OLED 증착용 마스크 프레임의 무게 최소화를 위한 형상최적설계

이부윤^{1*}

¹계명대학교 기계자동차공학과

Shape Optimal Design to Minimize the Weight of a Mask-Frame for OLED Vapor Deposition

Boo-Youn Lee^{1*}

¹Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University

요 약 본 연구는 FMM 방식을 사용하는 OLED 디스플레이의 증착공정에서 사용되는 마스크 프레임의 무게를 최 소화하기 위한 형상최적설계를 다루었다. 위상최적화 해석을 수행하였으며 그 결과를 토대로 프레임의 가로 및 세로 변에 슬롯을 삽입함으로써 강성을 증가시키면서 무게를 저감시킬 수 있는 설계 개념을 도출하였다. 프레임의 형상설 계변수를 정의하고 형상최적설계 문제를 정립하여 수치적 최적화를 수행하였다. 프레임의 설계기준인 최대 변위의 제 약조건을 만족하면서 무게가 최소인 프레임의 최적형상을 성공적으로 구하였으며, 최적설계된 프레임의 무게는 117.6 kg으로 최초설계안 256 kg 대비 138.4 kg(54.1%)가 감소된 결과를 얻었다.

Abstract Present work deals with a shape optimal design to minimize the weight of the mask-frame used in the process of OLED vapor deposition by the fine metal mask. A design concept for an optimal shape of the frame to increase the stiffness and to reduce the weight is derived using the topology optimization, shape design variables of the frame by adopting slots being defined. An optimal shape is determined by solving the shape optimization problem to minimize the weight of the frame under constraints of the maximum displacement. Weight of the optimal design is 117.6 kg, which is reduced by 138.4 kg(54.1%) of that of the first design, 256 kg.

Key Words : Mak-Frame, OLED(Organic Light Emitting Diodes), Shape optimal design, Topology optimization, Weight minimization

1. 서론

유기발광다이오드(OLED: Organic Light Emitting Diodes) 디스플레이 장치에서 화소를 형성시키는 방법은 증착(deposition) 방식을 이용하는 FMM(Fine Metal Mask) 방식과 백색 OLED와 컬러필터(White OLED+ Color filter) 방식, 용액 인쇄방식인 잉크젯 방식과 레이 저 인쇄법으로 나눌 수 있다[1]. 그 중에서 FMM 방식에 서는 진공챔버 내에서 유기물을 기화시켜 마스크의 미세 한 구멍 사이로 통과시켜 기판의 원하는 영역에 증착시 킴으로써 화소를 형성하게 된다. 이러한 증착공정에서 유 기물이 정확한 화소 위치에 증착이 이루어져야 하며, 마 스크의 미세한 구멍들에 의해서 유기물의 증착 위치가 결정된다. 만일 마스크와 용접 체결되어 마스크를 지지하 는 역할을 하는 프레임의 변형이 크게 되면 원하는 위치 에 유기물이 증착되지 못하여 화소 불량을 야기할 수 있 다. 이와 같은 점을 고려하여 본 연구에서는 FFM 방식의 OLED 디스플레이 장치의 제작공정에 사용되는 유기물 증착용 마스크 프레임에 대하여 변형과 경량화를 고려한 형상최적설계 방법을 제시하고자 한다.

그 동안 발표된 마스크 프레임의 구조설계 관련 연구 를 보면, Kim 등[1]은 대면적 OLED 증착용 쉐도우 마스 크의 처짐 저감 설계 방안으로 격자무늬 와이어 구조를 갖는 마스크 프레임 조립체에 대해 연구하였다. Moon 등

Accepted October 10, 2013

^{*}Corresponding Author : Boo-Youn Lee(Keimyung Univ.) Tel: +82-53-580-5922 email: bylee@kmu.ac.kr Received July 22, 2013 Revised August 23, 2013

[2]은 프레임을 H빔 형태로 만들고 마스크 조립체가 약 간의 각도를 가지고 조립되게 하여 마스크 처짐을 최소 화하였다. Kim 등[3]은 인장 마스크의 열변형에 의한 도 밍(doming) 특성을 해석적인 방법으로 규명하고 전자빔 의 오착량을 감소시킬 수 있는 설계안을 제시하였다. Hwang 등[4]은 증착기용 쉐도우 마스크에 대하여 증착 공정 시 발생하는 열에 의한 홀의 치수 변화를 방지하기 위한 제조법에 대하여 연구하였다. Joo 등[5,6]은 OLED 증착용 원형 소스의 구조 및 열적 성능 해석을 통해 증착 균일도를 높이기 위한 연구를 하였다.

