

## 세도우 마스크 장력에 열공정이 미치는 영향

현도익\* · 문영훈\*\* · 조종래\*\*\*

(2003년 2월 28일 접수)

### Effect of Heat Treatment Process on the Shadow Mask Tension

D. I. Hyun, Y. H. Moon and J. R. Cho

#### Abstract

Tension variations with heat treatment in shadow mask for flat braun tubes are investigated in this study. In CRT, landing shift of the electron beam due to thermal deformation of the tension mask made the color purity of screen worse. In order to get the final results of thermal deformation, the tensile force within the mask and the welding processes between the rail and the extended mask have to be analysed sequentially. In this study, the effect of heat treatment is studied in terms of tension variations of shadow mask during its manufacturing process.

**Key Words** : Shadow Mask, Creep, Stress, Strain, Stress Relaxation, Holding, Cooling, Frame

#### 1. 서론

텔레비전 수상기나 컴퓨터에서 사용하는 전자관은 CRT(cathode ray tube)를 근원으로 하여 CPT(color picture tube)와 CDT(color display tube)로 대별된다. CPT는 저해상도로 기존 컬러 텔레비전에 사용되었으며 CDT는 고해상도의 컴퓨터 모니터에 주로 사용되고 있다.<sup>(1~2)</sup> 이런 전자관에는 후미의 전자빔이 방출되고 이 전자빔은 세도우 마스크(shadow mask)내의 구멍을 통과하여 형광면에 충돌하면서 화소(pixel)를 형성하게 된다. 그러나 세도우 마스크의 열변형에 의해서 전자총에서 출발한 전자빔이 세도우 마스크 투과 시에 올바른 위치에 닿지 못하고 오착되는 현상이 발생할 수 있다.<sup>(3)</sup>

근래 고급 모니터에서 고품질을 요구하는 추세에 따라 CDT의 사용과 함께 전자빔 오착의 영향이 더욱 증대되고 있다. 모니터를 동작시키면 온도가 상승하게 되고 모니터안에 있는 세도우 마스크에서는 열변형이 일어난다. 이러한 열변형 또한 고해상도 실현을 저해하는 요인으로 작용한다. Fig. 1은 세도우 마스크의 제조 공정을 보여주고 있다. 보는 바와 같이 세도우 마스크는 흑화(blackening), 전소(burn in), 봉착(frit sealing) 등의 후 공정에서 세 번에 걸친 열처리를 받게된다. 이때 부가될 수 있는 응력 중에 인장성 장력의 경우 크리프(creep)변형을 야기시켜, 크리프로 인한 장력 이완(stress relaxation)이 발생하는

본 연구에서는 세도우 마스크 제조 공정 중 열처리가

\* 부산대학교 공과대학 정밀기계공학과  
\*\* 부산대학교 정밀정형 및 급형가공연구소  
\*\*\* 한국해양대학교 기계·정보공학부

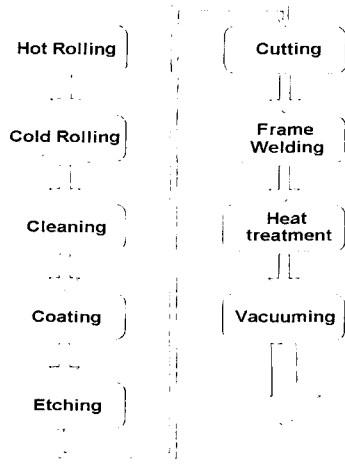


Fig. 1 Manufacturing process of shadow mask

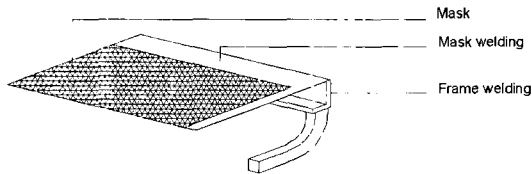


Fig. 2 Temperature measuring points

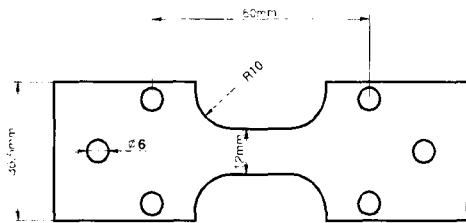


Fig. 3 Schematic drawing of specimen for creep test

장력에 미치는 영향에 대해 연구하고자 한다.

## 2. 실험방법

Fig. 2는 마스크(mask)부와 프레임(frame)부의 가열 및 냉각 속도를 측정하는 실험이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 네 부위로 나누어서 각 부위에 K type 열전대를 점(spot)용접으로 부착 후 4채널 레코더를 이용하여 시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 노의 분위기를 온도를 열처리 조건인 450°C로 맞춘 후 시편을 넣고 30분간 노안에서 유지한 후 공냉으로 상온까지 냉각시켰다.

