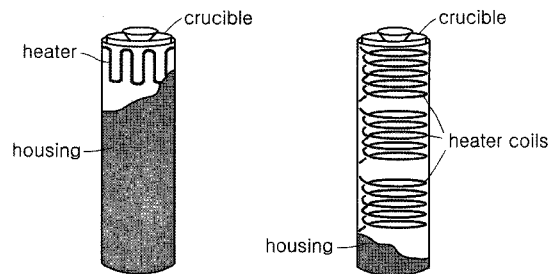
줄에 전달되고 복사열전달 형태로 유기물이 증착된 기관에 전달되어 유기물 증착의 균일도에 악영향을 끼치는 문제가 발생한다.

유기물의 수율과 증착의 균일도를 높이기 위한 새로운 서큘러소스의 히터구조가 엄태준 등에 의해서 제시되었다[3]. 기존의 히터는 크루시블의 상부에서 가열을 하여 유기물의 증발에 따른 분말의 높이변화에 대처를 잘 하지 못하였으나, 새로운 히터는 높이 방향으로 새개의 히터로 나누어져 유기물 분말의 높이에 따른 최적의 온도분포를 유지할 수 있게 하였다.

본 연구에서는 새로운 히터구조가 기존의 히터구조에 비해 얼마나 최적의 온도조건을 유지할 수 있는지를 전산해석을 통하여 구하고자 하며, 이에 따라 운전효율을 높일 수 있다는 것을 보이고자 한다.

2. 서큘러소스 히터구조의 개선

평판에 유기물을 균일하게 증착시키기 위해서 서큘러소스를 사용하는데, 유기물 가열에 사용되는 히터의 기존구조는 Fig. 1(a)와 같이 상부에 집중적으로 배치되어 있다. 즉, 크루시블과 하우징 사이 공간 위부분에 자리잡고 있어 유기물이 응축되지 못하도록 하는데 초점이 맞추어져 있다[4, 5]. 그림에서 볼 수 있듯이 지그재그 형상의 코일이 위부분에 배치되어 있어 열이 위부분에만 집중될 가능성이 있다. 크루시블에 유기물이 가득 들어 있을 때는 위부분을 가열하면 유기물 분말에 열이 전달되어 분말이 승화되지만, 공정이 점점 더 진행됨에 따라 분말이 승화되어 분말의 높이가 낮아지면 히터에 더 많은 열을 가하여야지만 분말까지 열이 전달되어 승화가 일어난다. 이때 너무 과도한 열이 전달되면 노즐의 온도가 올라가 과열될 수 있으며 노즐의 과열은 기관에 복사열로 전달되어 균일한 유기물 증착에 악영향을 끼친다. 또한 노즐의 온도가 너무



(a) Original heater structure (b) Modified heater structure

Fig. 1. Heater structure of circular source.

낮으면 승화된 분말이 서큘러소스에서 모두 방출되지 못하고 노즐에 응고되어 분말의 효율적 사용을 저해하고 유기물 증착의 균일도를 떨어뜨리게 된다.

새로 제안된 히터코일은 Fig. 1(b)와 같이 3개의 코일을 상하로 배치하는 것이다. 각각의 코일은 온도제어를 통하여 다르게 제어할 수 있으므로 필요한 온도분포를 얻는 것이 보다 용이하다. 분말의 높이가 낮을 때 아래에 있는 히터로 분말이 승화하는데 필요한 열을 공급하고 위부분의 히터는 노즐의 온도가 너무 낮아 승화된 분말이 응축되지 않을 정도로 노즐을 가열하면 기존의 히터구조에서 발생한 문제를 해결할 수 있다.

3. 열전달 해석

3.1. 모델링

서큘러소스의 온도분포를 일반적인 전산유체해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 해석하였다. 전산해석의 첫째 과정은 대상물의 모델링 및 메쉬를 생성하는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 GAMBIT 프로그램을 사용하였다. 서큘러소스의 형상은 θ 방향으로 대칭이므로 계산시간과 메모리를 절약하기 위해 $r-z$ 평면의 2차원으로 모델링하였다(Fig. 2(a)). 노즐은 표준화된 형상이 없고 운전조건에 따라 여러 가지 형상의 노즐

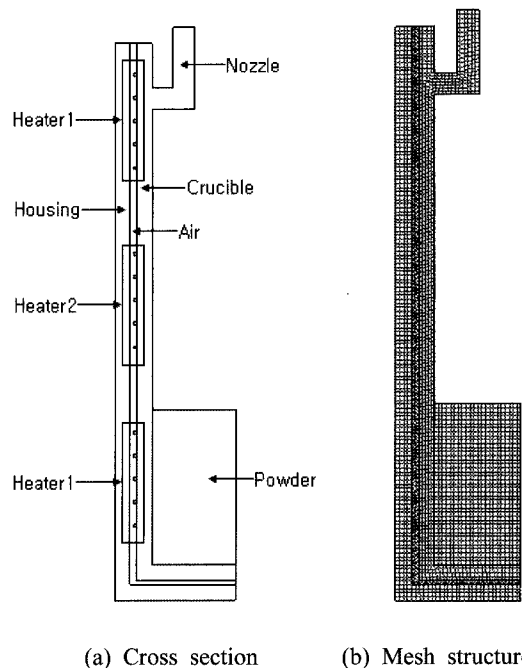


Fig. 2. Modeling of circular source for modified heater structure.