본 연구에서는 5.5세대(G5.5) 유리 기판을 사용하는 FMM 방식의 OLED 증착기의 마스크 프레임에서 발생하 는 변형을 해석 및 평가하며, 수치적 최적화(numerical optimization) 기법을 사용하여 변위 제약조건을 만족하 면서 무게가 최소인 마스크 프레임의 최적형상을 설계하 고자 한다. 먼저 프레임의 최초설계안에 대하여 ANSYS[7]를 사용한 유한요소해석을 수행하여 변형량을 평가하고, 위상최적화(topology optimization) 해석 결과 를 토대로 하여 프레임의 최적설계를 도출하기 위한 형 상 개념을 도출하고 설계변수를 선정하였다. 마지막으로 경량화를 위한 프레임의 형상최적설계를 수행하였는데, ANSYS의 최적화 모듈(optimization module)을 사용하여 변위에 대한 설계기준을 만족하면서 무게가 최소인 프레 임의 최적형상을 결정하였다.

2. 프레임 최초설계안의 해석

2.1 최초설계안 및 유한요소모델

마스크 프레임이 상하 및 좌우 대칭임을 고려하여 1/4 대칭 모델을 사용하고자 한다. Fig. 1은 5.5세대 기판용 마스크 프레임의 최초설계안의 1/4 대칭 모델의 형상을 나타낸다. 마스크는 프레임의 전면에 용접된다. 최초설계 안은 액자 틀과 유사한 모양이며, 유기물이 원활히 증착 할 수 있도록 하기 위하여 프레임의 후면 내곽 측은 45° 경사면을 이루고 있다.



[Fig. 1] Shape of the first design of the frame

증착이 이루어지는 부분인 프레임의 내곽 치수는 1260 × 1460 mm이다. 최초설계안에서는 프레임의 외곽 치수를 1560 × 1760 mm로, 두께를 40 mm로 정하였다. 프레임의 재질은 INVAR36로서, 탄성계수가 148 GPa, 프와송 비가 0.29, 밀도가 8.05 g/cm², 항복강도가 294 MPa이다. 프레임 최초설계안의 무게는 256 kg이다. Fig. 2는 프레임 최초설계안의 유한요소 모델을 나타내며, ANSYS의 20절점 요소인 SOLID186으로 자동 요소생성 을 하였다.



[Fig. 2] A finite element model for the first design





(b) S hort axis direction(Type 2)

한편, 한번 설계된 프레임을 사용하여 필요에 따라 마 스크를 장축방향으로 정렬하거나 또는 단축방향으로 정 렬할 수 있으면 프레임을 공용으로 활용할 수 있으므로 효율적이다. 본 연구에서는 마스크의 폭이 96 mm인 경 우에 대하여 장축방향 또는 단축방향으로 정렬하여 사용 할 수 있는 공용 프레임을 설계하고자 하며, Fig. 3(a)와 (b)에 나타낸 바와 같이 마스크를 장축방향으로 정렬하면 (Type 1) 총 13개, 단축방향으로 정렬하면(Type 2) 총 15 개의 마스크가 용접된다. 마스크를 프레임에 조립할 때는 클램프(clamp)를 사용하여 마스크의 양끝을 잡고 길이방 향으로 인장한 후에 프레임에 용접하게 된다. 그러므로 마스크와 조립된 프레임에는 인장된 마스크가 탄성 복원 하려고 하므로 Fig. 4와 같이 마스크 길이방향의 마스크 하중이 용접선을 따라 분포하게 된다. 이 하중은 Type 1 에서는 1.15 kN(117 kgt), Type 2에서는 1.32 kN(135 kgt) 이다. Type 1에서는 장축이 y축이고 Type 2에서는 단축 이 y축이 되도록 해석 모델의 좌표계를 설정함으로써, 마 스크 하중은 항상 -y축 방향으로 가해지도록 하였다. 경 계조건으로서, 1/4 대칭면에는 대칭 경계조건을 지정하고 하부 대칭면의 전면 절점들의 z축 방향 변위를 구속하였 다.



