

OLED 증착을 위한 선형증발원 히터 위치선정

Selection of Heater Location in Linear Source for OLED Vapor Deposition

주영철*, 한충환, 엄태준, 이상욱, 김국원, 권계시

(Youngcheol Joo, Choong Hwan Han, Tai Joon Um, Sang-Wook Lee, Kug Weon Kim, and Kye-Si Kwon)

Abstract : Organic light emitting diode(OLED) is one of the most promising type of future flat panel display. A linear source is used to deposit organic vapor to a large size OLED substrate. An electric heater which is attached on the side of linear source heats the organic powder for the sublimation. The nozzle of heater, which is attached at the top of the linear source has an optimal temperature. An numerical analysis has been performed to find optimal heater position for the optimal nozzle temperature. A commercial CFD program, FLUENT, is used on the analysis. Two-dimensional and three-dimensional analysis have been performed. The analysis showed that the heater should be attached at the outer side of crucible wall rather than inner side of housing, which was original design. Eighteen millimeter from the top of the linear source was suggested as the optimal position of heater. Improving thermal performance of linear source not only helps the uniformity of organic vapor deposition on the substrate but also increase productivity of vapor deposition process.

Keywords : OLED, linear source, heat transfer, thermal analysis, CFD, heater, vapor deposition

I. 서론

유기발광다이오드(Organic Light Emitting Diode, OLED)는 다 른디스플레이에 비해 밝고 색 재현성이 뛰어나며 시야각이 넓고 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 유기물의 수율을 높이는 기술이 요구되고 있기 때문이다. 기존에는 서클러소스(circular source)라는 점 증발원을 이용하여 유기물을 기판에 증착시켰다[3,4]. 그러나 기판이 대형화됨에 따라 점 증발원으로는 넓은 면적을 균일하게 증착시키는데 한계가 있어서 새로운 증착 방법이 요구되고 있다.

선형증발원(linear source)은 선형의 증발원을 이용하여 넓은 면적의 기판에 유기물을 증착시키는 새로운 방법이다. 즉, 그림 1에서 나타낸 바와 같이 기판의 폭 방향으로 유기물이 고르게 증발하게 하고 기판이나 선형증발원을 길이 방향으로 이동시켜 넓은 면적의 균일한 유기물 증착막을 얻는 방법이다. 이 선형증발원에는 크루시블(도가니)의 측면에 히터가 장착되어 있어서 크루시블 내부에 담겨있는 유기물 분말의 승화에 필요한 열을 공급한다. 승화된 유기물은 선형증발원의 상부에 있는 노즐을 통해서 고르게 퍼져나가 기판에 증착된다. 이때 노즐의 온도가 너무 낮으면 승화된 유기물 증기가 노즐에서 응축되어 증착을 방해하고, 반대로 너무 온도가 높

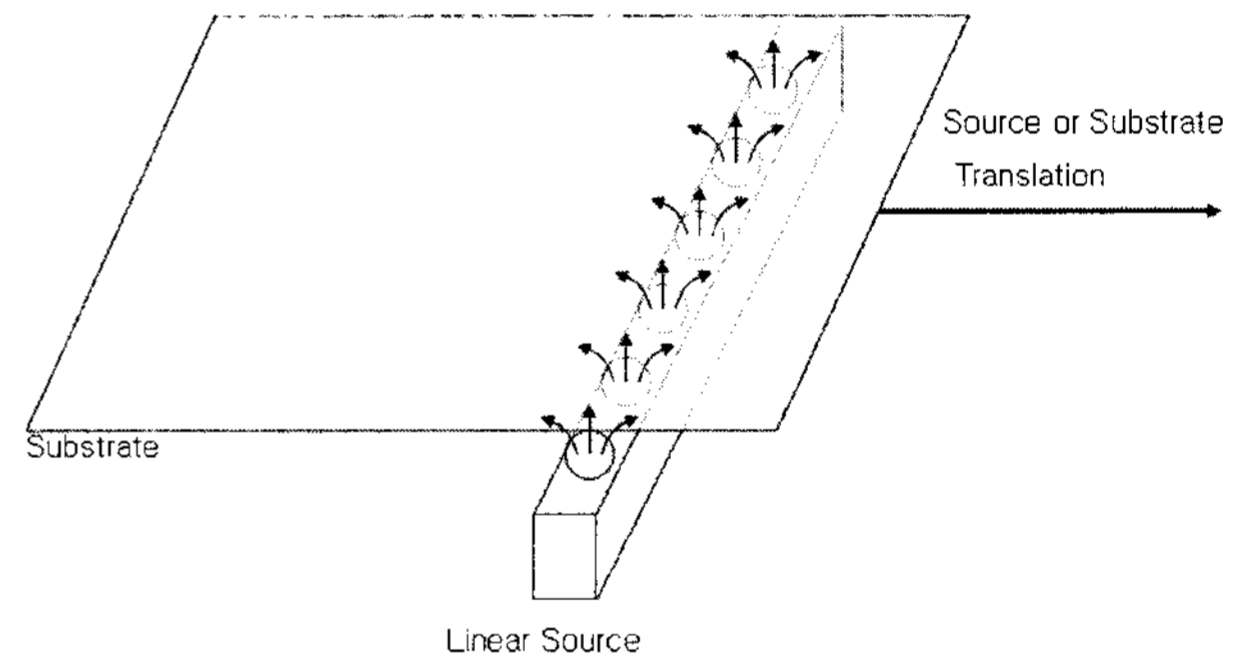


그림 1. 선형증발원의 구동개념.

Fig. 1. Operation concept of linear source.

