

유한요소법에 의한 평면 TV 새도우마스크의 열변형해석 및 전자빔 오차 예측

김 정* · 박수길** · 강범수†

(2002년 1월 28일 접수, 2002년 8월 30일 심사완료)

Thermal Deformation Analysis of Shadow Mask in a Flat TV and Prediction of Electron Beam Landing Shift by FEM

Jeong Kim, Soo-Kil Park and Beom-Soo Kang

Key Words : Shadow Mask(새도우 마스크), Effective Material Property(유효 재료물성치), FEM(유한요소법), Thermal Radiation(열복사), Landing Shift(오차)

Abstract

Two-dimensional and three-dimensional finite element methods have been used to analyze the deformation behavior of a shadow mask due to thermal and tension load. The shadow mask inside the Braun tube of a TV set has numerous slits through which the electron beams are guided to land on the designed phosphor of red, green or blue. Its thermal deformation therefore causes landing shift of the electron beam and results in decolorization of a screen. For the realistic finite element analysis, the effective thermal conductivity and the effective elastic modulus are calculated, and then the shadow mask is modeled as shell without slits. Next a transient thermal analysis of the shadow mask is performed, wherein thermal radiation is a major heat transfer mechanism. Analysis of the resulting thermal deformation is followed, from which the landing shift of the electron beam is obtained. The present finite element scheme may be efficiently used to reduce thermal deformation of a shadow mask and in developing prototypes of a large screen flat TV.

1. 서 론

기존의 TV 브라운관은 임의의 곡률을 가진 곡면으로 구성되어 있어 화면의 왜곡 현상과 외광 반사에 의한 눈부심이 발생하여 쉽게 눈이 피로하게 되는 단점이 있었다. 최근에 들어서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 완전 평면 브라운관에 대한 관심이 급격히 증가하고 있으며, 이에 관한 설계 기술과 제조 기술의 개발을 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 새도우마스크는 전자총에서 나온 전자빔의 일부만을 패널(glass panel) 내면의 형광 물질에 도달하게 하여 해상도를 높이는 기능을 수

행하게 되는데 이러한 전자빔에 의한 열입력과 내부 부품들의 복사 열전달로 인하여 도밍(doming) 등과 같은 열변형 현상이 발생하게 된다. 이로 인하여 전자총에서 발사된 전자빔이 정확한 위치의 형광 물질에 도달하지 못하고 오차(landing shift)하여 색번짐 현상 등을 야기시킨다. 이러한 현상을 보정하기 위하여 코너 스프링(corner spring) 등과 같은 주요 변수들에 대한 열변형 보상 설계가 절실히 요구되고 있다.

한편 새도우마스크에는 수많은 구멍이 있어 이를 정확하게 고려하는 것은 불가능하므로 유효 재료물성치(effective material property) 즉, 유효 탄성계수(Young's modulus), 유효 프아송비(Poisson's ratio), 유효 열전도도(thermal conductivity) 등을 사용하여 두 구조물이 같은 거동 양상을 보일 수 있는 균질화된 새도우마스크로 모델링하였다. Kim,⁽¹⁾ Cha⁽²⁾ 등은 유효 재료물성치를 도입하여 비정상 열탄성(transient thermal-elastic) 유한요소해석 프로

* 회원, 부산대학교 대학원 항공우주공학과

** 김천과학대학 자동차기계계열

† 책임저자, 회원, 부산대학교 항공우주공학과

E-mail : bskang@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-2310 FAX : (051)513-3760

그램을 개발한 후 곡면 CRT(Cathode Ray Tube)내의 새도우마스크의 열변형 해석을 수행하였다. Shin⁽³⁾ 등은 모니터용 평면 브라운관의 새도우마스크에 대한 열변형 해석을 수행하고 전자빔의 오차량을 예측하였다.

현재 완전 평면 브라운관을 구현하기 위한 TV 용으로 개발된 인장타입 새도우마스크(tension mask)는 마스크에 초기 인장을 가하기 위하여 프레임(frame)을 압축시켜 마스크와 용접하게 되는데, 이러한 초기 인장력에 의한 구조물의 역학적 특성 변화를 파악하는 것이 가장 중요시 되고 있다. 인장 마스크는 제조 공법에 따라 크게 개구그릴(aperture grille) 타입과 슬롯형태의 세미 그릴(semi-grille) 타입 2가지로 나뉘어 지고 있다. Aoki⁽⁴⁾는 ABAQUS를 사용하여 개구그릴 형태의 인장 새도우마스크에 대한 열변형 해석을 수행하였으며, Kim⁽⁵⁾ 등은 ANSYS를 사용하여 동일형태의 인장 마스크에 대한 유한요소모델링 기법을 제안하고 진동모우드 실험을 통하여 검증하였다. 하지만 개구그릴 방식은 열변형 특성은 우수하지만 설계 및 제조 기술이 어렵고 특히 사용료 지불 등 적용하는데 있어서 많은 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 완전 평면 브라운관 개발과 관련한 자체 설계 및 제조기술 확보 측면에서, 경제적인 세미 그릴 타입의 인장 마스크의 열변형에 의한 도밍(doming) 특성을 해석적인 방법으로 규명하고 설계 단계에서 전자빔의 오차량을 감소시킬 수 있는 설계안을 도출하고자 한다. 이를 위한 본 연구에서의 전체적인 해석과정을 Fig. 1에 도시하였다.