[Fig. 4] Load of mask forces applied to the frame

프레임이 Fig. 4와 같이 마스크 하중을 받으면, 하중을 받는 변이 안쪽으로 휘어지는 굽힘 변형과 프레임 평면 에 수직한 z축 방향의 변형이 발생된다. 이러한 변형량이 과도하면 마스크가 정위치에서 벗어나게 되어 유기물 증 착의 위치 정밀도가 저하되고 쉐도우 효과(shadow effect) 가 발생하게 된다. 따라서 마스크 프레임의 변위를 일정 한 값 이하 수준으로 유지해야 하며, 본 연구에서는 설계 기준을 프레임에서 하중이 가해지는 y축 방향의 최대 변 위 $(u_{y_{max}})$ 를 $u_{y_{max}} \leq 40 \ \mu$ m으로, 평면에 수직한 z축 방 향의 최대 변위 $(u_{z_{max}})$ 를 $u_{z_{max}} \leq 80 \ \mu$ m으로 설정하고 프레임을 설계하고자 한다.

2.2 최초설계안의 해석 결과

생성된 최초설계안의 프레임 유한요소 모델을 ANSYS 를 이용하여 정적 해석을 수행하였다. Type 1의 해석 결 과 von Mises 응력 분포를 Fig. 5(a)에 나타내었다. 최대 von Mises 응력은 프레임의 내곽 모서리 부분에서 4.03 MPa로 INVAR36의 항복강도 294 MPa에 비하여 충분히 작다. Type 1의 해석 결과 y축 및 z축 방향 변위 분포를 Fig. 5(b)에 나타내었다. u_{ymax}는 상부 대칭면의 하단에서 29.4 µm 이며, u_{zmax}는 외곽 모서리에서 28.4 µm 이다. 따라서, Type 1의 최초설계안의 최대 변위는 설계기준 $u_{y_{max}} \leq 40 \ \mu m, \ u_{z_{max}} \leq 80 \ \mu m = 만족한다.$



[Fig. 5] Analysis result of the first design (Type 1) (a) von Mises stress (b) Displacement

최초설계안의 Type 2의 해석 결과 von Mises 응력 분 포를 Fig. 6(a)에 나타내었다. 최대 von Mises 응력은 프 레임의 내곽 모서리 부분에서 5.00 MPa로 INVAR36의 항복강도 294 MPa에 비하여 충분히 작다. Type 2의 해석 결과 y축 및 z축 방향 변위 분포를 Fig. 6(b)에 나타내었 다. $u_{y_{max}}$ 는 상부 대칭면에서 44.2 μ m 로서, 설계기준 $u_{y_{max}} \leq 40 \ \mu$ m를 위배하는 것으로 나타났다. $u_{z_{max}}$ 는 프레임 외곽 모서리에서 22.4 μ m 로서, 설계기준 $u_{z_{max}}$ $\leq 80 \ \mu$ m를 만족한다. 따라서 최대 변위의 설계기준을 만족하면서 프레임의 무게를 최소화하기 위한 형상최적 설계가 필요한 것으로 판단된다.



[Fig. 6] Analysis result of the first design (Type 2) (a) von Mises stress (b) Displacement

3. 위상최적화

앞 장에서 기술된 바와 같이 무게가 256 kg인 최초설 계안의 해석 결과, 마스크를 단축방향으로 정렬하는 경우 인 Type 2에서 u_{ymax}가 44.2 μm로 나타났다. 본 연구에 서는 u_{ymax}와 u_{zmax}의 설계기준을 만족시키면서, 프레임 의 무게를 최소화하고자 한다. 형상최적설계를 위한 설계 변수를 선정하기 위하여 위상최적화 방법을 활용할 수 있다. 위상최적화는 해석 대상에 대하여 주어진 제약조건 을 만족하는 범위 내에서 최적화 대상의 무게를 최소화 시키는 재료 분포를 구하기 위하는 최적화 기법으로서, 컴플라이언스(compliance)를 최소화하는 내부 가상밀도 (internal pseudo-density)분포를 찾는 최적화 문제로 정의 할 수 있다[8]. 본 연구에서는 제거될 부피를 초기값 대비 80% 감소시키는 경우의 위상최적화 문제를 해석하였다. 본 연구에서는 위상최적화 문제의 해석을 위하여 ANSYS의 위상최적화 기능을 사용하였다.