으면 기판에 복사열이 전달되어 기판의 온도를 적정온도 이상으로 가열하여 균일한 유기물 증착을 방해하게 된다. 따라서 히터의 위치를 적당히 하여 유기물을 잘 승화시키면서 노즐의 온도를 최적온도로 유지하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 전산해석을 통하여 선형증발원의 열적 성능을 해석하고 이를 바탕으로 히터의 적당한 위치를 구하여 선형증발원 개발에 도움이 되고자 한다.

II. 선형증발원의 구조와 모델링

선형증발원의 구조를 그림 2에 나타내었다. 선형증발원의 모든 구조물은 단열성이 뛰어난 스테레스스틸 재질로 만들어진 하우징안에 장착되어있다. 하우징 내부 벽면의 위부분에 히터 고정편이 있어서 히터를 장착하게 되어 있다. 히터는 탄탈(Ta) 재질의 코일을 지그재그 형상으로 만들어 편에 부착하게 되어 있다. 하우징의 내부에는 고열에 견딜 수 있는 흑연 재질로 만들어진 크루시블(도가니)이 있고 이 안에 유기물 분말이 담겨있다. 히터에서 발생한 열은 복사열전달로 크루시블에 전달되고 이 열은 다시 유기물 분말에 전달되어 유기물 분말의 표면 온도가 300°C가 되면 유기물이 승화하게 된다. 선형증발원의 윗면에는 승화된 유기물 기체가 고

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 31., 채택확정 : 2008. 2. 24.

주영철, 한충환, 엄태준, 이상욱, 김국원, 권계시 : 순천향대학교 기계공학과

(ychjoo@sch.ac.kr/hch0928@nate.com/tjoonum@sch.ac.kr/swlee@sch.ac.kr/kimkug1@sch.ac.kr/kskwon@sch.ac.kr)

※ 본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT04-01-02) 지원으로 수행되었음.