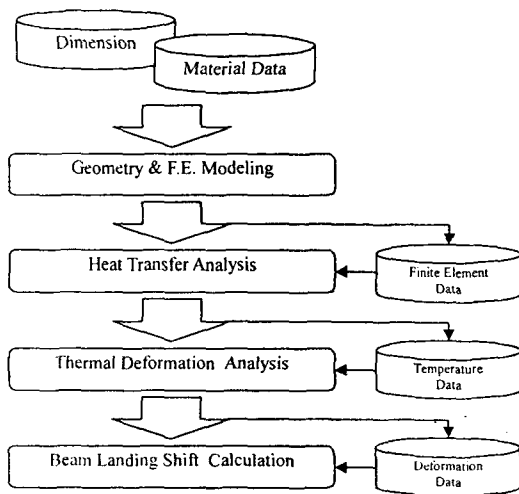


Fig. 1 Analysis procedure

2. 새도우마스크의 균질화

구멍이 없는 구조물이 구멍이 있는 것과 같은 해석 결과를 얻기 위해서는 마스크 상에서 구멍의 형상을 대표할 수 있는 부분을 선택하고, 선택한 영역에 적절한 물리적인 상사조건을 부가하여 2차원 유한요소해석을 수행하면 유효 물성치를 구할 수 있다.⁽¹⁾ 본 연구에서 주어진 마스크의 대표적인 구멍 형상은 Fig. 2와 같으며, 횡·종 방향으로 형상이 대칭이 아니므로 두 방향으로 서로 다른 물성치를 가지고 있는 직교이방성(orthotropic) 재료로 가정할 수 있다. 횡 방향(x-direction)의 유효 탄성계수를 구하기 위하여 Fig. 3에서 보는 바와 같이 오른쪽 면과 아랫면에 대칭 경계 조건을 부가하고 왼쪽 면에는 일정한 변위 δ 를 부가한다. 구멍이 없는 판에 작용하는 응력을 $\sigma_{x,eff}$ 라 하고 이때의 변형률을 $\epsilon_{x,eff}$ 라 하면, 유효 탄성계수 $E_{x,eff}$ 와 유효 프아송비 $\nu_{x,eff}$ 는 단위 두께에 대하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다

$$E_{x,eff} = \frac{\sigma_{x,eff}}{\epsilon_{x,eff}} = \frac{F_x}{p_y/2} \quad (1a)$$

$$\nu_{x,eff} = -\frac{\epsilon_{y,eff}}{\epsilon_{x,eff}} = -\frac{\delta}{p_y/2} \quad (1b)$$

여기서 F_x 는 오른쪽 면에서 x방향의 반력이다. y방향의 유효 탄성계수도 역시 뒷면에 일정한 변위 조건을 부가하여, 아랫면의 반력 F_y 를 계산하면 식 (2)와 같이 쉽게 구할 수 있다.

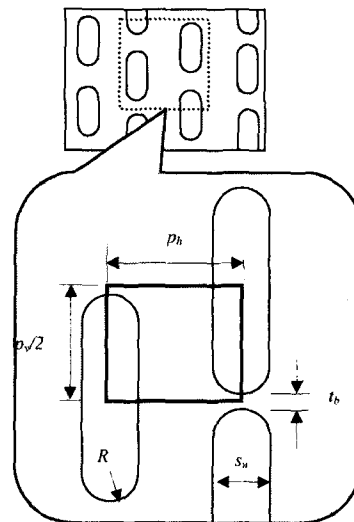


Fig. 2 A representative geometry of slits on a shadow mask

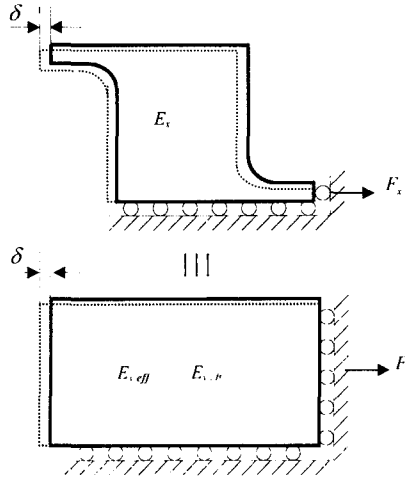


Fig. 3 The structural boundary conditions for equivalent homogeneous characterization

