

〈論 文〉

## 쉐도우마스크의 열변형 해석

온도분포

김현규\* · 천현태\*\* · 신동기\*\* · 임세영\*\*\*

(1993년 2월 20일 접수)

### Thermal Deformation Analysis of Shadow Mask

Temperature Distribution

Hyeon-Gyu Kim, Hyeon-Tae Cheon, Dong-Ky Sin and Seyoung Im

**Key Words :** Shadow Mask(쉐도우마스크), Heat Radiation(열복사), Beam Mislanding(빔의 오차), Nonlinear F. E. M.(비선형 유한요소법)

#### Abstract

A Shadow mask in C. R. T. (Cathod Ray Tube) undergoes a temperature increase due to impinging electron beams emitted from guns, and thermal deformation from such temperature rise may cause the electron beams to misland on the panel, and thus give rise to decolorization. Hence the analysis of temperature distribution for a shadow mask is an important procedure for designing the shadow mask. In this paper, we are concerned with nonlinear finite element analysis of the temperature distribution on a shadow mask. First of all, we replace shadow mask, containing numerous apertures of a slit type, by an orthotropic shell without apertures, and calculate the apparent thermal conductivities. Because of thermal radiation, which is one of the major heat transfer mechanism for shadow masks, the resulting finite element equation is nonlinear and solved by the Newton method. Finally numerical examples are illustrated for a 21" FST(Full Square Tube) shadow mask, and followed by discussion.

#### 1. 서 론

칼라 텔레비전(color T. V.)의 크기가 대형화하고 화면의 해상도가 높아지면서 쉐도우마스크(shadow mask)의 열변형이 중요한 문제가 되었다. 쉐도우마스크는 화면의 해상도를 높이기 위하여 전자총에서 나온 전자빔의 일부만 화면에 도달하게 만드는 얇은 차단 막으로 수 십 만개의 구멍이 존재하고 전자빔의 일부가 이 곳을 통해서 통과

하면 안쪽에 도포되어 있는 발광체에 충돌하여 원하는 색상을 나타내게 된다. 쉐도우마스크는 프레임(frame)으로 둘러싸여 있고 프레임의 구석이나 옆면에는 지지강쇠(support spring)가 붙어있다.

전자총을 떠난 전자빔이 쉐도우마스크에 도달하면 일부(20~30%)는 구멍을 통해 통과하고 나머지는 쉐도우마스크에 충돌하게 된다. 쉐도우마스크와 충돌한 전자빔은 열에너지로 변환되고 면내의 열전도와 표면에서의 열복사를 통해서 열전달이 일어난다. 시간이 지나면서 온도가 상승하게 되고 쉐도우마스크와 프레임의 열팽창으로 인한 열변형이 발생하게 된다. 열변형이 생기면 쉐도우마스크에 있는 구멍의 위치가 이동하여 전자빔의 도달위치를 변화

\*한국과학기술원 기계공학과 대학원

\*\*오리온전기(주) 영상판연구소

\*\*\*정회원, 한국과학기술원 기계공학과

게 한다.<sup>(1)</sup> 열변형으로 인해서 전자빔이 원하지 않는 곳에 도달하면 다른 색의 발광체에 영향을 주게 되어 화면의 색이 어긋나게 되고 특히 대형고화질의 C. R. T.(Cathod Ray Tube)에서 큰 문제가 되고 있다.

본 논문에서는 열복사와 열전도가 주요 열전달 메카니즘인 쉐도우마스크의 열전달해석에 비선형 유한요소법 (nonlinear F. E. M.)을 적용함으로써 시간에 따른 온도분포를 구하였다. 이 결과를 이용한 열변형과 빔의 오차 (beam mislanding)은 참고문헌(7)에 발표할 예정이다.

쉐도우마스크는 수 많은 구멍이 있는데, 이들을 모두 정확하게 고려하기는 불가능하므로 유효열전달계수 (effective conductivity)를 이용하여 해석을 한다. 구멍이 있는 구조물을 구멍이 없는 것으로 열전달해석을 하는데, 열전달계수를 적당한 값으로 하여 같은 열전달 거동을 보이게 하는 것이다. 구멍이 두께 방향과 위치에 따라서 크기와 모양이 변하고 단순한 형상이 아니므로 해석적인 방법으로 유효열전달계수를 구하기는 어렵다. 두께 방향으로 구멍의 크기가 변하는 것을 고려하기 위하여 쉐도우마스크를 몇 개의 층으로 나누고 각 층을 대표할 수 있는 구멍의 형상을 선정 한 다음 유한요소법을 이용하여 근사적인 유효열전달계수를 구하였다. 즉, 각 층마다 재료의 성질이 다른 비균질 (heterogeneous)재료를 해석을 하였다.

