

대면적 OLED 증착용 새도우 마스크 설계

A Design of the Shadow Mask for Large Size OLED Vapor Deposition

김 국 원*, 엄 태 준, 주 영 철, 이 상 욱, 권 계 시
(Kug Weon Kim, Tai Joon Um, Youngcheol Joo, Sang-Wook Lee, and Kye-Si Kwon)

Abstract : Deformation of the shadow mask is one of the problems encountered during the deposition of organic materials for manufacturing large size organic light emitting diode (OLED). The larger the glass substrate, the larger the shadow mask becomes. As the size of the shadow mask increases, its deformation becomes more severe, thereby making it difficult to deposit organic materials in a precise pattern on a substrate. In this paper, a new method for reducing drooping of the shadow mask for large size OLED vapor depositions is proposed. The proposed shadow mask with cross stripe wires has higher stiffness than the pure shadow mask, which results in reducing drooping of the shadow mask. A commercial FEM program, ANSYS, is used for the evaluation of the proposed shadow mask. The analysis showed that the shadow mask with cross stripe wires have an effect on reducing drooping about 18.6% or more.

Keywords : OLED, shadow mask, cross stripe wire, FEM, reducing drooping

I. 서론

최근 유기발광다이오드(organic light emitting diode, OLED)의 대형화가 진행되면서 기판의 대형화로 인한 처짐의 발생이 문제점으로 대두되고 있으며 이에 따라 기판 처짐을 최소화 하는 연구가 다양하게 진행되고 있다[1-3]. 이와 더불어 대면적 새도우 마스크에 대한 처짐저감 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직 마땅한 해결책이 고안되지 못하고 있다[4,5].

OLED 증착공정에서 원하는 패턴형상을 얻기 위해서는 새도우 마스크를 기판에 정확하게 정렬시켜야 하고, 새도우 마스크와 기판 사이의 간격이 최소화 되어야 한다. 새도우 마스크와 기판 사이의 간격이 있으면 새도우 효과(새도우 마스크의 패턴이 형성된 부분에 증착이 이루어지지 않거나 혹은 패턴이 형성되지 않을 부분에 증착이 이루어지는 현상)가 발생되어 기판에 정확한 패턴형상을 얻는 것이 어렵다. 또한 새도우 마스크를 기판에 정확하게 정렬시킨 경우에도, 새도우 마스크의 자중 혹은 열변형에 의한 처짐이 발생하여 기판과 마스크 사이의 간격이 불균일하게 된다. 이러한 상태에서 공정이 수행되어 제작된 패널은 화소불량을 야기하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 다수의 마스크 패턴부가 존재하는 대면적 OLED 증착용 새도우 마스크의 처짐 해석을 수행하였다. 마스크의 유공부와 무공부에 대한 물성치를 다르게 적용함으로써 효과적으로 처짐 해석을 수행할 수 있었다. 또한 다수의 마스크 패턴부가 존재하는 경우 마스크 처짐을 저감할 수 있는 방안을 제시하였고 유한요소해석을 통하여 새로운 설계의 타당성을 검증하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)

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

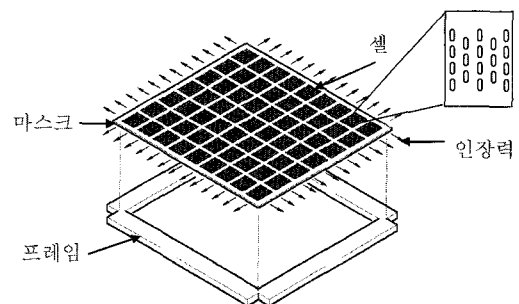
김국원, 엄태준, 주영철, 이상욱, 권계시: 순천향대학교 기계공학과
(kimkug1@sch.ac.kr/tjoonum@sch.ac.kr/yhjoo@sch.ac.kr/swlee@sch.ac.kr/kskwon@sch.ac.kr)