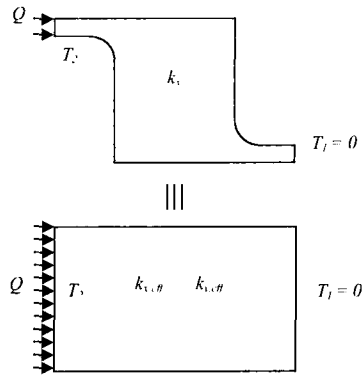


Fig. 4 The thermal boundary conditions for equivalent homogeneous characterization

$$E_{y,eff} = \frac{\sigma_{y,eff}}{\epsilon_{y,eff}} = \frac{F_y}{p_h} \quad (2a)$$

$$\nu_{yx,eff} = -\frac{\epsilon_{x,eff}}{\epsilon_{y,eff}} = -\frac{\delta}{p_h} \quad (2b)$$

한편, 유효 열전도도(effective conductivity)를 구하기 위해서는 Fig. 4와 같이 윗면과 아랫면은 단열시키고 오른쪽 면의 온도는 일정하게 고정시킨다. 그리고 왼쪽 면에 열류(heat flux)를 부가하면 왼쪽 면과 오른쪽 면의 온도 차이가 나오게 되므로 푸리에 법칙(Fourier's law)에 의하여 식 (3)과 같이 유효 열전도도를 계산할 수 있다.

$$k_{x,eff} = -\frac{q_x}{T_1 - T_2} \times \frac{t_b}{2} \times \frac{p_h}{p_v/2} \quad (3)$$

Table 1 Dimensions of the representative slits (unit: mm)

Sec.	x-pos.	p_h	p_v	t_b	s_w	R
1	1	0.750	6.000	0.080	0.185	0.005
2	60	0.763	6.000	0.080	0.187	0.005
3	100	0.784	6.000	0.080	0.190	0.005
4	140	0.815	6.000	0.080	0.195	0.005
5	180	0.857	6.000	0.080	0.202	0.005
6	220	0.903	6.000	0.080	0.211	0.005

Table 2 Effective material properties in each section

Section No.	Elastic modulus (N/mm^2)		Thermal conductivity ($W/mm \cdot F$)	
	E_x	E_y	k_x	k_y
1	25,155	85,041	0.30×10^{-2}	0.86×10^{-2}
2	24,853	84,633	0.29×10^{-2}	0.85×10^{-2}
3	24,007	82,826	0.29×10^{-2}	0.83×10^{-2}
4	23,572	82,167	0.29×10^{-2}	0.82×10^{-2}
5	23,077	80,895	0.28×10^{-2}	0.81×10^{-2}
6	23,273	81,651	0.28×10^{-2}	0.81×10^{-2}
original value	132,400		1.386×10^{-2}	

그리고 y 방향의 유효 열전도도 또한 동일한 방법으로 식 (4)과 같이 구할 수 있다.

$$k_{y,eff} = -\frac{q_y}{T_1 - T_2} \times (p_h - \frac{s_w}{2}) \times \frac{p_v/2}{p_h} \quad (4)$$

그런데 새도우마스크의 구멍은 Table 1과 같이 횡 방향(x-direction)으로 갈수록 p_h 와 s_w 치수가 증가됨을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 새도우마스크는 횡 방향으로 여섯 부분의 영역으로 분할한 후, 각 영역에서는 동일한 직교이방성의 등가물성치를 가진다고 가정하여 Table 2와 같이 산출하였다.

해석적으로 구한 유효 탄성계수의 타당성을 검증을 위하여 마스크 상에서 스트립(strip) 형태의 시편을 취출한 후 고유진동수를 측정하는 방법을 사용하였다. 얇은 보(Euler-Bernoulli beam)의 굽힘 모우멘트에 의한 고유진동수 ω 는 다음과 같이 구할 수 있다.⁽⁶⁾

$$\omega = \beta^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} = (\beta l)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A l^4}} \quad (5)$$

여기서 E 는 탄성계수, I 는 단면2차 모우멘트, ρ 는 밀도, A 는 단면적, l 은 길이를 나타낸다. 고정-자유단(fixed-free)경우 1번째 진동모우드에서 $\beta l = 1.875$ 이다. 따라서 취출된 시편의 고유진동수를 측정하면 식 (5)에 의해서 탄성계수를 계산할 수 있다.