쉐도우마스크와 프레임 (frame)은 여러 곳에서 점용접이 되어 있는데, 용접점에 해당하는 절점 (node)을 공유시켜 서로간의 열전달을 표현하였고 열복사의 계산에 필요한 주변온도 (surrounding temperature)는 실험값이 없어서 추정값을 사용하였다. 열복사로 인한 열전달 지배방정식이 비선형이므로 선형화하여 반복계산을 하면 원하는 시간의 온도분포를 구할 수 있는 프로그램을 작성하였다. 예제로 21" FST (Full Square Tube) 쉐도우마스크에 대하여 각 시간별로 온도분포를 계산하였다.

## 2. 쉐도우마스크의 기본설명

C. R. T. (cathod ray tube) 벽면의 재질은 유리로 되어 있고 화면의 안쪽면에는 형광물질이 도포 되어 있다. 전자총에서 화면의 정보를 담은 전자빔이 차례로 나오게 되면 편향코일 (deflection coil)에 의해서 전자빔이 굽게되어 원하는 위치에 도달

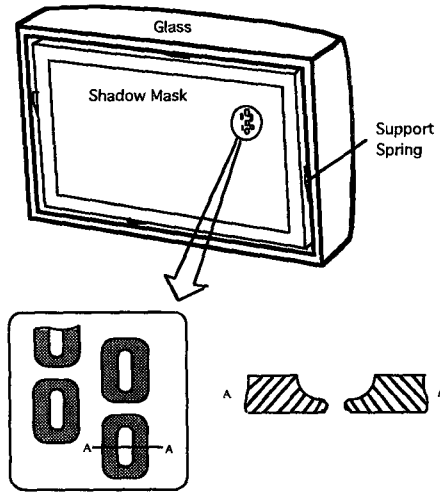


Fig. 1 Side view of shadow mask assembly and aperture geometry

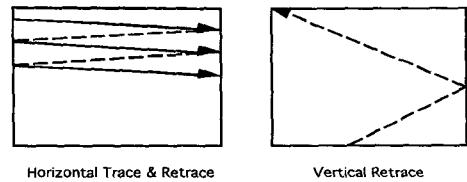


Fig. 2 Beam scanning pattern on screen of C.R.T.

하게 된다. 쉐도우마스크는 화면의 바로 안쪽에 위치하는데 일반적으로 평면이 아니고 곡률을 갖는 곡면으로 되어 있다. 쉐도우마스크는 프레임 (frame)과 몇 곳에서 점용접이 되어있고 프레임의 옆면에는 지지강쇠 (support spring)가 있어 C. R. T. 벽면에 있는 돌출물 (stud)에 끼워져 있다. 쉐도우마스크의 두께는 0.2~0.3 mm 정도로 수십 만개의 작은 구멍들이 있는데 전자빔의 산란을 막기 위해 전자총에서 바라본 곳은 좁고 화면 방향으로 갈수록 넓어지는 3차원 형상을 하고 있다. 보통 구멍은 슬릿 (slit) 형태로 되어 있고 구멍의 크기나 형상은 위치에 따라서 다르게 되어 있다. 구멍 중심 간의 수평거리를 수평피치 (horizontal pitch), 수직거리를 수직피치 (vertical pitch)라 한다. Fig. 1에 쉐도우마스크의 전체모습과 구멍의 모습이 있다.

전자총에서 나온 전자빔은 화면의 정보를 순서적으로 갖고 있는데 화면의 왼쪽에서 오른쪽으로 움직이면서 전자빔이 화면에 부딪히게 된다. 전자빔이 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하는 동안 조금씩 아

랫방향으로 이동하게 되고 오른쪽 끝에서 다시 왼쪽 끝으로 오는 동안에는 전자빔의 방출이 멈추게 된다. 한 화면을 만든 후에는 다시 원 위치로 전자빔이 돌아가게 되는데 이 경우에도 전자빔의 방출이 멈추게 된다. 화면에서 수평방향의 회귀를 수평 회귀 (horizontal retrace)라 하고 수직방향의 회귀를 수직회귀 (vertical retrace)라 한다. 현재 방송 중인 T. V.는 525줄에 초당 30화면을 만든다(Fig.2).<sup>(6)</sup>

### 3. 웨도우마스크의 온도분포 해석

#### 3.1 웨도우마스크의 형상

웨도우마스크의 형상은 하나의 함수로 표현하기 어렵고 일반적으로 몇 개의 곡률반경을 이용하여 나타내고 있다. 웨도우마스크 마다 표현방법에 차이가 있기 때문에 곡면의 대표적인 위치 값들을 갖고 나머지 부분을 표현할 수 있는 Bezier 곡면 (surface) 방법을 사용하였다. 식 (1)에 Bezier곡면에 대한 표현식이 주어져 있다.<sup>(5)</sup>