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

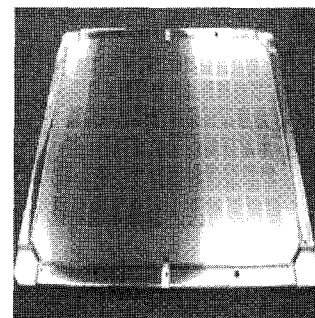
II. 대면적 OLED 증착용 새도우 마스크의 처짐 해석

통상 대면적 OLED 증착용 새도우 마스크에는 다수의 마스크 패턴부(이후 셀이라 칭함)가 존재하게 된다. 각 셀에는 증착패턴과 관련된 수 많은 구멍(슬롯 혹은 스트라이프 타입)들이 존재하게 되며, 처짐을 방지하기 위하여 마스크 끝단에 인장력을 가한 후 프레임에 접합시켜 사용하게 된다. 그림 1은 다수의 셀이 존재하는 마스크-프레임 결합체의 그림 및 실제 사용되는 사진을 보여주고 있다.

각 셀 부분에는 무수히 많은 구멍이 존재하므로 이러한 구



(a) 다수의 셀이 있는 새도우 마스크



(b) 새도우 마스크 사진

그림 1. 전형적인 OLED 증착용 새도우 마스크.
Fig. 1. A typical shadow mask for OLED vapor deposition.

표 1. INVAR 물성치.

Table 1. Properties of INVAR.

| Young's Modulus | Poisson's Ratio | Thermal Conductivity | Mass Density | Thermal Expansion Coefficient |
|-----------------|-----------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 132.4 (GPa) | 0.3 | 13.86 (W/m-K) | 7960 (kg/m ³) | 1.37×10 ⁻⁶ |

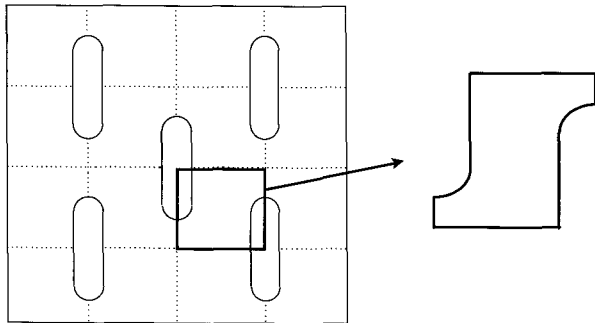


그림 2. 대칭형상의 갖는 마스크의 최소 단위.

Fig. 2. Unit representative region of the shadow mask.

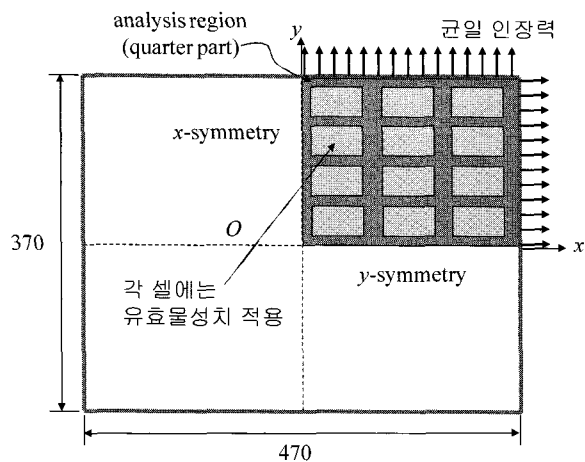


그림 3. 변형해석을 위한 경계조건.

Fig. 3. Boundary conditions for the deformation analysis.