위상최적화를 위한 해석 모델로는 앞 장에서 사용한 Type 1과 Type 2의 두 모델 중에서 u_{ymax}가 더 크게 나타 난 Type 2의 프레임을 사용하였다. 하중이 가해지는 부 분과 대칭 경계조건이 적용되는 대칭면에서는 ANSYS 해석 모델에서 요소를 ET(element type)=2로 설정하여 위 상최적화의 설계변수에서 제외되도록 하였고, 재료 물성 치와 하중조건은 최초설계안의 해석 시와 동일하게 적용 하였다. Fig. 7은 위상최적화 문제의 해석 결과 계산된 가 상밀도 분포를 나타내는데, 가상밀도가 작은 위치가 단변 과 장변을 따라서 길이 방향으로 분포하는 것을 볼 수 있 다. 이로 미루어 볼 때 프레임의 무게를 최소화하기 위해 서는, 변에 길이 방향의 슬롯(slot)을 삽입하면 무게는 줄 이면서도 강성을 크게 저하시키지 않을 것으로 판단된다.



[Fig. 7] Result of the pseudo-density distribution from topology optimization

4. 프레임의 형상최적설계

4.1 최적설계문제의 정의

본 장에서는 프레임을 경량화하기 위하여, 최소화할 목적함수를 프레임 무게로 설정하고 수치적 최적화를 수 행하여 최적의 설계변수를 결정하였다.

설계변수는 앞 장의 위상최적화 해석 결과에 착안하여 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 프레임 변의 외관 크기를 나 타내는 형상설계변수 3개(FX, FY, T)와 프레임 변에 삽 입되는 슬롯의 형상설계변수 5개(SX1, SY1, SX2, SY2, SD)를 선정하였다. 설계변수 T는 프레임의 두께이고, FX 와 FY는 각각 프레임 전면의 가로방향 변과 세로방향 변 의 폭이다. SX1과 SY1은 각각 프레임 후면의 내곽부터 가로방향 슬롯과 세로방향 슬롯까지의 거리이다. SX2와 SY2는 각각 프레임 후면의 외곽부터 가로방향 슬롯과 세 로방향 슬롯까지의 거리이다. SD는 프레임 후면에 삽입 되는 슬롯의 깊이이다. 프레임의 후면 내곽 측은 45° 경 사면을 이루도록 하였다.



[Fig. 8] Shape design variables of the frame

위에서 설명한 형상설계변수의 최적값을 결정하기 위 하여 ANSYS 최적화 모듈의 근사 부문제법(subproblem approximation method)을 사용하여 수치적 최적화를 수 행하였다. 설계변수 및 목적함수의 수렴공차(convergence tolerance)는 10³으로 정의하였으며, 수렴조건을 위한 총 반복횟수는 최대 100회까지로 설정하였다. 최초설계안 해석 시와 동일하게, 마스크가 장축방향으로 정렬되는 Type 1과 단축방향으로 정렬되는 Type 2의 2가지 문제 각각에 대하여 형상최적화를 수행하였다.

형상최적설계 문제는 다음 식과 같이 프레임의 무게 W_{tot}를 최소화하는 8개의 형상 설계변수(T, FX, FY, SX1, SY1, SX2, SY2, SD)를 찾는 문제로 정의할 수 있다.

$$\begin{array}{l} {\rm Find} \left\{ {\rm T, \ FX, \ FY, \ SX1, } \\ {\rm SY1, \ SX2, \ SY2, \ SD} \right\} \tag{1} \\ {\rm minimizing \ \ } W_{\rm tot} \\ {\rm subject \ to \ \ } u_{{\rm y}_{\rm max}} \leq 40\,\mu{\rm m} \\ {\rm u}_{{\rm z}_{\rm max}} \leq 80\,\mu{\rm m} \end{array}$$

수치적 최적화를 수행하기 위해 요구되는 각 설계변수 의 초기값과 상·하한은 Table 1에 나타내었다. 이 설계변 수의 초기값을 사용할 경우의 형상에 대한 프레임 무게 는 81.3 kg으로, 제 2장에서 기술한 최초설계안의 무게 256 kg에 비하여 상당히 가볍게 설정하였다. 프레임 변의 외관 크기를 나타내는 형상변수 중에서 두께 T는 상하한 을 각각 60 mm와 30 mm로 설정하고, FX와 FY는 초기 설계값 대비 여유가 있도록 상하한을 설정하였다. 슬롯 의 형상변수들은 최적화의 반복과정(iteration) 도중에 프 레임의 형상이 원활하게 자동 모델링이 될 수 있도록 상 하한을 적절하게 설정하였다.