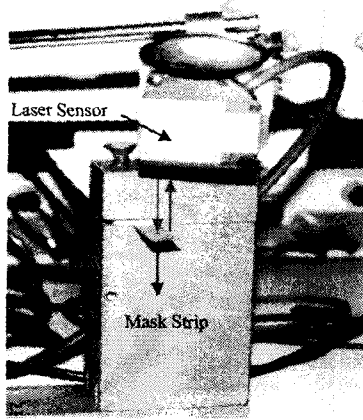


Fig. 5 Experimental apparatus for measuring natural frequency of a shadow mask strip

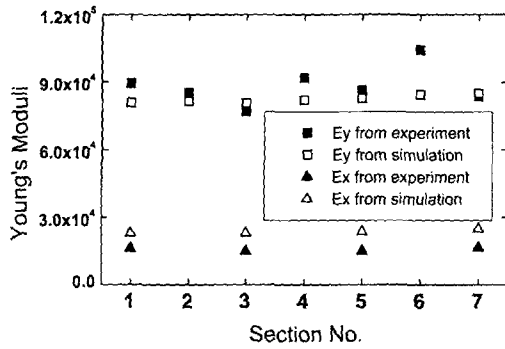


Fig. 6 Comparison of Young's moduli obtained from experiment and simulation

E_y 측정을 위하여 폭 5mm, 길이 80mm의 시편을 횡 방향으로의 6개 영역에서 각 2개씩, E_x 측정을 위하여 폭 10mm, 길이 50mm의 시편을 6개 영역에서 각 3개씩 취출하였다. 각 시편의 굽힘 모멘트에 의한 진동은 Fig. 5와 같이 한쪽 끝 단을 고정시키고 다른 한쪽 끝 단에는 임의 크기의 변위로 가진시켜 발생시켰으며 진동 변위량을 레이저 변위 센서로 측정 후 고속푸리에변환(FFT)을 통하여 고유진동수 ω 를 산출하였다. Fig. 6에 해석적으로 산출한 탄성계수와 실험적으로 구한 값들을 서로 비교해 놓았다. 그림에서 보는 바와 같이 E_x 값에서 다소 오차는 존재하나 전반적으로 잘 일치함을 알 수 있다.

3. 마스크 조립체의 열전달 해석

3.1 열입력과 열복사

전자총에서 나온 전자빔이 마스크를 지날 때

일부만 구멍을 통과하고 나머지는 마스크와 충돌하여 열에너지로 변환된다. 전자총에서 나오는 에너지는 브라운관 내부에 가해지는 전압과 전자총의 전류와의 곱으로 계산되어진다. 수평방향으로 회귀하는 경우나 수직 방향으로 회귀하는 동안에는 전자빔이 나오지 않으므로 마스크에 입력되는 열류 q_m 는 전자총에서 나오는 에너지를 마스크의 면적으로 나누고 수평과 수직회귀 및 구멍의 형상을 고려하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_m = \frac{P}{A_m}(1-e_h)(1-e_v)\left(1-\frac{A_h}{p_h \times p_v}\right) \quad (6)$$

여기서 P 는 전자총의 주사 에너지고 A_m 은 마스크의 면적, A_h 는 구멍의 면적, e_h , e_v 는 각각 수평, 수직 회귀 시간이다. 구멍의 면적 A_h 는 Fig. 2에 나와 있는 구멍의 기하학적 형상에 의하여 다음 식 (7)와 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$A_h = (p_v - t_b)s_w - \pi R^2 \quad (7)$$

패널에 입력되는 열류 q_p 는 전자총에서 나온 에너지로부터 마스크에 입력되는 양만큼 차감시킨 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_p = \frac{P}{A_m}(1-e_h)(1-e_v)\left(\frac{A_h}{p_h \times p_v}\right) \quad (8)$$

브라운관 내에서의 전체적인 열전달 현상은 전자총에서 나온 전자의 에너지가 마스크와 패널에 열입력원으로 작용하고, 이 열원들이 전도(conduction)와 복사(radiation)에 의해 각 부품으로 전달되며 패널과 편널(funnel) 바깥 면에서는 공기와의 대류에 의해 열이 방출되어 어느 정도의 시간이 지나면 브라운관은 열적 평형상태에 도달하게 된다. 복사 열전달을 고려해야 하는 부품들은 요소 생성시 복사면(radiation surface)을 고려하여 모델링해야 하며 생성된 복사면을 사용하여 복사형태계수(radiation shape factor)를 계산하게 된다. 두 복사면 사이에 전달되는 열전달량 Q_i 은 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_i = \sigma \epsilon_i F_{ij} A_i (T_i^4 - T_j^4) \quad (9)$$