을 장착하여 사용하므로 그림에서 나타낸 바와 같이 단순화시켰다. Fig. 2(b)는 서큐러소스의 메쉬구조를 보여 주고 있고, Table 1은 메쉬개수와 각 부분의 재질을 나타내고 있다. 메쉬의 개수를 Table 1의 메쉬개수보다 4배 증가시켜 해석을 하였을 때 온도의 차이가 가장 큰 부분이 0.3% 이하이어서 Table 1의 메쉬개수를 본 연구의 해석에 사용하였다.

Table 1. Mesh structure and material of each parts

부분	메쉬형태	개수	재질
분말	사변형	880	고분자
크루시블	사변형	933	흑연
공기	삼각형	615	공기
하우징	삼각형	680	스테인레스스틸
합계		3108	

3.2. 온도분포 해석

히터의 재질은 탄탈(Ta)이 사용되고 있다. 탄탈의 실제 비저항을 히터코일의 저항을 측정 한 결과 $2.2 \times 10^{-7} \Omega m$ 의 값을 얻었다. 소비전력은 10W가 인가되었을 때 36W이다. 열은 히터코일에 의해 균일하게 발생하는 것으로 가정하였다.

히터에서 발생한 열은 전도에 의해 크루시블을 통하여 유기물인 고분자분말에 전달된다. 유기물분말의 중심선은 대칭이므로 단열되는 것으로 본다. 크루시블 위 부분의 안쪽은 분말과 접촉하지 않는 부분으로 열복사로 크루시블 반대편에 복사에너지 전달한다. 그런데, 반대편에서도 같은 에너지가 복사되므로 크루시블 벽은 단열로 볼 수 있다. 하우징 안쪽으로는 히터로부터 열이 복사된다.

크루시블의 상부에 장착되어 있는 노즐은 표준화된 형상이 없고 여러 가지 형상중에서 운전조건에 따라 최적의 형상을 시행착오로 선택하여 사용한다. 노즐의 중앙부에 큰 구멍이 있어서 대부분의 승화된 유기물이 중앙부에서 나오지만 중앙의 큰 구멍 외에도 원주방향으로 여러 개의 작은 구멍을 뚫어 유기물이 넓고 고르게 기판에 증착되도록 한다. 노즐을 다공성의 물질로 가정하여 열전도율을 그래파이트의 1/4로 가정하였다.

유기물이 증착되는 증착챔버의 내부는 10^{-9} 기압 정도의 고진공상태이므로 공기에 의한 전도와 대류는 거의 무시할 만하다. 하우징 재질은 4겹으로 되어있어 열전도도는 아주 작다. 하우징 외벽으로부터는 상온의 주변으로 복사에 의해 열이 발산되는 것으로 가정하였다.

서큐러소스에 대한 지배방정식은 2차원 전도방정식

으로 다음과 같다[6].

$$k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q} = 0 \tag{1}$$

여기서 T 는 온도, k 는 각 부분의 열전도계수, \dot{q} 는 히터의 열발생율이다. 하우징벽의 방사율은 표면이 아주 매끄러운 점을 고려하여 0.17을 사용하였다.

시뮬레이션 결과에 의한 개선전 히터구조의 서큐러소스 온도분포를 Fig. 3(a)에 나타내었다. 히터에서 발생한 열은 크루시블을 통해 유기물 분말로 전해진다. 유기물 분말의 온도는 약 300°C로 승화가 일어난다. 또한 히터에서 발생한 열은 복사열전달을 통하여 하우징에 전달되고 하우징에서 상온의 주변으로 발산되지만 하우징 바깥면의 온도가 높지 않을 것을 보면 하우징의 단열효과가 좋아 하우징에서 누출되는 열이 많지 않음을 알 수 있다. 그런데 히터에서 발생하는 열은 크루시블 상부에 장착되어 있는 노즐에도 전달되어 노즐의 온도가 상당히 올라가 있는 것을 알 수 있다. 유기물 분말의 잔량이 40%인 Fig. 3(a)에서 노즐의 온도는 300°C로 최적의 온도인 270°C 보다는 높음을 알 수 있다.