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f(x_i, y_j) J_{n-1, j-1}(u) J_{m-1, i-1}(w) \quad (1)$$

$$J_{n,j} = \binom{n}{j} u^j (1-u)^{n-j}; 0 \leq u, w \leq 1$$

#### 3.2 열입력의 계산

전자총에서 나온 전자빔의 세기는 시간에 따라서 다르고 웨도우마스크를 지나가는 선속도도 위치에 따라서 조금씩 달라질 것이다. 화면의 선속도가 일정하여야 화면의 밝기가 일정하므로 되도록이면 선속도가 위치에 상관없이 같아지게 설계를 하고 있다. 본 연구에서는 위치에 상관없이 같은 선속도를 사용하였고 전자빔의 세기는 평균적인 값을 사용하였다.

전자총에서 나온 전자빔이 웨도우 마스크를 지날 때 일부만 구멍을 통과하고 나머지는 웨도우마스크와 충돌하여 열에너지로 변환된다. 전자총에서 나오는 출력(power)은 C. R. T. 내부에 가하는 전압에 전자총의 전류를 곱하면 계산이 되고 순수하게 웨도우마스크와 충돌하는 전자빔은 구멍의 크기에 따라 정해진다. 전자빔이 수평방향으로 회귀하는 경우나 수직방향으로 회귀하는 동안에는 방출되지 않고 웨도우마스크 표면에 충돌한 후에 반사되는 양을 고려해야 한다. 전자빔이 웨도우마스크 크기보다 더 넓은 영역을 주사하므로 프레임(frame)에

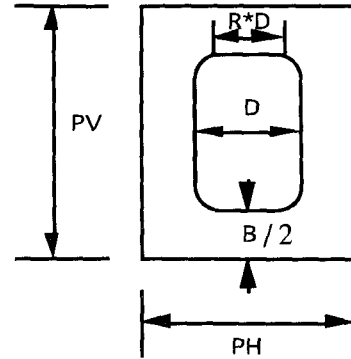


Fig. 3 Aperture of slit shape

도 열입력이 있게 된다. 구멍이 있는 영역의 단위 면적당 열입력은 전자총에서 나오는 출력을 웨도우마스크 면적으로 나누고 수평수직회귀와 구멍의 형상을 고려하면 식 (2)와 같다.

$$q_{in} = \frac{\alpha P}{A_{mask}} (1 - e_h) (1 - e_v) \left( 1 - \frac{A_s}{PH \times PV} \right) \quad (2)$$

- $P$  : 웨도우마스크에 들어오는 전자총의 출력(power)
- $A_{mask}$  : 웨도우마스크 전체 면적.
- $A_s$  : 구멍의 면적.
- $e_h$  : 수평회귀 시간/1줄을 만드는데 걸리는 시간,
- $e_v$  : 수직회귀 시간/1화면을 만드는데 걸리는 시간
- $\alpha$  : 웨도우마스크 표면에서 열입력 흡수율(absorptivity)

구멍의 모양이 슬릿(slit)형태이고 윗 부분을 하나의 원호로 처리하기에는 부족하여서 일부는 직선으로하고 일부는 원호로하여 구멍의 모양을 표현하였다. Fig. 3에서와 같이  $R$ 이라는 새로운 변수를 도입하여 구멍 윗부분의 형태를 근사하였다. 뒤에서 설명할 유효열전달계수도 이와 같은 표현을 이용하였고 이 표현에 대한 구멍의 면적은 식 (3)과 같다.

$$A_s = (1 - R)^2 \left( \frac{\pi}{4} - 1 \right) D^2 + (PV - B) D \quad (3)$$

#### 3.3 열복사

웨도우마스크에 들어온 열은 내부에서는 전도를

하고 표면에서는 복사를 하게되는데, 전체적으로 볼때 대부분의 열은 복사를 통해서 빠져 나가고 표면에서 방출된 열은 C. R. T. 내부벽면에 도달하여 주변의 온도를 올리게 된다. 표면의 상태에 따라서 열복사되는 양이 달라지는데, 표면을 흑화시켜서 열복사를 크게하고 있다. 열복사를 정확하게 계산하기 위해서는 열복사에 대한 복잡한 방정식을 전체 C. R. T. 에 대하여 3차원 해석을 하여야 하나 이 계산이 단순하지가 않고 많은 계산시간을 요구하므로 여기서는 쉐도우마스크를 둘러싸고 있는 벽면을 흑체(black body)로 가정하고 평균적인 주변 온도(surrounding temperature)를 사용하였다. 주변온도에 대한 직접적인 측정값이 없어서 바깥 벽면에서 측정한 온도를 바탕으로 내부온도를 추정하였다. 구멍에서는 열복사가 없으므로 구멍의 면적을 고려한 단위 면적당 나가는 열은 식 (4)와 같고 이 식은 유한요소법에 적용할 수 있다.