여기서 σ 는 스테판볼츠만 상수(Stefan-Boltzman constant), ϵ_i 는 유효 방사율(effective emissivity), F_{ij} 는 복사면 i 에서 복사면 j 로의 복사형태계수, A_i 는 복사면 i 의 면적, T_i , T_j 는 각각 복사면 i , j 의 절대온도를 나타낸다. 복사형태계수 혹은 보기계수(view factor)는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 복사면 i 에서 방출된 전체 복사에너지와 복사면 j 에 도달한 복사에너지와의 비로서 정의되며 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

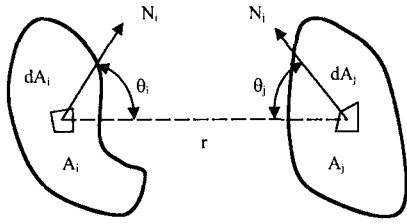


Fig. 7 View factor calculation terms

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} d(A_j) d(A_i) \quad (10)$$

식 (10)은 다음과 같은 가우스 수치적분 (Gaussian quadrature)을 통하여 쉽게 얻을 수 있다.

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^n \left(\frac{\cos \theta_{ip} \cos \theta_{jq}}{\pi r^2} \right) A_{ip} A_{jq} \quad (11)$$

여기서 m, n 은 각각 복사면 i, j 의 적분점 (integration point)의 갯수이다. 한편 식 (9)은 비선형 방정식이므로 식 (12)과 같이 전개한 후 K' 를 앞 단계의 온도 결과를 가지고서 계산하여 반복적인 방법으로 T_i, T_j 를 계산하면 된다.

$$Q_i = K'(T_i - T_j) \quad (12)$$

여기서 $K' = \sigma \epsilon_i F_{ij} A_i (T_i^2 + T_j^2)(T_i + T_j)$ 이다.

3.2 온도분포 결과

Fig. 8은 열전달해석을 수행하기 위한 유한요소 모델을 보여주며 마스크와 프레임의 용접부는 절점의 온도를 커플링(coupling)시켰다. 경계 조건은 패널, 펀넬 표면에서 대기와의 대류열전달 조건을 부여하고, 마스크와 이웃하는 부품 내면에는 각각 복사열전달 조건을 부가한다. 열전달 해석은 빔이 주사되는 패턴에 따라 전체주사(full raster), 부분주사(local raster) 2가지 경우가 있는데 본 연구에서는 완전주사에 대해서만 외부온도 25℃로 가정하여 정상상태(steady state)에 도달할 때까지 수행하였다.

시간에 따른 각 부품별 온도변화 해석결과가 Fig. 9에 나와있다. 마스크는 작동 순간부터 열입력이 일정하게 가해지므로 초기 10분 동안에 온도가 급격히 상승하고, 그 이후 기울기가 완만해져 점차 정상 상태에 도달하게 된다. 정상 상태의 최고 온도는 약 83℃이다. 쉴드의 온도는 처음 얼마 동안에는 프레임보다 높은 값을 보이고 있는데, 이러한 원인은 프레임으로는 복사와 전도가 동시에 발생하는 반면, 쉴드로는 복사만 이루어지게 되어 복사 면적이 상대적으로 넓은 쉴드가 온도 상승이 먼저 이루어지게 되는 것이다.

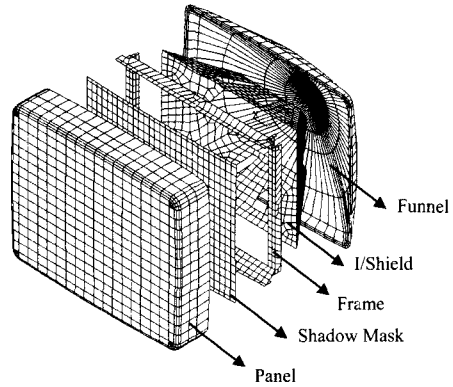


Fig. 8 The finite element model of the shadow mask assembly (exploded view)

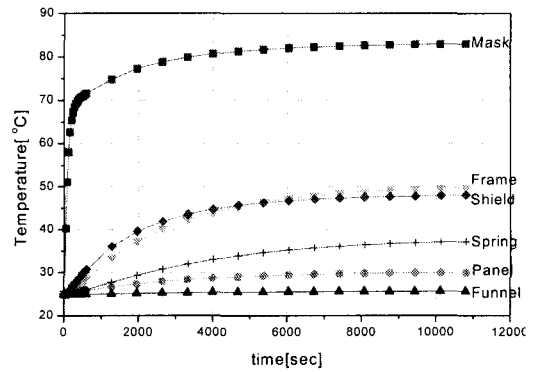


Fig. 9 Temperature variations during full raster

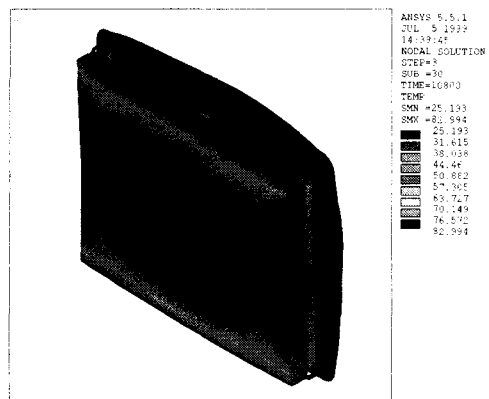


Fig. 10 Temperature distribution of the shadow mask assembly (without a glass panel)