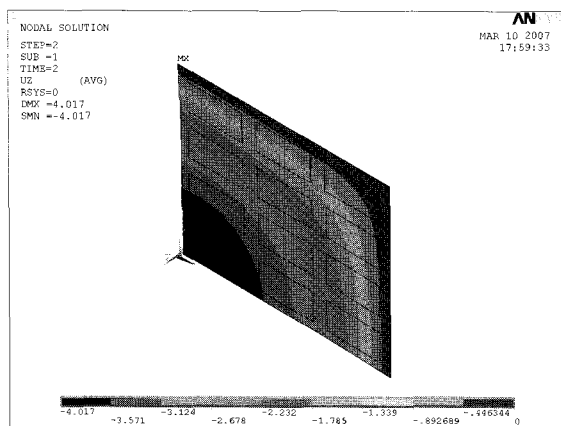


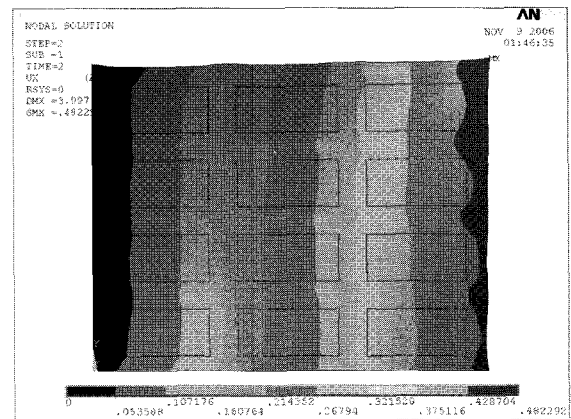
그림 4. 균일 인장력 60N/mm에서의 새도우 마스크 처짐.

Fig. 4. Drooping of the shadow mask for uniform tensile force 60N/mm.

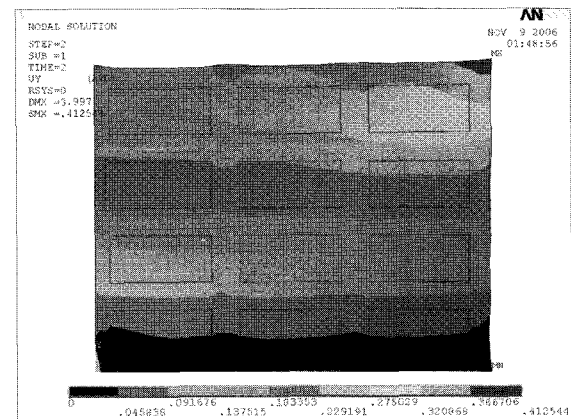
멍의 형상을 모두 고려하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 수많은 구멍이 존재하는 셀 부분에는 구멍이 없는 형상으로 모델링하고, 구멍이 없는 부분이 구멍이 있는 실제 형상의 거동을 나타내도록 물성치들을 적절하게 변경시켜야 한다. 이렇게 변경된 물성치를 유효물성치라 하며 저자의 이전의 연구에서 유효물성치의 사용이 변형해석에 효과적임을 입증한바 있다[6,7].

구멍이 있는 셀 부분은 유효물성치를, 구멍이 없는 비유효 면에는 인바 물성치를 사용하였다. 인바는 니켈 36% 함유한 철 합금으로써 열팽창계수가 가장 낮은 재료중의 하나이다. 표 1은 인바의 기계적·열적 물성치들을 보여주고 있다. 유효 물성치를 계산하기 위하여 마스크의 유공부 중에서 그림 2와 같은 대칭성을 갖는 가장 작은 형상을 선택한다. 마스크 구멍의 형상은 슬롯형태 또는 도트 및 그릴 형태 등 여러 가지가 있으며 일반적으로 X, Y 방향으로 대칭이 아니므로 이 방향의 유효물성치를 가지게 된다. 유효물성치에 대한 자세한 내용은 참고문헌[6,7]을 참조하기 바란다.

그림 3은 다수개의 셀을 가지는 마스크 변형해석을 위한 경계조건을 나타낸다. 그림에서 구멍이 존재하는 각 셀에는 유효물성치를 적용하였고, 마스크 끝단 모서리 부분에는 균일분포하중의 인장력을 부과하였다. 해석에 사용된 마스크의



(a) X 방향 변형



(b) Y 방향 변형

그림 5. 균일 인장력 60N/mm에서의 새도우 마스크 변형.