$$q_{out} = \left(1 - \frac{A_s}{PH \times PV}\right) (\epsilon_1 \sigma (T^4 - T_{s1}^4) + \epsilon_2 \sigma (T^4 - T_{s2}^4)) \quad (4)$$

- $A_s$  : 구멍의 면적
- $\epsilon_1, \epsilon_2$  : 앞면과 뒷면의 방사율(emissivity)
- $T_{s1}, T_{s2}$  : 앞면과 뒷면의 주변온도
- $\sigma$  : Stefan-Boltzmann 상수(=5,669  $\times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

3.4 유효열전달계수

쉐도우마스크에는 무수히 많은 구멍이 있는데 구멍의 형상을 모두 고려하여 계산하기는 불가능하므로 구멍이 없는 구조물로 가정하여 계산하였다. 열전달문제의 해석에서 구멍이 없는 구조물이 구멍이 있는 것과 같은 결과가 나오기 위해서는 열전달계수를 바꾸어야 하는데, 이것들을 유효열전달계수라 한다. 쉐도우마스크 안에서 구멍의 형상을 대표할 수 있는 부분을 Fig. 4와 같이 선택하고 이 모델을

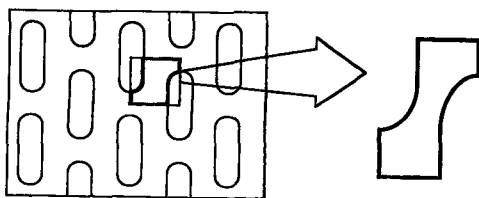


Fig. 4 Model for effective thermal conductivity

적절한 경계조건을 주어 해석을 하면 근사적인 값을 구할 수 있다.

x방향의 유효열전달계수를 구하기 위하여 윗면과 아랫면은 단열을 하고 오른쪽 면의 온도를 고정시킨다. 그리고 왼쪽 면에 열을 가한 문제를 풀게되면 왼쪽 면과 오른쪽 면의 온도차이가 나오게 되므로 유효열전달계수를 계산할 수 있다. y방향의 경우도 왼쪽 면과 오른쪽 면을 단열하고 아랫면에 열을 주어 계산할 수 있다. 쉐도우마스크의 두께가 얇고 열전도계수가 크기 때문에 구멍 사이의 열복사로 인한 열전달은 무시할 수 있다. 예를 들어 왼쪽 면의 온도를 60°C로 하고 오른쪽 면의 온도를 55°C로 한 경우 열복사에 의한 열전달은 전체 열전달의 0.01%정도가 되었다.

모든 계산은 유한요소법을 이용하여 계산하였고 Fig. 5에 유효열전달계수를 구하기 위한 경계조건이 주어져 있다. 구멍이 여러 개있는 모델에 대해서 유효열전달계수를 ABAQUS를 이용하여 계산한 결과가 Fig. 6에 있는데, 이 번 해석에서 사용

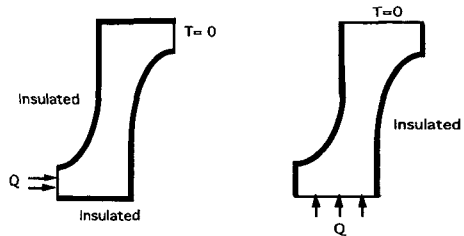


Fig. 5 Boundary conditions for effective thermal conductivity analysis

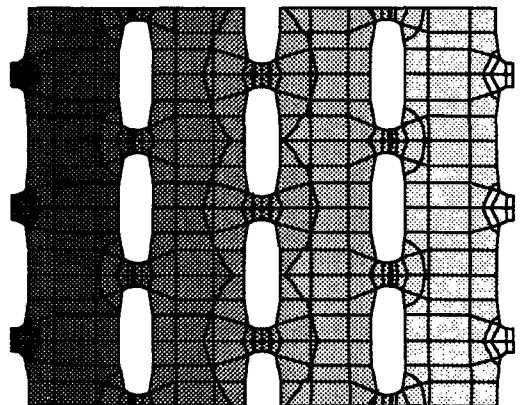


Fig. 6 Heat transfer analysis to verify effective thermal conductivity

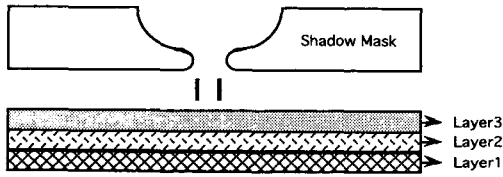


Fig. 7 Laminate of 3 different material properties

된 간단한 모델에 대한 계산과 차이가 2~3% 정도로 거의 같은 값이 나왔다.