이후 마스크의 온도상승률이 감소하게 되면 쉴드 표면의 열복사량은 점차 감소하게 되고 반면 프레임으로 지속적인 열전도가 이루어져 프레임의 온도가 쉴드를 초과하게 되는 것이다. 패널은 형광면 표면의 방사율(emissivity)이 매우 낮아 마스크와의 복사열에 의한 열전달이 거의 일어나지 않는다.

또한 외부 면에서는 대기와의 대류(convection) 열전달이 발생하여 열이 계속적으로 방출되므로 온도가 낮게 된다. 편널은 설드에 의한 복사 열전달이 발생하지만 패널과 마찬가지로 대기와의 대류 열전달에 의한 열 방출로 온도가 낮게 된다. 스프링(Spring)은 주로 프레임의 열전도에 의하여 온도가 상승하게 되는데 정상 상태에서 약 37°C까지 도달하게 된다. Fig. 10은 정상상태에 도달한 후의 각 부품별 온도분포를 보여준다.

4. 마스크의 열변형 해석

일반적으로 열변형 해석은 열전달 해석을 일차적으로 수행한 후 계산된 각 부품의 온도 분포 결과를 구조해석(structural analysis)의 하중조건 형태로 부가한다. 따라서 3장에서 계산한 각 부품들의 온도분포 결과치가 본 장의 열변형해석의 입력치로 사용되게 된다.

4.1 인장 마스크 모델링

마스크의 초기 인장력(pre-tension)은 프레임에 압축시켜 마스크와 용접하고 그 이후 압축력을 제거시킬 때, 프레임의 탄성 복원과 마스크의 연신량에 의하여 발생되는데 이러한 예하중(preload)이 마스크 조립체의 열변형 특성에 미치는 영향을 파악하는 것이 선행되어야 한다.

먼저 프레임을 압축시켜야 할 초기 변형량 δ_i 를 가정하고 이러한 변형량을 발생시킬 수 있도록 압축력의 크기, 위치, 개수를 결정해야 한다. 프레임은 탄성범위 내에서 선형 관계를 가지므로 독립적으로 하중을 부가한 후 그 결과를 중첩한 것과 조합된 하중 결과에 의한 변형은 동일하므로 식 (13)의 연성행렬(flexibility matrix)을 구하여 압축력의 크기를 결정한다.

$$\{\delta\} = [C]\{f\} \quad (13)$$

여기서 δ 는 프레임을 압축시킬 초기 변형량 벡터, C 는 연성행렬, f 는 초기 변형량을 발생시키기 위한 압축력 벡터이다.

따라서 위에서 구한 압축력 f 를 프레임에 부가하면 Fig. 11과 같이 δ_i 만큼의 변형량이 발생하게 되어 마스크와의 용접위치까지 도달하게 된다. 용접부 모델링은 공유하는 절점들의 x, z 방향의 자유도를 커플링(coupling) 시킴으로써 구현할 수 있다. 또는 용접부의 강성에 해당되는 선형스프링 요소를 사용하더라도 동일한 결과를 얻을 수 있다.

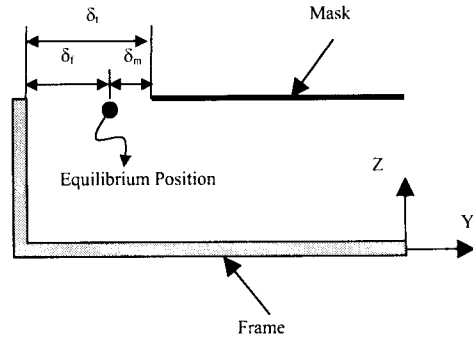


Fig. 11 Schematic view of pre-tension modeling

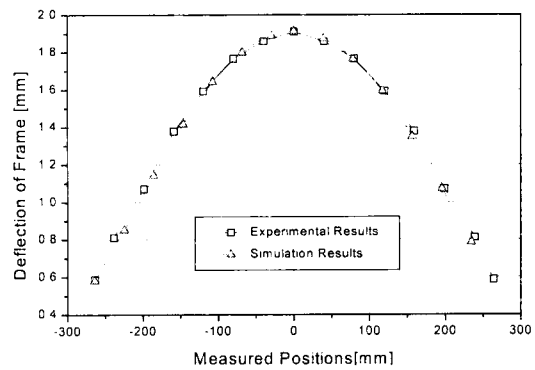


Fig. 12 Comparison of the frame deflections obtained from simulation and experimental results

y 방향으로의 변형은 압축력을 제거시킬 경우에는 평형상태로 도달하게 되므로 다음과 같은 구속 조건 식 (14)을 사용하여 얻을 수 있다.