Fig. 5. Deformations of the shadow mask for uniform tensile force 60N/mm.

크기는 기관의 2세대 크기와 같은 470×370이다. 경계조건과 하중조건에 대한 대칭성 때문에 1/4만 모델링 하였고, 그림에서와 같이 X 방향 대칭, Y 방향 대칭 조건을 적용하였다.

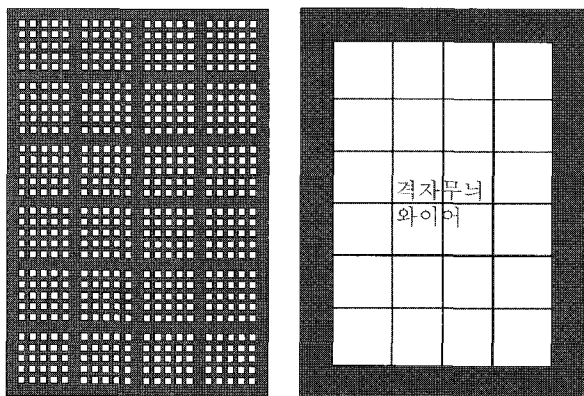
해석에 사용된 프로그램은 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 이다. 그림 4는 균일 인장력 60N/mm에서의 마스크 자중에 의한 변형해석 결과를 나타낸다. 예측되는 바와 같이 최대 처짐은 마스크의 중심부에서 발생하며, 이 경우 최대 처짐량은 4.017mm 이다.

마스크 변형 상태를 자세히 살펴보기 위하여 x 방향, y 방향으로의 변형상태를 그림 5에 나타내었다. 그림에서의 변형은 실제 변형량에 50배를 곱한 것이다. 그림을 살펴보면 각각 균일변형이 되지 않고, x 방향, y 방향 모두 중심에서 멀어질수록 변형이 뒤떨리는 현상이 증가함을 알 수 있다. 이는 구멍이 있는 셀 부분과 구멍이 없는 비유효면의 탄성계수 값의 차이에 의해 균일 인장력을 부과하더라도 마스크가 균일하게 스트레칭 되지 못함을 알 수 있다. 즉 셀 부분과 구멍이 없는 부분의 강성(탄성계수)이 급격한 차이를 보이게 되며, 이러한 현상은 마스크 스트레칭 시 유의해야 할 사항 중 하나이다.

III. 새도우 마스크 처짐 저감 설계

본 연구에서는 대면적 OLED 증착용 새도우 마스크의 처짐 저감 설계 방안으로서, 격자무늬 와이어 구조를 갖는 마스크-프레임 결합체를 고안하였다. 격자무늬 와이어 구조란 마스크 프레임에 격자 구조의 보강재를 설치하는 것으로 마스크의 자중에 의한 처짐을 최소화 하는 것을 목적으로 한다. 즉, 마스크 프레임에 일정간격으로 격자무늬의 와이어를 설치하고 그 위에 마스크를 얹어 놓은 상태에서 증착 공정을 하는 것이다. 그림 6은 복수개의 셀을 갖는 마스크 및 격자무늬 와이어가 설치된 프레임의 구조를 보이고 있다.

본 고안에 사용되는 격자무늬 와이어의 재질은 마스크와 같은 재질인 인바이다. 인바보다 높은 강성을 가지는 재질을 생각할 수 있으나 증착과정에서 온도상승에 따른 열변형을 생각한다면 새도우 마스크와 같은 재질을 사용해야 할 것이다. 비록 새도우 마스크와 같은 재질을 사용하더라도 유공부



(a) 다수의 셀을 가지는 마스크 (b) 격자무늬 와이어 프레임

그림 6. 대면적 OLED 증착용 새도우 마스크 처짐저감 방안.
Fig. 6. A new method for reducing drooping of the shadow mask for large size OLED vapor depositions.