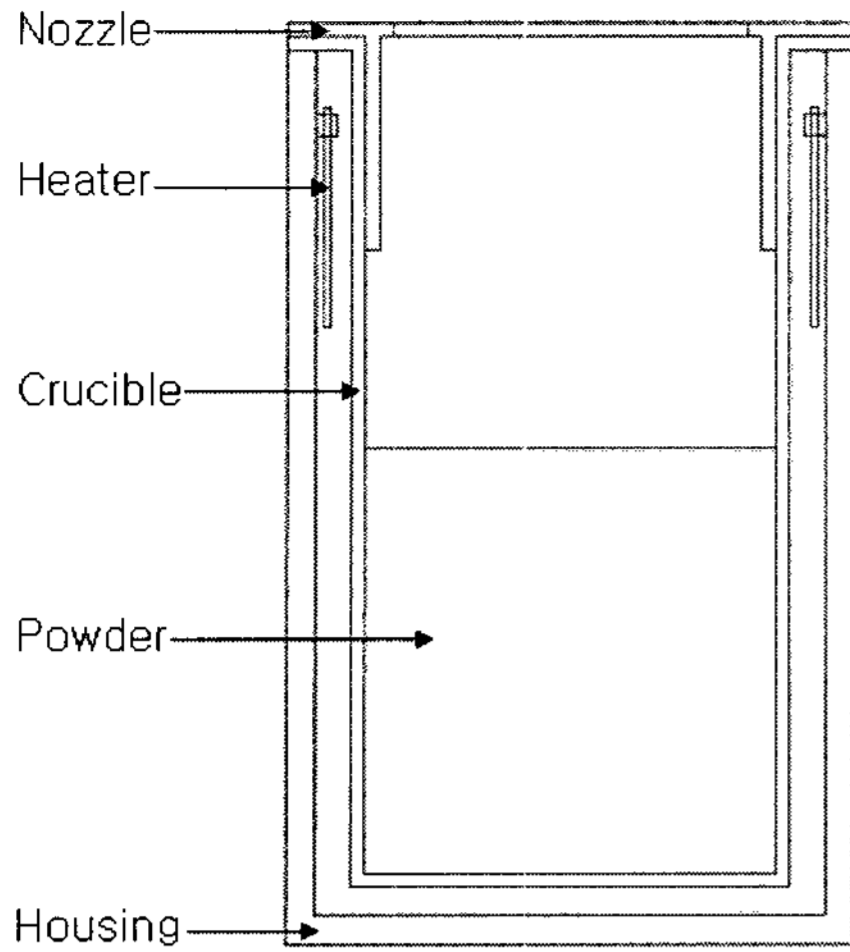
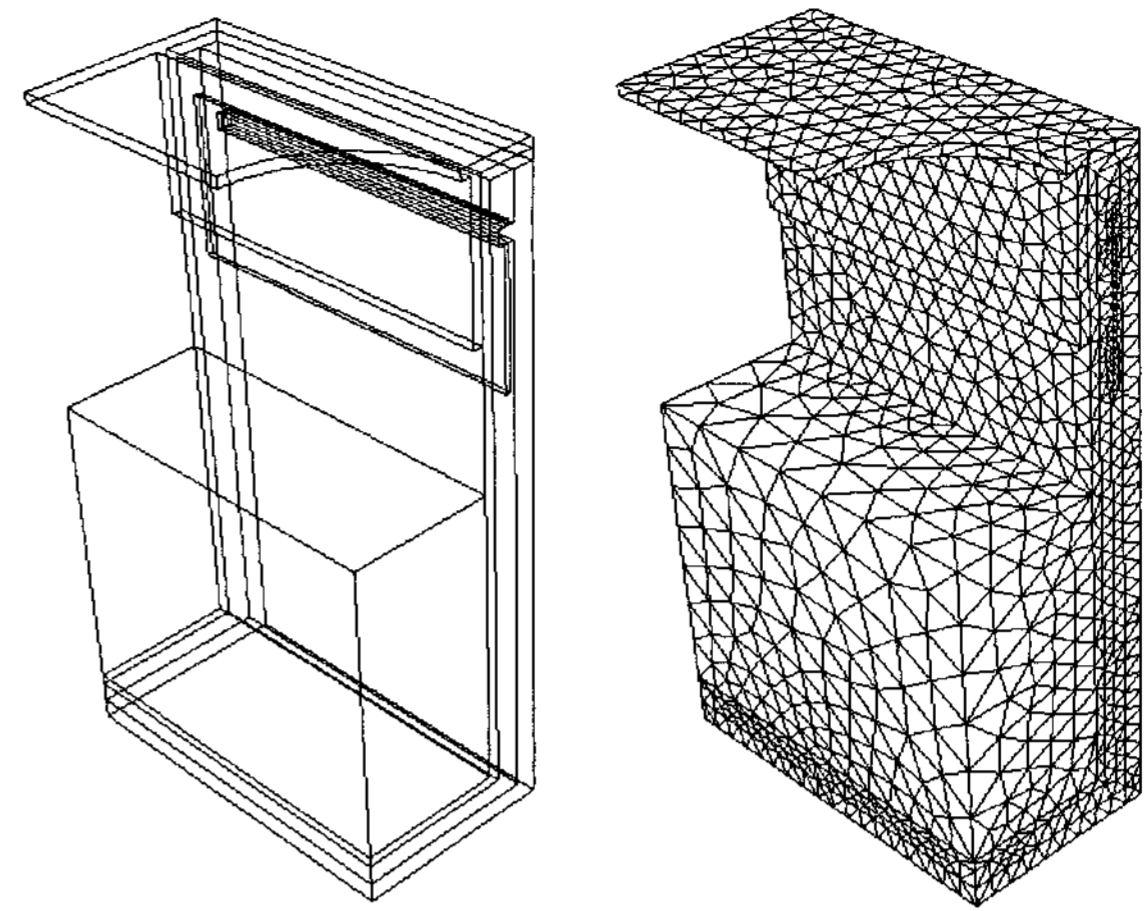
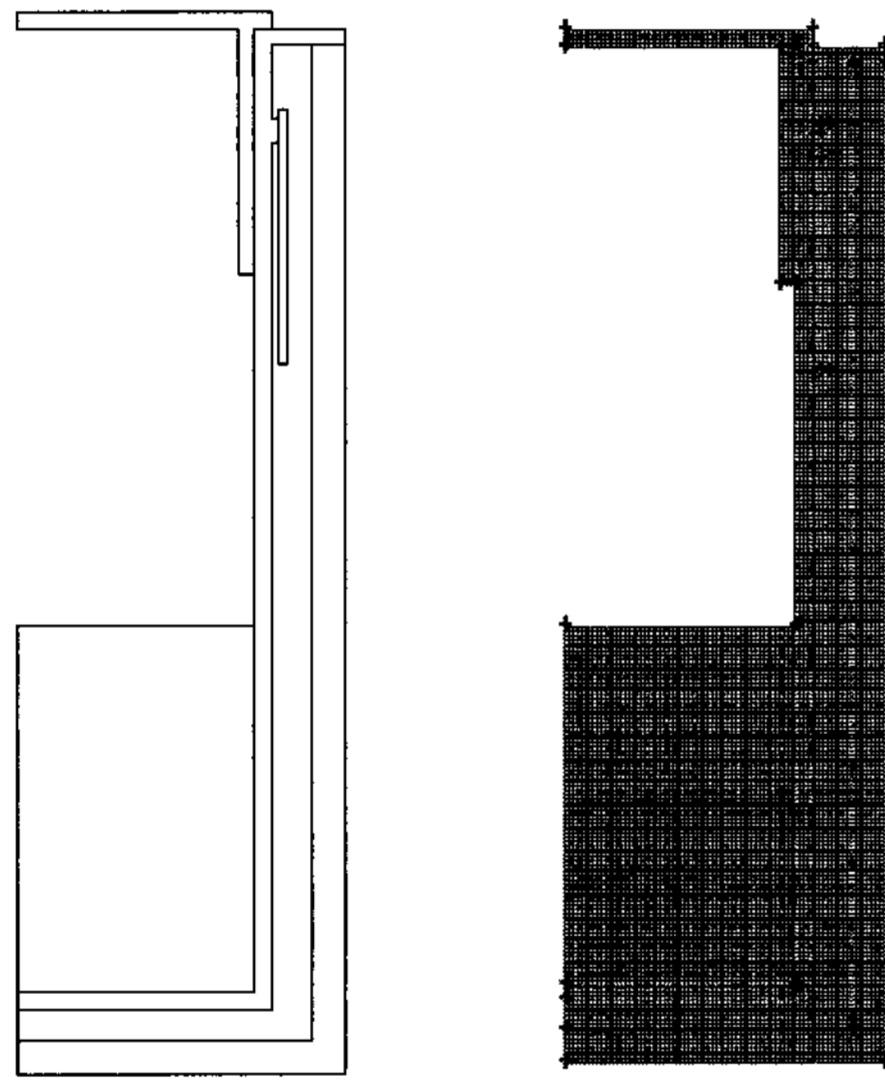


그림 2. 선형증발원의 구조.
Fig. 2. Structure of linear source.



(a) 모델링 (b) 격자구조

그림 4. 3차원 모델링 및 격자구조.
Fig. 4. Three-dimensional modeling and mesh structure.



(a) 모델링 (b) 격자구조

그림 3. 2차원 모델링 및 격자구조.
Fig. 3. Two-dimensional modeling and mesh structure.