$$\delta_i + \delta_m = \delta_f \quad (14)$$

따라서 압축력을 제거한 후 프레임과 마스크의 최종 변형량은 자유도 커플링과 식 (14)의 구속조건식을 만족시키는 유한요소해석을 수행하면 얻을 수 있다. 여기서 마스크의 인장 특성 기준치와 비교하여 오차가 허용한도를 만족하지 않으면 δ_f 를 적절히 변화시켜서 앞의 해석과정을 다시금 수행하여 오차가 허용한도 내에 존재할 수 있도록 반복적으로 해석을 수행한다.

해석적으로 구한 δ_f 가 허용한도를 만족하면 최종 압축력의 크기, 위치, 개수를 결정할 수 있게 되며 예하중에 의한 마스크의 조립체의 역학적 특성 변화를 평가할 수 있게 된다. 이러한 역학적 특성 변화는 강성 변화로 나타나게 되며 이러한 강성변화가 마스크의 열변형 특성을 변화시키게 된다. Fig. 12에는 프레임의 변형량 δ_f 에 대한 해석 결과와 실험 측정치를 서로 비교해 보여주고 있다.

4.2 마스크 열변형 해석결과

3장에서 구한 각 부품들의 온도분포 결과치를 구조해석의 체적력(body force) 형태로 변환시켜 외력 벡터를 구성한다. 직교이방성 재료에 관한 응력-변형을 관계식은 다음과 같다.

$$\sigma_{ij} = D_{ijkl}(\epsilon_{kl} - \epsilon_{kl}^th) \quad (15)$$

여기서 열변형률(thermal strain) $\{\epsilon^th\} = \alpha\Delta T$, α 는 열팽창계수(thermal expansion coefficient), ΔT 는 온도차를 나타낸다.

관심있는 지점인 마스크의 중앙에서 2/3지점에서 계산한 열변형률 변화가 Fig. 13에 나와 있다. z 방향의 변형량은 시간이 경과함에 따라 마스크가 패널 쪽으로 열팽창하고 있는 도밍 현상을 잘 보여 주고 있으며 최대치는 약 9 μ m이다. Fig. 14는 정상상태에 도달할 때까지의 인장 방향인 y축 방향의 탄성변형률(elastic strain)과 열변형률(thermal strain) 변화를 보여준다. 최대 탄성변형률은 열변형 전 2.32×10^{-4} 에서 열변형 후에는 2.30×10^{-4} 로 미소하게 감소한 반면 열변형률은 1.08×10^{-4} 까지 증가한다. 이로 인해 최대 총변형률은 3.38×10^{-4} 정도이다.

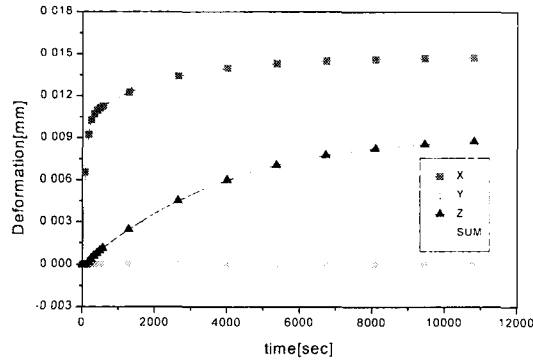


Fig. 13 Thermal deformation variations during full raster

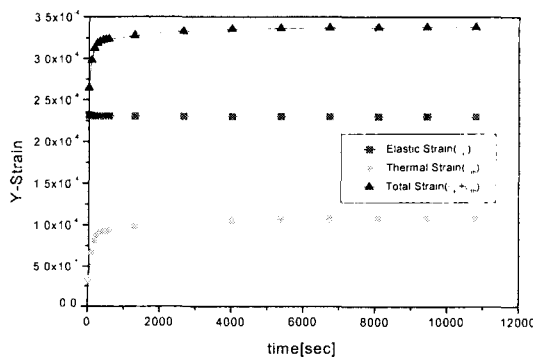


Fig. 14 Strain variations during full raster

4.3 전자빔의 오차 예측

인장 마스크의 열변형에 의한 전자빔의 오차 현상을 Fig. 15에 간단히 나타내었다. 신문서⁽³⁾ 등은 현미경을 사용하여 오차량을 측정하였는데 이 방법은 육안에 의존해야 하므로 측정의 신뢰도가 떨어진다. 본 연구에서는 DA-T(Display Analyzer, 일본 SEFT Co.) 장비를 사용하여 정확한 측정을 시도하였으며, 자세한 실험 절차는 다음과 같다.