구멍이 없는 같은 크기의 판을 생각할때 양쪽 면의 온도차이와 통과하는 열량이 구멍이 있는 것과 같다면 이 판의 열전달계수가 유효열전달계수라 할 수 있고 단위 두께당 x방향과 y방향의 유효열전달계수는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 -(k_x)_{eff} \frac{\Delta T}{PH} &= \frac{2Q}{PV} \\
 -(k_y)_{eff} \frac{2\Delta T}{PV} &= \frac{Q}{PH} \quad (5)
 \end{aligned}$$

여기서  $\Delta T$ 는 오른쪽 면과 왼쪽 면의 온도 차이이고  $(k_x)_{eff}$ 와  $(k_y)_{eff}$ 는 x, y방향의 유효열전달 계수이다. 유효열전달계수는 섀도우마스크의 여러 층에서 계산을 하게 되는데, 각 층에서 구한 값들의 평균값을 취하여 이용하여도 되지만 조금 더 정확하게 계산하기 위하여 재료성질이 다른 여러 층으로 가정하여 계산하였다. 섀도우마스크를 몇 개의 층으로 나누고 각 층을 대표할 수 있는 구멍의 형상을 선정한 다음 각각에 대한 유효열전달계수를 구한다. 3층으로 가정하였을 경우의 모양이 Fig. 7에 있다.

#### 4. 유한요소법에 의한 셸(Shell) 구조물의 온도분포 해석

##### 4.1 요소(Element)의 좌표

중간면(mid-surface)의 좌표는 2차원 형상함수(shape function)만 갖고 표현이 되지만 다른 부분의 좌표에 대한 것은 절점(node) 좌표만 가지고 표현할 수 없고 셸의 두께와 각 절점에서 아랫면과 윗면을 연결하는 단위벡터들을 형상함수로 내삽하여 표현한다.  $V_3^k$ 는 k-Node에서 아랫면과 윗면을 연결하는 단위벡터이고 Fig. 8에서와 같이 정육면체의 요소를 실제의 셸 요소로 3차원 사상(mapping)을 하게 되는데, 식 (6)을 사용하여 내

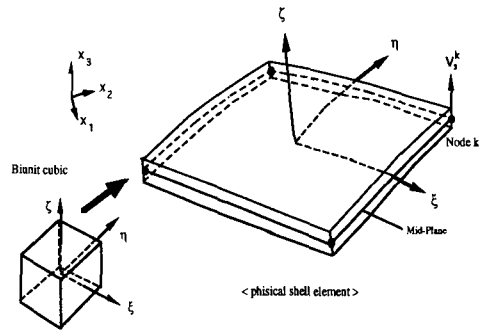


Fig. 8 Mapping of the bicubic into the physical shell element

부의 모든 좌표를 표현할 수 있다. (4)

$$\begin{aligned}
 x_i(\xi, \eta, \zeta) &= \sum_{k=1}^n N^k(\xi, \eta) x_i^k \\
 &+ \sum_{k=1}^n \frac{t}{2} \zeta N^k(\xi, \eta) V_{3i}^k \quad (6)
 \end{aligned}$$

$N^k(\xi, \eta)$  : 형상함수(shape function)

$t$  : 셸의 두께

##### 4.2 온 도

섀도우마스크의 두께방향으로 전도에 의한 열전달은 작은양이므로 두께방향으로는 온도의 변화가 없다는 가정을 하여 온도분포를 표현하면 식 (7)과 같이된다.

$$\theta(\xi, \eta) = \sum_{k=1}^n N^k(\xi, \eta) \theta_k \quad (7)$$

여기서  $\theta_k$ 는 절점k의 온도이다.

##### 4.3 열전달 방정식의 유한요소 수식화

요소(element) 곡면의 곡률이 작지 않을 경우 열전달의 지배방정식을 만들려면 여러가지 복잡한 수식이 포함되야 하나 곡률이 작을 경우는 평면에서의 열전달과 마찬가지로 근사할 수 있으므로 국부(local) 좌표계에서 열전도와 열복사를 고려하여 지배방정식을 만들면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 T \left( k_{11} \frac{\partial^2 \theta}{\partial (x_1)^2} + k_{22} \frac{\partial^2 \theta}{\partial (x_2)^2} \right) + q_{in} \\
 = \rho c t \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \epsilon_1 \sigma (\theta^4 - \theta_{s1}^4) + \epsilon_2 \sigma (\theta^4 - \theta_{s2}^4) \quad (8)
 \end{aligned}$$