르게 퍼져나가 기관에 균일하게 증착되도록 원형의 구멍이 뚫린 노즐이 길이 방향으로 배열되어 있다. 전체적인 선형증발원과 기관은 2×10^{-10} 기압의 고진공 상태인 커다란 챔버 내부에 위치하고 있다.

선형증발원의 온도분포 경향과 최적의 히터위치를 선정하기 위해서 이차원 해석을 하였다. 선형증발원의 단면이 좌우 대칭이므로 그림 3(a)에 나타낸 바와 같이 단면의 오른쪽 반만 모델링하고 해석하였다. 선형증발원 상부에 노즐 구멍이 반복적으로 분포되는데 구멍이 없는 부분의 단면과 구멍의 폭이 가장 큰 단면의 온도를 해석한 결과 노즐의 온도는 2°C 이내의 차이밖에 보이지 않았다. 본 연구에서는 구멍이 없는 부분의 온도분포를 해석하였다. 그림 3(b)에 격자구조를 나타내었다.

좀 더 자세한 온도분포 해석을 위하여 선형증발원 온도분포의 삼차원 해석을 하였다. 선형증발원이 좌우 대칭이고 노

표 1. 각 부분의 격자구조와 재질.

Table 1. Mesh structure and material of each parts.

부분	격자형태	개수	재질
분말	사면체	31200	고분자
크루시블	사면체	21306	흑연
노즐	사면체	5013	흑연
히터	사면체	3951	탄탈륨
하우징	사면체	12161	스테인레스스틸
공기(1)	사면체	29554	고진공
공기(2)	사면체	14521	고진공
합계		117706	

즐 구멍이 길이방향으로 같은 패턴으로 되풀이되므로 메모리 용량을 줄이고 계산 시간을 단축하기 위하여 그림 4(a), (b)와 같이 모델링하고 격자구조를 만들었다. 복잡한 구조의 히터, 노즐, 분말을 잘 나타내기 위해서 크루시블 내부의 분말 위 부분은 그림에서 생략하였다. 표 1에 각 부분의 격자형태와 재질을 나타내었다. 공기(1)은 하우징과 크루시블 사이의 공간이고 공기(2)는 크루시블 내부의 분말 위 부분으로 모두 2×10^{-10} 기압의 고진공 상태의 공기이다.

III. 열전달 해석

열유체 전용 전산해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 선형증발원의 온도분포를 해석하였다. 히터에 가하는 열량을 변화시키면서 시행착오법으로 유기물 분말 표면의 온도가 유기물의 승화온도인 300°C 에 도달했을 때의 온도분포를 구하였다. 그림 5(a)에 분말의 높이가 전체 크루시블 높이의 60%에 해당할 때의 온도분포를 나타내었다. 이때 노즐의 온도는 220°C 로 승화된 유기물이 응축될 수 있는 낮은 온도이다. 이는 히터가 하우징에 부착되어 있어서 발생한 열이 노즐에 잘 전달되지 않고 그나마 전달된 열은 복사열전달을 통하여 외부로 너무 많이 빠져나가 발생하는 현상으로 사료된다.