1. 브라운관을 UT(Universal Test, 일본 MECC Co.) 위에 장착한다.
2. 브라운관 패널상의 측정하고자 하는 지점에 센서를 고정시킨다.
3. UT에 의하여 전자총에서 G(green) 전자빔만을 주사시킨다.
4. 최초 위치와 측정 시간 간격에 따라 정규분포를 이루는 전자빔의 평균치를 비교하여 오차량을 측정한다.

전 절에서 구한 열변형 해석결과를 가지고서 전자빔의 오차량을 계산하기 위해서는 패널 표면의 3차원 곡률과 마스크의 열팽창 후의 곡률을 동시에 고려해야 한다. 본 연구에서는 ANSYS의 매크로(macro) 기능을 사용하여 열변형 해석결과로부터 오차량을 직접 계산할 수 있도록 하였다.

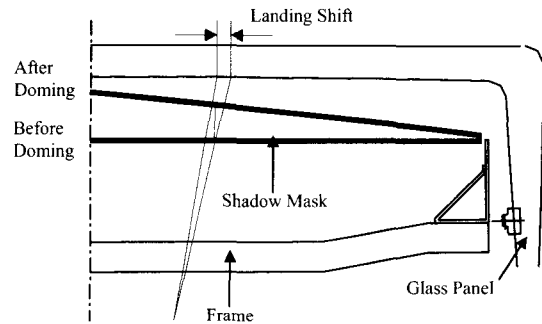


Fig. 15 Mechanism on landing shift of electron beam

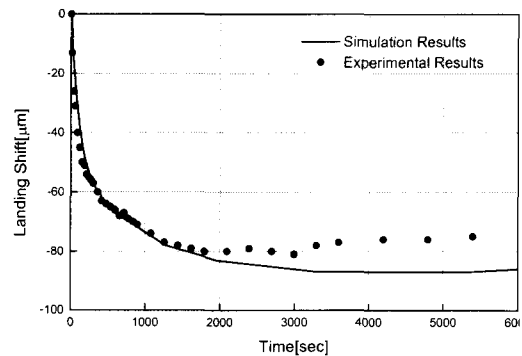


Fig. 16 Comparison of the landing shift during full raster

Fig. 16은 전체주사 패턴에 대한 전자빔 오차량의 측정치와 해석결과를 비교한 것이다. 시간이 지남에 따라 오차량은 증가하여 최대치가 약 80 μ m 정도에 도달함을 알 수 있으며, 해석결과는 실험치와 잘 일치함을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 평면 TV용 새도우마스크 조립 구조체에 대한 유한요소모델링 및 열전달 해석 기법을 제시하였다. 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 수행된 본 연구에서는 새도우마스크에 대한 유효 물성치 산출 및 열전달 해석을 수행하여 열변형에 의한 전자빔의 오차 현상에 대한 해석적 접근을 시도하였다. 아울러 고유진동수 측정을 통하여 산출한 유효물성치의 타당성을 보였으며, 열변형해석에 의한 전자빔의 오차량을 실험 측정치와 비교하여 해석결과의 신뢰성을 보였다.

따라서, 대형 평면TV 신제품 개발과 관련하여 도밍 방지 설계안 도출시에 본 해석 기법이 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 부산대학교 ERC/NSDM과 두뇌한국 21(BK21)사업의 지원에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Kim, H. G., Cheon, H. T., Sin, D. K. and Im, S. Y., 1993, "Thermal Deformation Analysis of Shadow Mask," *Transactions of the KSME*, Vol. 17, No. 10, pp. 2574~2581.
- (2) Cha, B. W., 1994, "Analysis of Thermal Deformation for a Shadow Mask and Development of the Program for Thermal Deformation Design," M.S. Thesis, KAIST, Daejeon, Korea.
- (3) Shin, W. S, You, S. J. and Jang, B. W., 1999, "Analysis of Tension Mask Thermal Deformation under Localized Heating and Prediction of Electron Beam Landing Shifts," *Journal of the KSPE*, Vol. 16, No. 8, pp. 138~148.
- (4) Aoki, T., 1996, "Thermal-Stress-Analysis System for the Trinitron Aperture Grille," *SID96 DIGEST*, pp. 871~874.
- (5) Kim, Y. Y., Kim, T. S. et al. , 1998, "Development of Core Technique for Finite Element Modeling of AG Mask," *Institute of Advanced Machinery and Design*, Seoul National University.
- (6) Meirovitch, L., 1967, *Analytical Methods in Vibrations*, The Macmillan Company, New York.