	6	· · · · ·	
Design	Initial	Lower	Upper
variables	values	limits	limits
FX	150	120	220
FY	150	120	220
Т	40	30	60
SX1	5	2	15
SY1	5	2	15
SX2	5	2	15
SY2	5	2	15
SD	25	2	36

[Table 1] Initial values, and lower and upper limits of the design variables (Unit: mm)

4.2 최적설계문제의 해석 결과

4.2.1 Type 1 문제

마스크가 장축방향으로 정렬되는 Type 1의 프레임에 대한 형상최적설계문제를 해석한 결과 58번의 반복과정 을 거쳐서 최적해에 수렴하였으며, Fig. 9는 제약조건 변 수(DMAX_UY, DMAX_UZ)와 목적함수 변수(MASS)의 수렴이력을 나타낸다.

Table 2는 초기형상 및 최적형상에서의 설계변수값을, Fig. 10은 프레임의 초기형상과 최적형상을 비교하여 나 타낸 것이다. 설계변수의 최적값은 초기값에 비해 FX, FY는 각각 65.8 mm, 32.1 mm 증가하여 프레임 변의 폭 은 커진 반면에 두께 T는 7.0 mm 감소하였다. 슬롯의 설 계변수는 전반적으로 초기값에 비해 증가하였다.



[Fig. 9] Iteration history of the state variables and objective function(Type 1 problem)

Design variables	Initial design	Optimal design
FX	150	215.8
FY	150	182.1
Т	40	33.0
SX1	5	6.1
SY1	5	9.1
SX2	5	9.3
SY2	5	12.7
SD	25	28.7

[Table 2] Values of the design variables at the initial and optimal designs(Type 1 problem) (Unit: mm)



[Fig. 10] Initial and optimal shapes(Type 1 problem)

 Table 3에 초기형상 및 최적형상에서의 u_{ymax}, u_{zmax},

 W_{tot}를 수록하였다. 최대 변위인 u_{ymax}와 u_{zmax}는 초기형

 상에서는 각각 64.8 μm와 100.0 μm 로서 둘 다 설계기

 준인 40 μm 와 80 μm 를 초과하였으나, 최적형상에서는

 각각 39.3 μm 와 76.4 μm 로서 설계기준을 만족하는 것

 을 알 수 있다. 목적함수인 무게 W_{tot}는 최적형상에서

 89.2 kg으로 초기형상의 81.3 kg보다 8.9% 증가하였으나,

 제 2장에서 기술한 최초설계안의 무게 256 kg에 비해서

 는 65.2% 대폭 감소된 결과이다.

[Table 3] Values of the state variables and objective function at the initial and optimal designs (Type 1 problem)

	Initial design	Optimal design
$\mathbf{u}_{\mathbf{y}_{\max}}$	64.8 μm	39.3 µm
$u_{z_{max}}$	100.0 μm	76.4 $\mu{ m m}$
W_{tot}	81.3 kg	89.2 kg

4.2.2 Type 2 문제

마스크가 단축방향으로 정렬되는 Type 2의 프레임에 대한 형상최적설계문제를 해석한 결과 58번의 반복과정 을 거쳐서 최적해에 도달하였으며, Fig. 11은 제약조건과 목적함수 관련 변수들의 수렴이력을 나타낸다.



[Fig. 11] Iteration history of the state variables and objective function(Type 2 problem)

Table 4는 초기형상 및 최적형상에서의 설계변수값을, Fig. 12는 프레임의 초기형상과 최적형상을 비교하여 나 타낸 것이다. 설계변수의 최적값은 초기값에 비해 FX, FY는 각각 5.4 mm, 61.1 mm 증가하여 프레임 변의 폭은 커진 반면에 두께 T는 2.3 mm 감소하였다. 슬롯의 설계 변수는 전반적으로 초기값에 비해 증가하였다.

Table 5에 초기형상 및 최적형상에서의 u_{ymax}, u_{zmax}, W_{tot}를 수록하였다. 최대 변위인 u_{ymax}와 u_{zmax}는 초기형 상에서는 각각 99.7 μm와 94.1 μm 로서 둘 다 설계기준 인 40 μm와 80 μm를 초과하였으나, 최적형상에서는 각각 39.1 μm와 77.6 μm 로서 설계기준을 만족하는 것 을 알 수 있다. 목적함수인 무게 W_{tot}는 최적형상에서 117.6 kg으로 초기형상의 81.3 kg보다 44.6% 증가하였으 나, 제 2장에서 기술한 최초설계안의 무게 256 kg에 비하 여 54.1% 대폭 감소하였다.