가 있는 셀 부분을 생각한다면 와이어의 강성은 실질적으로는 3-4배의 강성 증가 효과를 볼 수 있다. 문헌에 따르면[6,7] 마스크의 유공부의 경우 방향에 따라 영률이 1/4까지 감소(유효물성치)되기도 한다. 강성의 증가는 탄성 변형량의 증가를 가져오므로 격자무늬 와이어의 경우 새도우 마스크에 비해 약 3-4배의 인장력을 취할 수 있다. 따라서 높은 인장력이 걸려있는 와이어에 의해 마스크의 처짐은 감소되는 효과를 나타내게 된다.

격자무늬 와이어를 포함한 마스크 변형 해석을 위한 형상 및 경계조건을 그림 7에 나타내었다. 와이어를 제외한 부분은 앞 절에서의 해석 방법과 동일하다. 와이어의 경우 마스크와 마찬가지로 평판으로 모델링되며 끝단에서의 인장력은 마스크에 비해 3-4배 취할 수 있다. 본 해석에서는 2배의 인장력을 부과하였다. 마스크와 와이어는 surface-to-surface 접촉 해석을 수행하여 와이어의 영향을 구체적으로 살펴보았다.

그림 8은 와이어만을 모델링하여 마스크에 비해 2배의 인장력을 부과한 경우 와이어의 변형상태를 나타낸 그림이다. 최대처짐은 중심부이며 2.878mm의 최대처짐을 보인다.

격자무늬 와이어와 마스크를 함께 고려하여 해석하는 경우, 와이어와 마스크 사이에는 접촉해석이 이루어지며, 와이

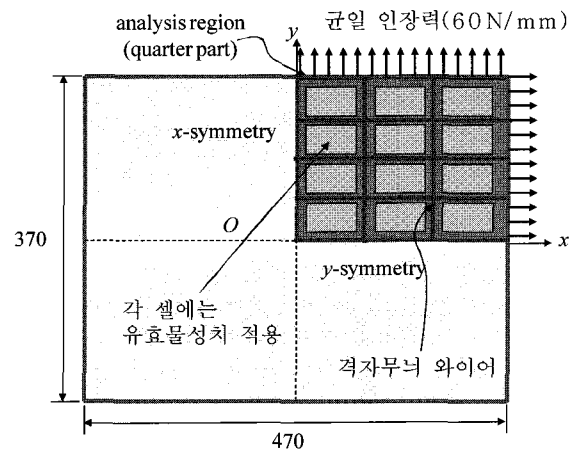


그림 7. 격자무늬 와이어가 포함된 변형해석의 경계조건.
Fig. 7. Boundary conditions of the deformation analysis including cross stripe wires.

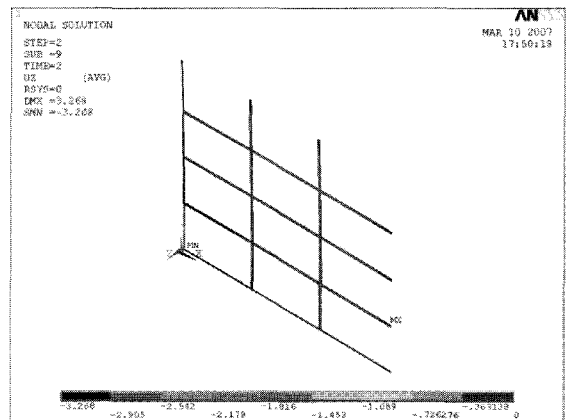


그림 8. 격자무늬 와이어의 변형.
Fig. 8. Deformation of the cross stripe wires.

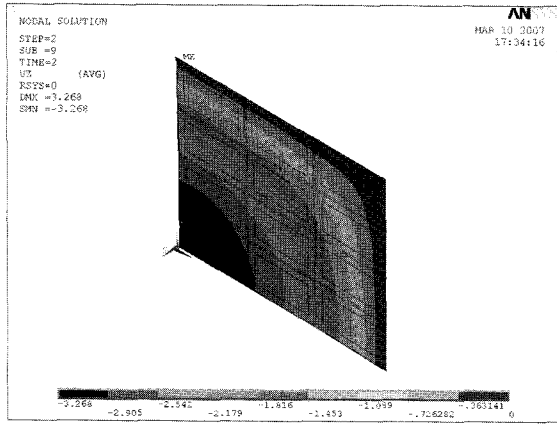


그림 9. 격자무늬 와이어를 갖는 새도우 마스크 변형.
Fig. 9. Deformation of the shadow mask with cross stripe wires.