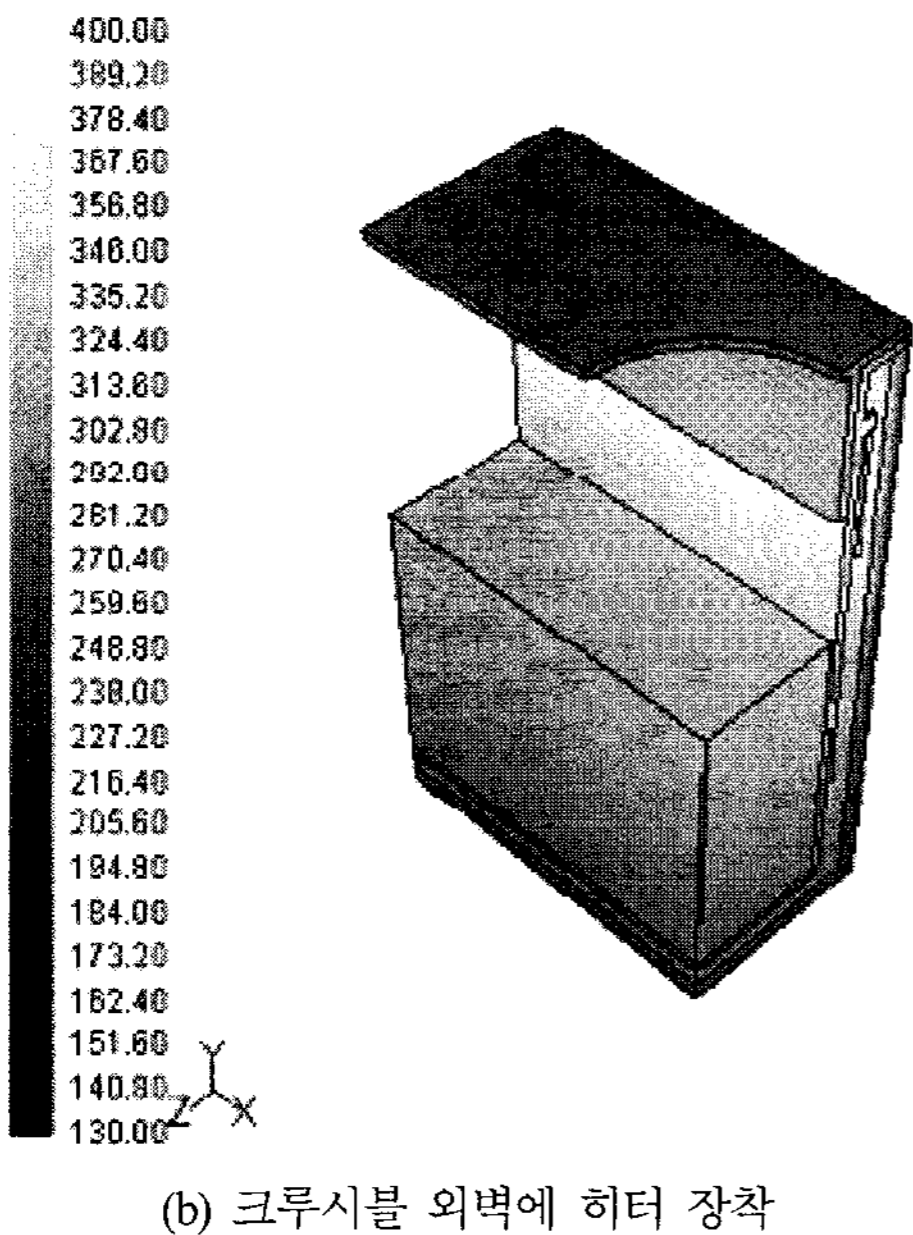
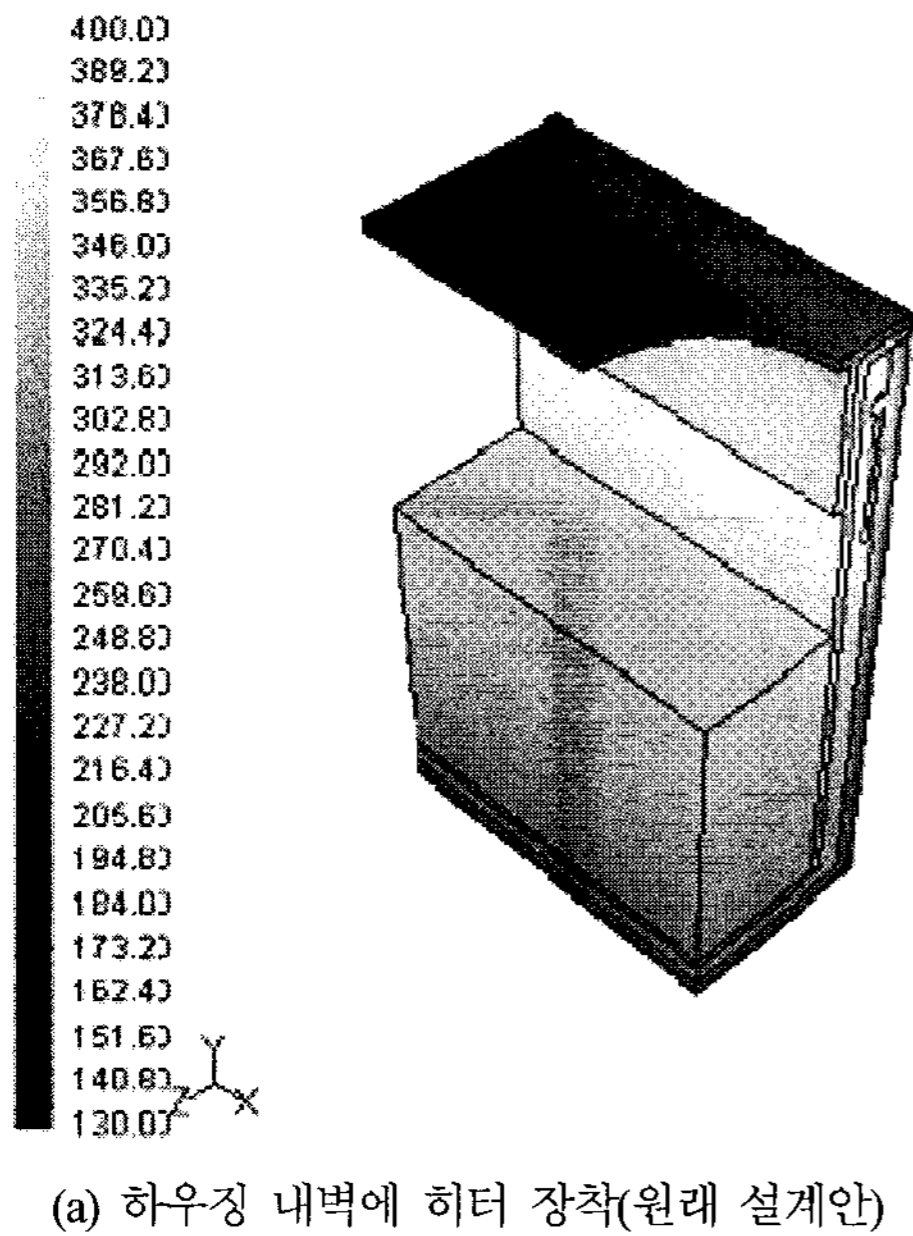


그림 5. 선형증발원의 온도분포.
Fig. 5. Temperature distribution of linear source.

이를 해결하기 위해 히터의 부착위치를 하우스징 내부 벽면이 아닌 크루시블의 외부 벽면으로 바꾸어서 온도분포를 해석하였다. 하우스징의 내부 벽면에 히터를 장착하는 것보다 크루시블의 외부에 장착하는 것이 장치를 만드는 것도 약간의 어려움이 따르고 크루시블을 탈부착할 때도 번거로움이 좀 더 있지만 현재의 히터 위치로는 노즐의 온도가 너무 낮아 승화된 유기물이 노즐에 증착될 가능성이 너무 많기 때문에 설계변경을 고려하여야 한다. 그림 5(b)에 히터를 크루시블의 외부 벽면에 장착했을 때의 온도분포를 나타내었다. 히터의 높이는 그림 5(a)의 높이와 같다. 분말 표면의 온도가 300°C 일 때 노즐의 온도가 283°C로 유기물 응축이 일어나지 않는 온도이다. 따라서 히터의 장착면을 기존의 하우스징 내벽에서 크루시블 외벽으로 바꾸는 것이 바람직하다.