[Table 4] Values of the design variables at the initial and optimal designs(Type 2 problem) (Unit: mm)

Design variables	Initial design	Optimal design
F_lx	150	155.4
F_ly	150	211.1
Т	40	37.7
SX1	5	9.4
SY1	5	12.5
SX2	5	10.0
SY2	5	11.1
SD	25	30.9



[Fig. 12] Initial and optimal shapes(Type 2 problem)

[Table 5] Values of the state variables and objective function at the initial and optimal designs (Type 2 problem)

	Initial design	Optimal design
$u_{y_{\max}}$	99.7 μm	39.1 µm
$u_{z_{max}}$	94.1 $\mu { m m}$	77.6 $\mu { m m}$
W_{tot}	81.3 kg	117.6 kg

4.2.3 추가적 해석 및 고찰

제2장에서 기술된 바와 같이 본 연구에서는 마스크를 장축방향 또는 단축방향의 어느 방향으로도 정렬이 가능 한 공용 프레임을 설계하고자 한다. 그러므로 마스크가 장축방향으로 정렬되는 경우인 Type 1의 형상최적설계 결과는 단축방향 정렬 시에도 최대 변위의 설계기준을 만족해야 하고, 마스크가 단축방향으로 정렬되는 경우인 Type 2의 형상최적설계 결과는 장축방향 정렬 시에도 최 대 변위의 설계기준을 만족해야 한다. 따라서 본 절에서 는 앞에서 최적설계된 Type 1과 Type 2의 프레임에 대하 여 최대 변위의 설계기준 만족 여부를 확인하기 위하여 다음과 같은 2가지의 경우를 추가적으로 해석하였다.

- Case 1 : 마스크가 장축방향으로 정렬된 Type 1의 프레임 최적형상에 단축방향 정렬 시의 마스크 하 중을 적용
- 2) Case 2 : 마스크가 단축방향으로 정렬된 Type 2의 프레임 최적형상에 장축방향 정렬 시의 마스크 하 중을 적용

Case 1의 해석 결과 von Mises 응력 분포를 Fig. 13(a) 에 나타내었다. 최대 von Mises 응력은 내곽 모서리 부분 에서 8.6 MPa로 INVAR36의 항복강도 294 MPa에 비하 여 충분히 작다. Case 1의 해석 결과 y축 및 z축 방향 변 위 분포를 Fig. 13(b)에 나타내었다. u_{ymax}는 상부 대칭면 에서 50.2 μm 이며 u_{zmax}는 외곽 모서리에서 86.3 μm 로 서, 각각의 설계기준인 40 μm와 80 μm를 초과하는 것 으로 나타났다. 그러므로 Type 1의 최적설계 결과는 마 스크를 단축방향으로 정렬하고자 하는 경우에는 사용할 수 없는 것으로 판단된다.



[Fig. 13] Analysis result of the optimal design (Case 1) (a) von Mises stress (b) Displacement

Case 2의 해석 결과 von Mises 응력 분포를 Fig. 14(a) 에 나타내었다. 최대 von Mises 응력은 내곽 모서리 부분 에서 9.6 MPa로 INVAR36의 항복강도 294 MPa에 비하 여 충분히 작다. Case 2의 해석 결과 y축 및 z축 방향 변 위 분포를 Fig. 14(b)에 나타내었다. $u_{y_{max}}$ 는 상부 대칭면 에서 39.5 μ m 이며 $u_{z_{max}}$ 는 외곽 상부에서 62.5 μ m 로서, 둘 다 최대 변위의 설계기준 $u_{y_{max}} \leq 40 \ \mu$ m, $u_{z_{max}} \leq$ 80 μ m를 만족한다. 그러므로 Type 2의 최적설계 결과는 마스크를 장축 또는 단축방향으로 정렬하는 공용 프레임 으로 적합하다고 판단된다.