Fig. 3(b)에 개선된 히터구조의 서큐러소스 온도분포를 나타내었다. 개선된 히터구조에서는 유기물 분말 승화에 필요한 대부분의 열을 제일 아래에 있는 히터에서 공급하고 제일 상부에 있는 히터에서는 노즐이 너무 냉각되어 노즐 표면에 승화된 유기물이 응착되지

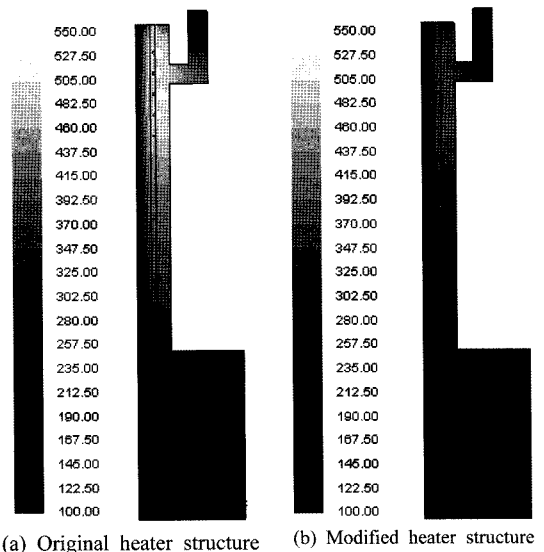


Fig. 3. An example of temperature distribution of circular source of original and modified heater structure (powder 40%).

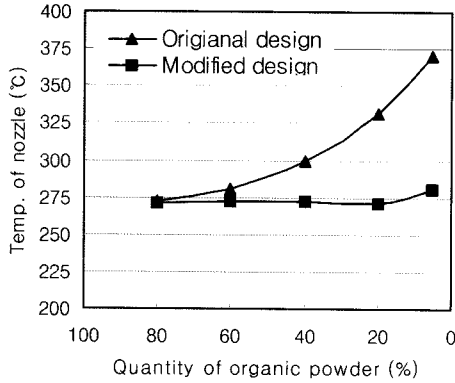


Fig. 4. Distribution of nozzle temperature for original and modified heater structure with the variation of organic powder.

않을 정도의 열만 가하면 되므로 노즐의 온도를 최적 온도인 270°C로 유지할 수 있다.

4. 개선된 히터구조의 운전효율 개선

기존의 히터구조에서는 유기물이 증발함에 따라 유기물 분말의 적층 높이가 낮아져 분말의 표면에 승화에 필요한 온도로 가열하기 위해서는 히터가 더 많은 열을 공급하여야 한다. 그러나 히터에서 공급된 열은 분말만 가열하는 것이 아니라 노즐에 전달되어 노즐의 온도를 필요 이상으로 가열시켜 유기물의 균일한 증착에 악영향을 주게 된다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 유기물 분말의 잔량이 40%보다 낮아지면 노즐의 온도가 높아지기 시작하여 분말의 잔량이 20%일 때는 노즐의 온도가 330°C로 너무 많이 올라가게 된다. 따라서 유기물 분말의 잔존량이 20% 정도일 때 운전을 멈추고 분말을 교체하여야 하였다. 그러나 Fig. 4에서 보는 바와 같이 개선된 히터구조에서는 유기물의 잔존량이 5% 일 때에도 노즐의 온도분포를 270°C로 유지할 수 있다. 따라서 개선된 히터 구조에서는 유기물을 15%나 더 사용할 수 있어서 고가의 유기물 분말의 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 한번 서플러소스에 분말을 장착하고 처리할 수 있는 기관의 수가 늘어나서 높은 운전효율을 기대할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 유기물 분말의 사용 효율을 높이고 증착의 균일도를 높이기 위한 서플러소스의 새로운 히터구조를 제안하였다. 전산유체해석을 한 결과 기존의 히터구조보다 유기물 분말의 다양한 높이에 대해 노즐의 온도를 최적상태로 유지할 수 있어서 유기물의 증착 균일도를 증가시킬 수 있음을 알았다. 또한 유기물을 15% 정도 더 많은 양을 사용할 수 있어서 비용절감을 할 뿐만 아니라 운전효율도 높일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 본 연구는 산업자원부 지정 순천향대학교 차세대BIT무선부품지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 이준신, 김도영, “평판 디스플레이 공학”, 홍릉과학출판사, pp.157-198, 2005.
2. 키도 준지, “유기EL”, 광문각, pp.193-212, 2004.
3. 임태준, 주영철, 김국원, 이상욱, “대면적 OLED증착용 서플러소스의 성능개선,” 한국산학기술학회논문지, Vol. 7, No. 5, pp.759-765, 2006.
4. M. Baldo, M. Deutsch, P.E. Burrows, H. Gossenberger, M. Gersterberg, V. S. Ban, and S. R. Forrest, “Organic Vapor Deposition,” *Advanced Materials*, Vol. 10, No. 18, pp.1505-1514, 1998.
5. M. Shtein, P. Peumans, J.B. Benziger, S. R. Forrest, “Micropatterning of Small Molecular Weight Organic Semiconductor Thin Films Using Organic Vapor Phase Deposition,” *Journal of Applied Physics*, Vol. 93, No. 7, pp.4005-4016, 2003.
6. F. P. Incropera, D. P. DeWitt, L. B. Theodore, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed., New York, John Wiley & Sons Inc., 2006.