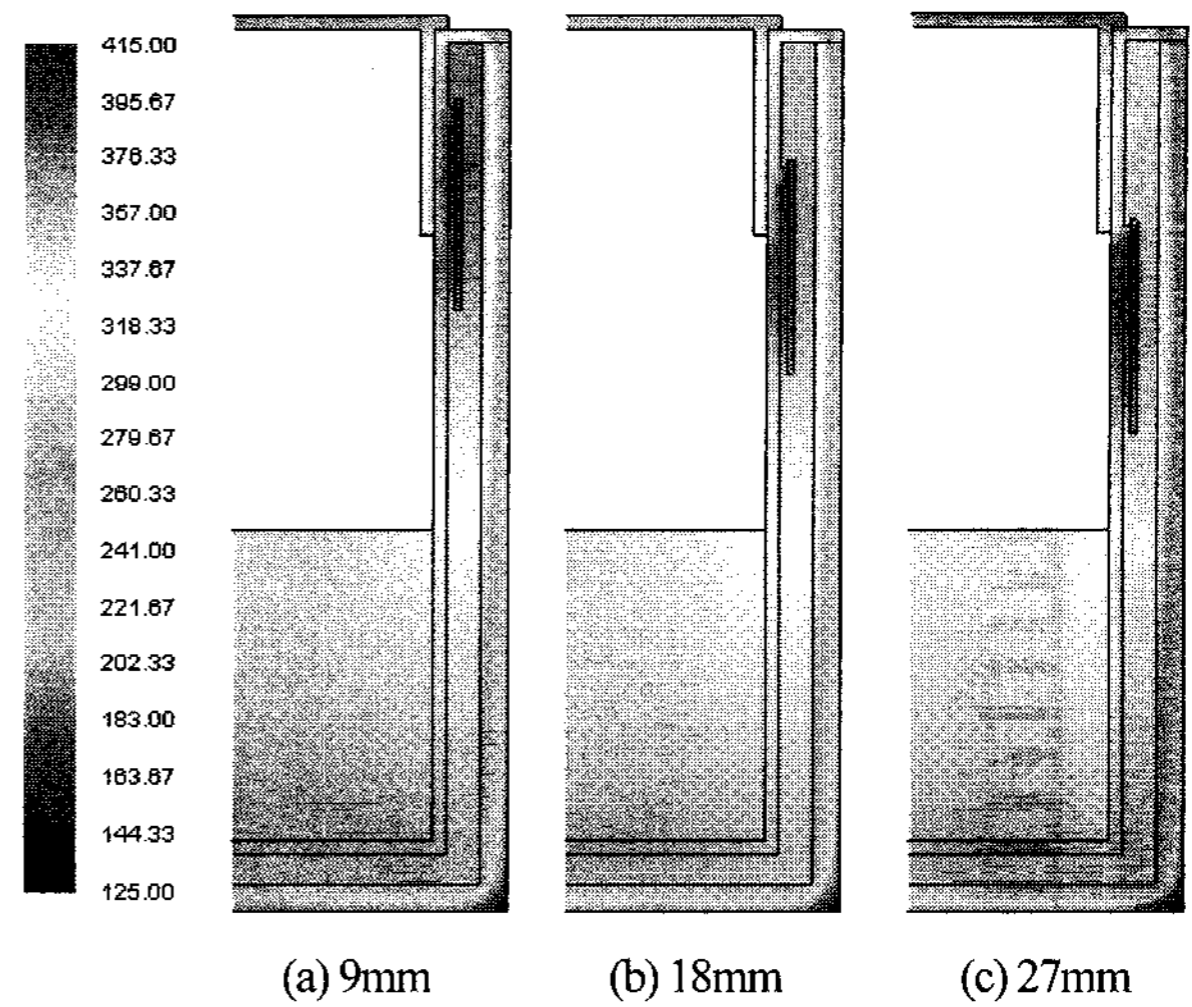


그림 6. 2차원 온도분포 해석결과.
Fig. 6. Two-dimensional temperature distribution.

히터를 크루시블의 외벽에 장착하기로 하여도 어느 위치가 최적의 위치인지를 알기 어렵다. 히터의 장착 높이에 따른 선형증발원의 온도분포를 이차원으로 해석하였다. 히터의 위치를 원래 설계안의 높이였던 크루시블 상부에서 9mm 떨어진 위치와 18mm, 27mm 떨어진 위치의 세가지를 선정하였다. 그리고 각 경우에 대해서 분말의 높이가 크루시블 높이의 80%, 60%, 40%, 20%, 5%인 경우를 해석하였다. 그림 6에 유기물 분말의 높이가 40%일 때 히터의 위치가 다른 세가지 경우에서의 온도분포를 나타내었다. 원래의 히터 높이인 그림 6(a)에서는 유기물 분말 표면의 온도가 300°C이나 노즐 표면의 온도가 286°C로 노즐의 최적온도보다 약간 온도가 높다. 그림 6(b)는 히터의 높이가 크루시블 상부에서 18mm 떨어진 경우의 온도분포를 나타내는데, 그림 6(a)의 경우 보다 조금 약한 열을 가해도 분말 표면의 온도가 300°C에 이르므로 노즐의 온도는 그림 6(a)의 경우보다는 약간 낮은 282°C를 나타낸다. 그림 6(c)의 경우는 히터의 위치가 크루시블 상부에서 27mm 떨어진 경우인데, 히터가 노즐과 많이 떨어져 있어서 분말 표면의 온도가 300°C일 때 노즐의 온도는 279°C이다.