$\theta$  : 온도

$k_{11}, k_{22}$  : 국부좌표계의 열전도계수

$c$  : 비열 (specific heat)  
 $t$  : 셀의 두께  
 $\tau$  : 시간

위의 방정식을 가중함수(weighting function)를 이용하여 적분식으로 표현을 하고 비선형 항들을 선형화 하기 위하여  $\theta^{(n,i+1)} = \theta^{(n,i)} + \Delta\theta^{(n,i+1)}$ 로 하여 1차항 까지 Taylor전개를 하면 선형화된 방정식을 얻을 수 있고 시간에 대한 미분은 차분식을 이용하여 나타냈다. (3) 여기서  $n$ 은 시간간격(time step)수이고  $i$ 는 한 시간간격에서 반복계산의 반복(iteration) 횟수이다.

$$\begin{aligned} & (-) \int_A \left\{ t \left[ k_{11} \left( \frac{\partial \theta^{(n,i)}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Delta\theta^{(n,i+1)}}{\partial x_1} \right) \frac{\partial w}{\partial x_1} \right. \right. \\ & \left. \left. + k_{22} \left( \frac{\partial \theta^{(n,i)}}{\partial x_2} + \frac{\partial \Delta\theta^{(n,i+1)}}{\partial x_2} \right) \frac{\partial w}{\partial x_2} \right] + qw \right\} dA \\ & = \int_A \left\{ \rho c t \frac{\theta^{(n,i)} + \Delta\theta^{(n,i+1)} - \theta^{(n)}}{\Delta\tau} w \right. \\ & \left. + \varepsilon_1 \sigma ((\theta^{(n,i)})^4 w \right. \\ & \left. + 4(\theta^{(n,i)})^3 \Delta\theta^{(n,i+1)} w - \theta_{s1}^4 w) + \varepsilon_2 \sigma ((\theta^{(n,i)})^4 w \right. \\ & \left. + 4(\theta^{(n,i)})^3 \Delta\theta^{(n,i+1)} w - \theta_{s2}^4 w) \right\} dA \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } \frac{\partial \theta}{\partial \tau} &= \frac{\theta^{(n,i+1)} - \theta^{(n,0)}}{\Delta\tau} \\ &= \frac{\theta^{(n,i)} + \Delta\theta^{(n,i+1)} - \theta^{(n)}}{\Delta\tau}, \end{aligned}$$

$$\theta^{(n,i+1)} = \theta^{(n,i)} + \Delta\theta^{(n,i+1)}$$

식 (9)에 형상함수(shape function)를 이용하여 표현을 하고 미지수인  $\Delta\theta^{(n,i+1)}$ 의 항을 왼편으로 하면 식 (10)를 얻을 수 있다. 셀의 두께  $t$ 는  $\zeta$ 방향의 적분으로 바뀌고 구조해석에서의 변형률과 같은 차수의 다항식으로 내삽(interpolation) 되도록 열전달문제는 4절점 요소를 사용하였다. 지배방정식은 평판에 대한 식이지만 식 (10)의 모든 좌표는 곡률을 갖는 셀에 대한 값들을 이용하였고 쉐도우마스크를 재료성질이 다른 몇 개의 층으로 나누었기 때문에 두께 방향의 적분을 할 때 각 층 별로 하였다.

$$\begin{aligned} & \sum_{b=1}^n \left[ \int_A \int_{-1}^{-1} \left( R_{11} \frac{\partial N^a}{\partial x_1} \frac{\partial N^b}{\partial x_1} \right. \right. \\ & \left. \left. + k_{22} \frac{\partial N^a}{\partial x_2} \frac{\partial N^b}{\partial x_2} \right) j d\zeta dA \right. \\ & \left. + 4 \int_A (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \sigma \theta^3 N^a N^b j_s dA \right. \\ & \left. + \int_A \int_{-1}^{-1} \frac{\rho c}{\Delta\tau} N^a N^b j d\zeta dA \right]^{(n,i)} \Delta\theta^{b(n,i+1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & = \int_A q N^a j_s dA + \int_A (e_1 \sigma \theta_{s1}^4 + e_2 \sigma \theta_{s2}^4) N^a j_s dA \\ & - \left[ \sum_{b=1}^n \int_A \int_{-1}^{-1} \left( R_{11} \frac{\partial N^a}{\partial x_1} \frac{\partial N^b}{\partial x_1} \right. \right. \\ & \left. \left. + k_{22} \frac{\partial N^a}{\partial x_2} \frac{\partial N^b}{\partial x_2} \right) j \theta^b d\zeta dA \right. \\ & \left. + \int_A (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \sigma \theta^4 N^a j_s dA \right. \\ & \left. + \int_A \int_{-1}^{-1} \frac{\rho c}{\Delta\tau} (\theta - \theta^{(n,0)}) N^a N^b j d\zeta dA \right]^{(n,i)} \quad (10) \end{aligned}$$

여기서  $j$ 는 체적적분을 위한 jacobian이고  $j_s$ 는 표면적분을 위한 jacobian이다.