어에 마스크의 무게에 의해 최종적으로 그림 9에 나타난 바와 같이 최대처짐량은 3.268mm이다. 해석상으로 격자무늬 와이어에 의해 처짐량은 4.017mm에서 3.268mm로 약 18.6%의 효과를 보고 있다. 일반적으로 와이어에 부과할 수 있는 인장력이 마스크의 2배 이상이므로 실제적으로는 18.6% 이상의 처짐 저감 효과가 있을 수 있다.

IV. 결론

본 연구를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있다.

(1) 대면적 OLED 증착용 새도우 마스크에 존재하는 유공부인 셀 부분과 구멍이 없는 비유효면을 모두 고려하는 마스크 처짐해석을 수행하였다. 유공부인 셀 부분에는 유효물성치를 적용하여 효과적으로 처짐해석을 수행할 수 있었으며,

마스크 내 셀 부분과 비 유효면에서의 강성의 차이는 마스크 변형을 불균일하게 한다. 향후 마스크 처짐 저감 뿐만 아니라 균일한 스트레칭을 위한 방안이 필요함을 확인하였다.

(2) 대면적 OLED 증착용 새도우 마스크의 처짐 저감 설계안을 제시하였고 유한요소해석을 통하여 타당성을 살펴보았다. 와이어 격자 무늬를 갖는 프레임에 새도우 마스크를 결합시킨 구조이며 유한요소해석을 통하여 약 18.6 % 이상의 처짐저감 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Ohring, M., The material science of thin film, Academic press, USA, 1992.
- [2] 이동은, 김숙한, 이응기, “고정밀 얼라인을 위한 하이브리드 조작 장치의 개발,” 반도체및디스플레이장비학회지, vol. 6, no. 1, pp. 1-6, 2007.
- [3] 이상욱, 엄태준, 김국원, 주영철, “4세대 OLED용 유리기판 고정을 위한 접착물질의 최적배치에 관한 연구,” 반도체및디스플레이장비학회지, vol. 6, no. S, pp. 11-15, 2007.
- [4] 성운철, 임성실, “대면적 새도우 마스크 설치구조,” 대한민국 공개특허 10-2004-0067053, 2004.
- [5] 김이곤, 김태형, “표시장치용 증착 마스크 및 그의 제조방법,” 대한민국 등록특허 10-0534580, 2005.
- [6] K.W. Kim, N. W. Kim, and D. J. Kang, “Analysis of shadow mask thermal deformation and prediction of beam landing shifts for color CRT,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 44, no. 2, pp. 442-450, 1988.
- [7] 김국원, 엄태준, 이상욱, 주영철, “OLED용 새도우 마스크의 변형해석에 관한 연구,” 반도체및디스플레이장비학회지, vol. 6, no. S, pp. 17-21, 2007.



김 국 원

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



엄 태 준

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

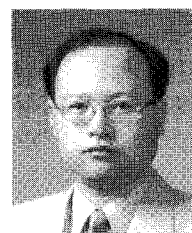
압시스템 최적화.



주 영 철

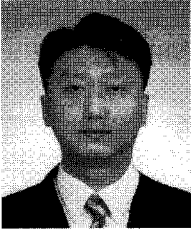
1983년 한양대학교 기계공학과(공학사). 1986년 한국과학기술원 기계공학과(공학석사). 1994년 University of California, Los Angeles 기계공학과(공학박사). 1999년~현재 순천향대학교 기계공학과 부교수. 관심분야는 열전달, MEMS, 디스플

레이 장비.



이 상 욱

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

**권 계 시**

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