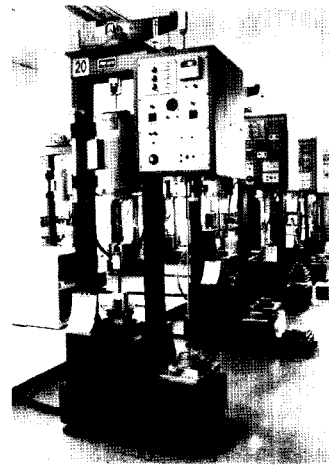


Fig. 4 Creep tester

Fig. 3은 세도우 마스크 용 강판의 크리프 효과의 정도를 보기 위해 제작한 시편이다. 두께가 극히 얇으므로 12mm의 폭을 갖는 시료를 가공하였다.

Fig. 4는 시험에 사용되는 크리프 장비를 보여주고 있다. 실험에 사용된 크리프 장비는 미국ATS사에서 제작한 최대하중 10,000 파운드급 장비를 사용하였다. 홀더에 장착된 시편은 미리 설정된 초기 하중치로 하중을 가한 후 유도 가열을 통해 열처리 온도로 가열시켰다.

## 3. 실험 고찰

Fig. 5는 세도우 마스크의 가열/냉각 측정실험에서 얻어진 온도 변화 분포를 나타내었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 가열/냉각 속도는 극박강판으로 이루어진 마스크부가 빠르고 두꺼운 사각관재로 이루어진 프레임부는 느린 것을 볼 수 있다.

열공정 중에 마스크에 부여되는 장력은

$$\sigma = E(T) \cdot \epsilon_0$$

$$\epsilon_0 = [ \alpha_f ( T_f - 25 ) - \alpha_m ( T_m - 25 ) ] + \text{Initial Tension} / E(T) \quad (1)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $\alpha_f$ ,  $\alpha_m$ 는 프레임과 마스크의 열팽창계수,  $T_f$ ,  $T_m$ 은 프레임과 마스크의 시간에 따른 온도변화이다.

세도우 마스크 장력에 열팽창이 미치는 영향

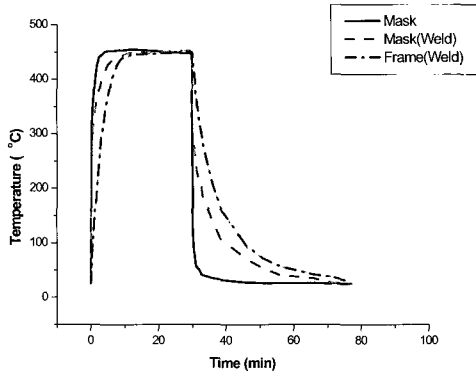


Fig. 5 Temperature variations at 450°C

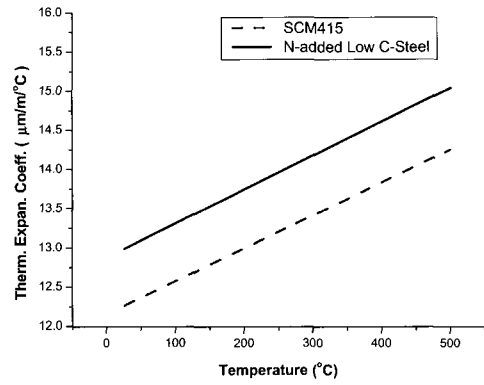
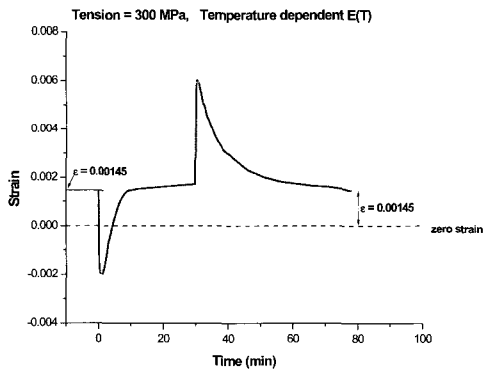
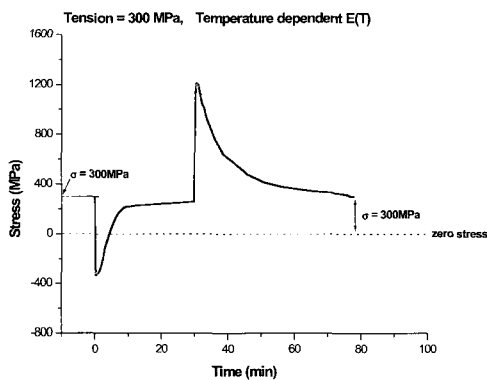


Fig. 7 Thermal Expansion Coefficient at various temperatures



(a) strain



(b) stress

Fig. 6 Stress and stress variations with time

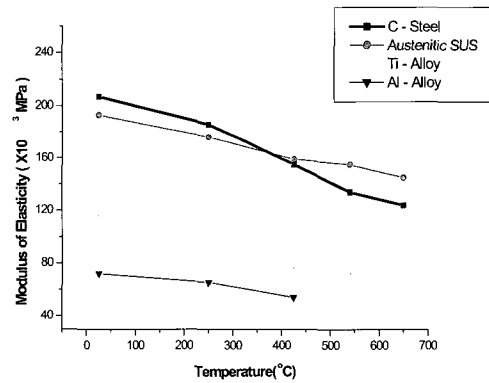


Fig. 8 Modulus of elasticity at various temperatures

식 (1)으로부터 Fig. 6에서는 초기장력(Initial tension)을 300MPa에서 얻어진 응력 변형거동곡선이 얻어진다. 초기에 주어진 300MPa이 온도변화가 완료된 이후에도 그대로 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7은 온도에 따른 열팽창 계수의 변화를 측정할 것이다. 열팽창 계수는 온도가 상승함에 따라 열팽창계수는 선형적으로 상승함을 알 수 있다. 마스크의 소재는 SCM415 이고 프레임의 소재는 질소(N)첨가 저탄소강이다.