### 5. 21" FST 쉐도우마스크의 해석결과

예제로 사용된 쉐도우마스크(shadow mask)는 21" T. V.에 사용되는 것으로 Al-Killed강을 쉐도우마스크의 재료로 사용하고 있다. 쉐도우마스크의 표면은 2단 곡률식으로 표현이 되고 일반강의 프레임(frame)과는 구석 4곳과 옆면 4곳의 8곳에서 접용점이 되어 있다. 쉐도우마스크에 있는 구멍의 모양은 슬릿(slit) 형태이고 전자총방향과 반대방향의 구멍크기는 주어져 있으나 중간면에 대한 정보가 없어서 임의로 가정하였다. 쉐도우마스크와 프레임

Table 1 Surrounding temperature

Time (min)		5	10	20	30	60
Surrounding temperature	Front side	25.0	27.0	30.0	32.0	34.0
	Back side	26.0	29.0	33.0	36.0	38.0

Table 2 Material properties

	Al-Killed	Frame
Young modulus(N/mm <sup>2</sup> )	2.2 × 10 <sup>5</sup>	2.0 × 10 <sup>5</sup>
Poisson's ratio	0.25	0.28
Density(kg/mm <sup>3</sup> )	7.85 × 10 <sup>-6</sup>	7.86 × 10 <sup>-6</sup>
Specific heat(J/kg°C)	475.0	470.0
Conductivity(W/mm°C)	5.45 × 10 <sup>-2</sup>	4.3 × 10 <sup>-2</sup>
Coefficient of thermal expansion	1.15 × 10 <sup>-5</sup>	1.2 × 10 <sup>-5</sup>

의 방출률(emissivity)은 0.6과 0.5로 가정하였고 주변온도에 대한 직접적인 실험값이 없어서 Table 1의 값들을 사용하였다. C. R. T. 뒷면의 측정에서 바깥 벽면의 온도가 안정화상태에서 35℃ 정도였는데 뒷 면을 통해서 나가는 열량은 전자총 출력의 50%정도로 하고 유리의 열전도계수인  $1.0 \times 10^{-3}$  W/mm℃를 벽면의 재질로 하였을 때 안 쪽면의 온도는 대략 2℃~3℃정도 높은 온도가 추정되므로 이와 같은 추정 값들을 사용하였다. Table 2에 A1-Killed강과 프레임의 재료상수가 주어져 있고 Fig. 9에 해석에 사용된 웨도우마스크의 개략도가 있다. 5, 10, 20, 30, 60분 상태를 해석하였고 Fig. 10부터 Fig. 14까지 온도분포 결과가 있다. Fig. 15