[Fig. 14] Analysis result of the optimal design (Case 2) (a) von Mises stress (b) Displacement

5. 결론

본 연구에서는 5.5세대 유리 기판을 사용하는 FMM 방식의 OLED 증착기의 마스크 프레임에서 발생하는 변 형을 해석 및 평가하였다. 그리고 변위 제약조건의 설계 기준을 만족하면서 무게가 최소인 마스크 프레임의 최적 형상을 설계하기 위한 방법을 제시하고 최적설계안을 도 출하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 프레임의 최초설계안에 대하여 유한요소해석을 수 행하여 변형량을 해석하고, 마스크를 단축방향 또 는 장축방향 어느 방향으로든 정렬하여 공용 프레 임으로 활용할 수 있는지를 평가하였다. 최초설계 안은 최대 변위의 설계기준을 위배하는 것으로 나 타났다.

- (2) 위상최적화 해석을 수행하여 프레임의 경량화 최 적설계를 도출하기 위한 형상 개념을 도출하였으 며, 장변과 단변에 슬롯을 삽입하는 것이 유리하다 는 것을 밝혔다.
- (3) 프레임 변의 외관 크기 및 슬롯의 형상을 정의하는 8개의 설계변수를 정의하고 설계기준인 최대 변위 의 제약조건 하에서 무게 최소화를 위한 형상최적 설계 문제를 정의하였으며, 수치적 최적화를 수행 하여 형상최적설계 문제의 해를 구하였다.
- (4) 마스크를 장축방향으로 정렬하는 경우에는 최적설 계된 프레임의 무게가 89.2 kg으로 최초설계안의 무게 256 kg에 비하여 65.2% 감소하였다. 이 최적 설계안은 마스크를 단축방향으로 정렬하고자 하는 경우에는 사용할 수 없는 것으로 나타났다.
- (5) 마스크를 단축방향으로 정렬하는 경우에는 최적설 계된 프레임의 무게가 117.6 kg으로 최초설계안의 무게 256 kg에 비하여 54.1% 감소하였다. 이 최적 설계안은 마스크를 장축 또는 단축방향 어느 방향 으로든 정렬하여 공용 프레임으로 사용할 수 있는 것으로 나타났다.

References

 K. W. Kim, T. J. Um, Y. C. Joo, S. W. Lee and K. S. Kwon, "A Design of the Shadow Mask for Large Size OLED," *J. of Institute of Control, Robotics and System*, Vol. 14, No. 4, pp. 348-352, 2008.
 DOI: http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2008.14.4.348

[2] B. M. Moon, N. H. Jung, C. S. Cho and K. W. Kim, "Design of New Mask-Frame Structure for OLED," *Proc. of the 2007 Spring Conference of KSDET*, pp. 164-168, 2007.

[3] J. Kim., S. K. Park, and B. S. Kang, "Thermal Deformation Analysis of Shadow Mask in a Flat TV and Prediction of Electron Landing Shift by FEM," *Trans. of KSME(A)*, Vol. 26, No. 11, pp. 2297-2304, 2002.

DOI: http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2002.26.11.2297

- [4] C. S. Hwang, J. S. Kim, D. S. Park, T. H. Lee, H. H. Kwon and S. R. Lim, "The Shadow Mask Manufacturing for the OLED using INVAR Alloy," *Proc. of the Korean Institute of Surface Engineering Conference*, pp. 3-7, 2009.
- [5] Y. C. Joo, C. H. Han, T. J. Um, S. W. Lee and K. W. Kim, "Thermal Performance Analysis of Circular

Source for OLED Vapor Deposition," J. of the Semiconductor & Display Equipment Technology, Vol. 6, No, 4, pp. 39-42, 2007.

- [6] Y. C. Joo, T. J. Um, S. W. Lee and K. W. Kim, "Performance Improvement of Circular Source for Large Size OLED Vapor Deposition," *J. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 7, No. 5, pp. 759-765, 2006.
- [7] ANSYS User's Manual, Revision 11.0, ANSYS Inc., 2007.
- [8] B. Y. Lee and H. W. Lee, "Structural Analysis and Topology Optimization of an Automotive Pedal Arm Considering Qualification Test Specifications," *J. of Korean Soc. Marine Eng.*, Vol. 30, No. 5, pp. 562-571, 2006.

이 부 윤(Boo-Youn Lee)

[정회원]



• 1984년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)

- 1991년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 1984년 3월 ~ 1998년 2월 : 두 산중공업 기술연구원 팀장
- 1998년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야> 최적설계, 구조설계, 전산응력해석 등