그림 7에 세가지 다른 히터 위치의 경우에 분말 높이의 변화에 따른 노즐 온도를 나타내었다. 모든 경우의 유기물 분말 표면온도는 300°C이다. 히터의 위치가 크루시블 상부에서 9mm 떨어진 경우에는 분말의 높이가 높을 때에는 노즐의 온도가 비교적 적정범위에 들어가지만 분말이 승화됨에 따라 히터와 분말간의 거리가 멀어지고 분말 표면의 온도를 최적온도인 300°C로 유지하기 위해서는 더 많은 열을 가해야 하는데 이에 따라 노즐의 온도가 올라간다. 분말의 높이가 20%일 때 노즐의 온도는 295°C에 이르러 기관에 너무 많은 복사열을 가하여 균일한 증착에 악영향을 끼친다. 반면에 히터의 위치가 크루시블 상부에서 27mm 떨어진 경우에는 분말의 높이가 80%일 때 노즐의 온도가 275°C에 불과하여 승화된 유기물이 노즐에서 응축될 가능성이 있다. 크루시블 상부에서 18mm 떨어진 위치에 히터가 장착된 경우에는 유기물 분말의 높이가 변하는 전 범위에 걸쳐서 노즐의 온도가

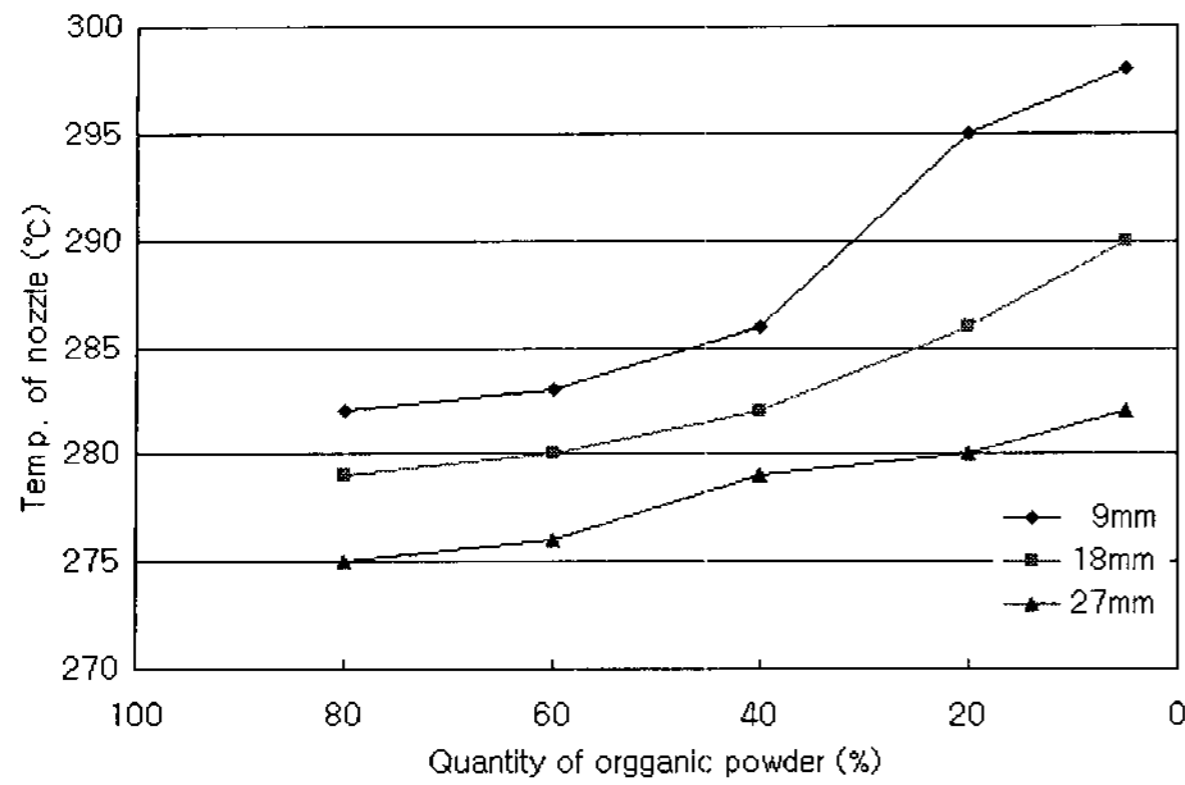


그림 7. 분말온도가 300°C일 때 잔류 분말의 높이에 따른 노즐의 온도.

Fig. 7. Temperature of nozzle with the variation of powder height when the powder temperature is 300°C.

최적온도에 가장 가깝게 변한다. 따라서 18mm 떨어진 경우를 히터의 최적위치로 선정하였다.