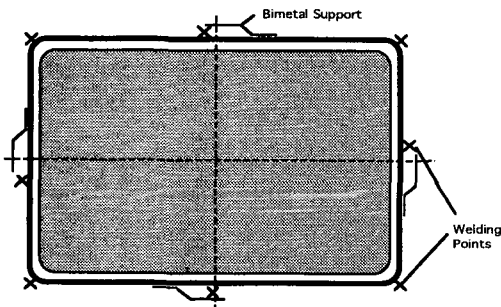


Fig. 9 Schematic diagram of 21" shadow mask

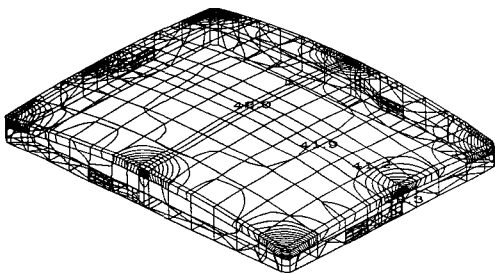


Fig. 10 Temperature distribution after 5 minutes

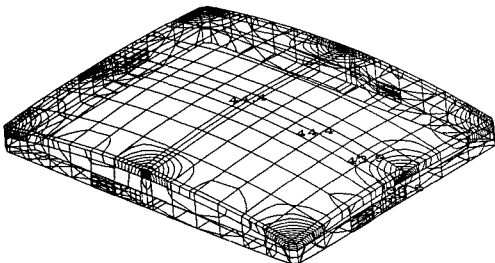


Fig. 11 Temperature distribution after 10 minutes

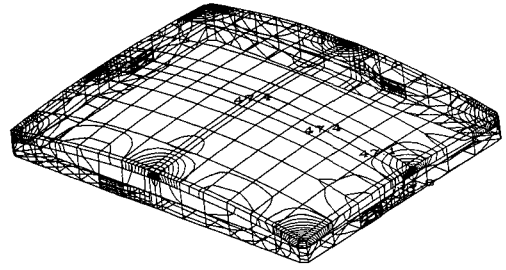


Fig. 12 Temperature distribution after 20 minutes

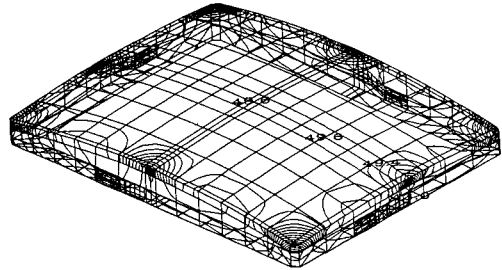


Fig. 13 Temperature distribution after 30 minutes

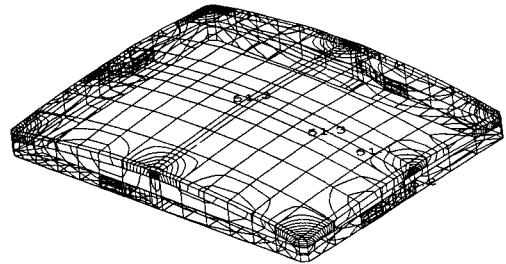


Fig. 14 Temperature distribution after 60 minutes

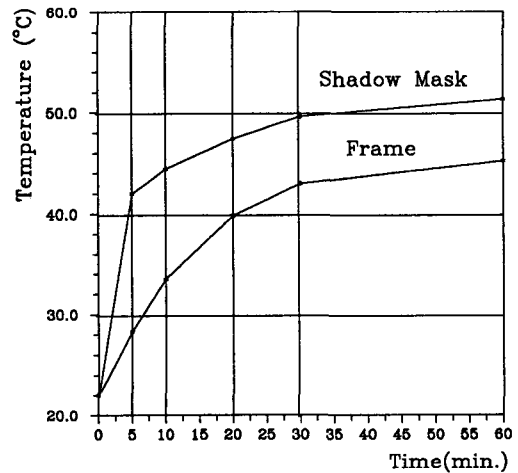


Fig. 15 Temperature of shadow mask and frame

에는 쉘도우마스크의 중심과 프레임의 평균적인 온도를 나타냈다.

해석결과 초기에는 쉘도우마스크의 온도가 프레임(frame)의 온도보다 급격히 올라가는데 쉘도우마스크의 두께가 얇고 직접적인 열입력이 있기 때문이다. 부분적으로 직접적인 열전달이 있고 용접점을 통해서 열이 들어오는 프레임은 온도가 서서히 올라갔다. 60분 정도가 지나면 열입력과 열복사가 평형을 이루어 거의 안정화상태(steady state)가 되고 온도가 가장높게 올라가는 곳은 쉘도우마스크 중심에서 조금 벗어난 곳이다.

## 6. 결 론

구멍이 있는 셸(shell)구조물의 유효열전달계수(effective thermal conductivity)를 계산하여 구멍이 없는 비등방성셸로 모델할 수 있었고 복사로 인한 비선형 지배방정식은 축차에 의해서 해를 구했다. 두께 방향으로 구멍의 모양이 변하는 것을 고려하기 위하여 쉘도우마스크(shadow mask)를 재료성질이 다른 몇 개의 층으로 가정하였다.

21" FST 쉘도우마스크의 온도해석 결과 초기에는 두께가 얇은 쉘도우마스크 부의 온도가 급격히 올라가고 직접적인 열입력이 적고 두께가 두꺼운 프레임(frame)은 온도가 서서히 올라갔다. 안정화상태(steady state)에서 쉘도우마스크 전체가 비슷한 온도를 보였는데 온도가 가장 높게 올라가는 곳은 중심에서 조금 떨어진 곳이었다.

## 후 기

본 연구는 오리온전기주식회사의 지원으로 이루어졌음을 밝히고 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Hidetoshi Yamazaki and Yasuhisa Ohtake, 1986, "Discoloration-Free Invar Mask Color Picture Tubes," TOSHIB A REVIEW NO. 156 SUMMER, pp. 27~32.
- (2) Thomas, J. R. Hughes 1987, "The Finite Element Method," Prentice-Hall, pp. 383~417.
- (3) Bathe, 1982, 1982, "Finite Element Procedures in Engineering aAnalysis," Prentice-Hall, pp. 407~418.
- (4) Hinton, E. and Owen, D. R. J. 1984, "Finite Element Software for Plates and Shells," Pinergidge Press Limited, pp. 235~364.
- (5) David, F. Rogers and J. Alan Adams, 1976, "Mathematical Elements for Compute Graphics," McGraw-Hill Book Company, pp. 176~180.
- (6) 차서욱, "칼라 텔레비전의 기초," 가남사.
- (7) 김현규, 이현용, 김상기, 임세영, "쉐도우마스크의 열변형 해석, Part II : 변형및 빔의 오차," 준비중.