히터의 위치를 최적화 함으로써 다양한 분말의 높이에 대해서 노즐의 온도를 적정온도로 유지할 수 있어서 유기물이 기판에 고르게 증착할 수 있게 한다. 뿐만 아니라 잔류 분말의 양이 작을 때에도 노즐의 온도가 적정 온도범위에 유지될 수 있어서 고가의 유기물 분말의 활용도를 높일 수 있다. 이는 또한 선형증발원에 분말을 한번 장착하고 처리할 수 있는

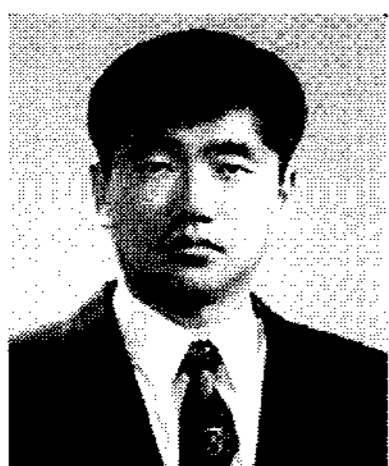
기판의 수를 늘려주게 되어 생산성을 향상시키게 된다.

IV. 결론

대면적 OLED 기판에 유기물을 증착하는데 사용되는 선형 증발원의 온도분포를 전산해석을 통하여 구하였다. 해석 결과 히터의 위치를 원래 설계의 초안인 하우스징 내벽에서 크루시블 외벽으로 옮기는 것이 좋다는 것을 알았다. 히터의 최적 위치를 찾기 위해 부착 높이를 변경해가며 온도를 계산한 결과 크루시블 상부에서 거리가 18mm에 히터가 위치할 때에 여러 유기물 분말의 높이 변화에 대해서 노즐의 온도가 적정 온도에 들게 되었다. 이는 기판에 증착된 유기물 막의 균일도를 높이는 것 뿐만 아니라 분말을 한번 장착하고 처리할 수 있는 기판의 수를 늘리게 되어 생산성을 크게 향상시키게 된다.

참고문헌

- [1] 이준신, 김도영, 평판 디스플레이 공학, 홍릉과학출판사, pp. 157-198, 2005.
- [2] 키도 준지, 유기EL, 광문각, pp. 193-212, 2004.
- [3] 엄태준, 주영철, 김국원, 이상욱, "대면적 OLED 증착용 서클러소스의 성능개선," 한국산학기술학회논문지, vol. 7, no. 5, pp. 759-765, 2006.
- [4] 주영철, 한충환, 엄태준, 이상욱, 김국원, "OLED 증착용 서클러소스의 열적성능 해석," 반도체및디스플레이장비학회지, vol. 6, no. 4, pp. 39-42, 2007.



주영철

1983년 한양대학교 기계공학과(공학사). 1986년 한국과학기술원 기계공학과(공학석사). 1994년 University of California, Los Angeles 기계공학과(공학박사). 1999년~현재 순천향대학교 기계공학과 부교수. 관심분야는 열전달, MEMS, 디스플레이 장비.



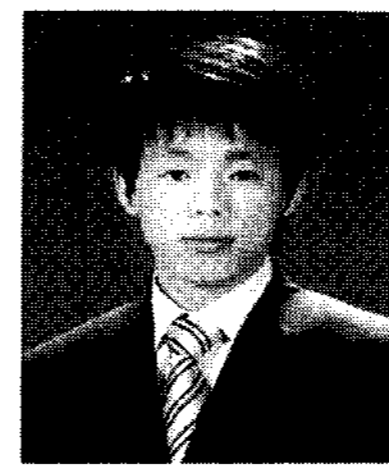
엄태준

1977년 서울대학교 기계설계학과(공학사). 1979년 한국과학기술원 기계공학과(공학석사). 1989년 오클라호마 주립대 기계공학과(공학박사). 1991년~현재 순천향대학교 기계공학과 교수. 관심분야는 자동화설계, 메카트로닉스 응용, 유압시스템 최적화.



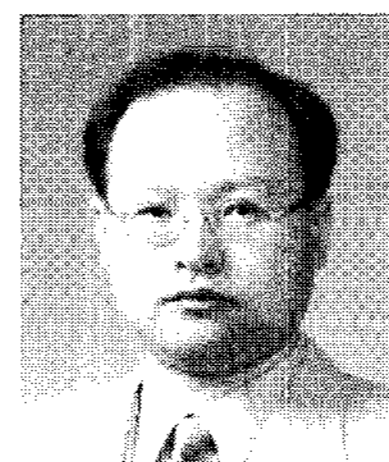
김국원

1988년 서울대학교 기계설계학과(공학사). 1990년 서울대학교 기계설계학과(공학석사). 1995년 서울대학교 기계설계학과(공학박사). 2001년~현재 순천향대학교 기계공학과 부교수. 관심분야는 정밀가공, 전산역학, 제품설계.



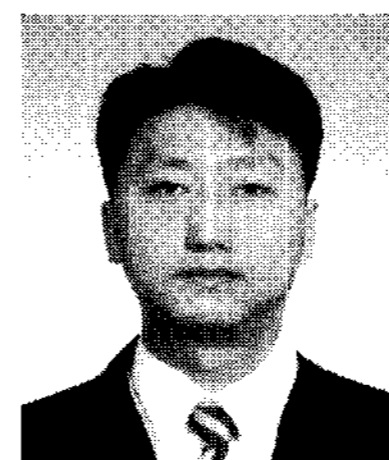
한충환

2006년 순천향대학교 기계공학과(공학사). 2006년~현재 순천향대학교 대학원 기계공학과 석사과정.



이상욱

1986년 서울대학교 기계설계학과(공학사). 1988년 한국과학기술원 생산공학과(공학석사). 1998년 한국과학기술원 기계공학과(공학박사). 2000년~현재 순천향대학교 기계공학과 부교수. 관심분야는 소성가공, 전산역학, 연료전지.



권계시

1992년 연세대학교 기계공학과(공학사). 1994년 한국과학기술원 기계공학과(공학석사). 1999년 한국과학기술원 기계공학과(공학박사). 2006년~현재 순천향대학교 기계공학과 조교수. 관심분야는 잉크젯, 진동.