Fig. 8 은 온도상승에 따른 탄성계수 E(T)를 나타낸 것이다.<sup>(5)</sup> 일반적으로 용해온도의 반이 되는 온도까지는 탄성계수의 감소가 온도에 따라 직선적으로 일어나고, 그 이상의 온도에서는 감소비율이 높아진다.

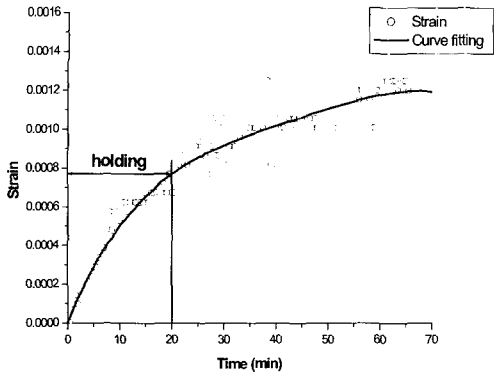
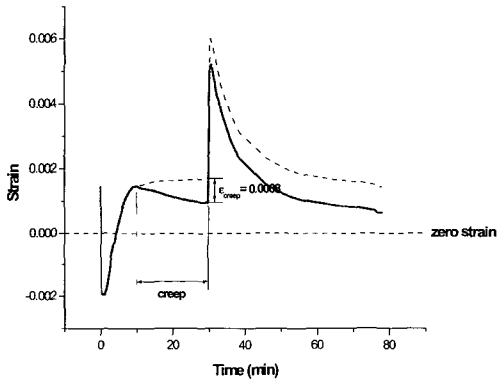
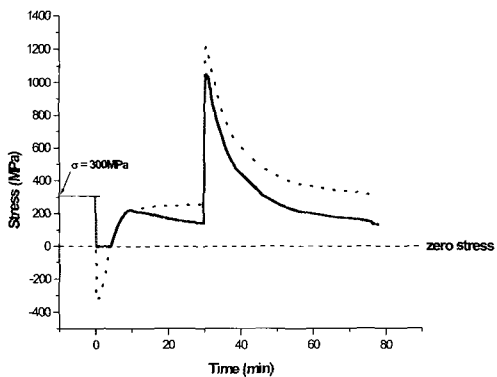


Fig. 9 Creep curve 450°C, 300MPa



(a) strain



(b) stress

Fig. 10 Stress and stress variations with time

Fig. 6에서 나타난 결과에 크리프 효과를 고려해 주기 위해 유지(holding)구간을 설정하였다. 이 유지구간은 온도가 안정화가 되어 가는 구간으로 이때 마스크부에는 초기에 가해진 장력에 의해 크리프 변형을 하게 되며 이로 인해 장력이완(stress relaxation)이 발생하게 된다. 그리고 이 구간은 시편이 노안에 들어간 후 대략 10분이 지나고 시작되며 그 후 20분 정도 진행이 된다. Fig. 9는 크리프 실험에서 얻어진 크리프 곡선이다. 이 곡선으로 유지구간 동안 마스크에서 일어나는 크리프 량을 보상이었다. 따라서,

$$\epsilon_{mt} = \alpha_m \Delta T_t - \epsilon_p + \epsilon_{creep} \quad (2)$$

가 된다. 다시 식 (2)을 식 (1)에 대입하면

$$\begin{aligned} \sigma &= E(T) \cdot \epsilon_0 \\ \epsilon_0 &= [\alpha_f (T_f - 25) - \alpha_m (T_m - 25)] \\ &\quad + \text{Initial Tension}/E(T) - \epsilon_{creep} \end{aligned} \quad (3)$$

가 된다. 식 (3)으로부터 Fig. 10에서의 응력 변형변동곡선이 얻어진다. 처음 10분간은 응력 변형변동곡선이 Fig. 6처럼 변화하지만 유지구간에 도달하면서부터 응력 변형값이 떨어진다. 이 때 변형의 변동폭은 약 0.0008 정도로 크리프 효과의 영향을 많이 받고있다.

세도우 마스크는 30분 동안의 열치리료를 거친 후 냉각을 하게 되는데 Fig. 10에서 보는 바와 같이 응력이 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다. 그런데 초기 장력이 걸린 마스크 부는 항상 탄성한계 내에서 변형을 유지해야 한다. 이를 위해서는 식 (3)에서 구한 응력은 해당온도에서의 항복값 보다 작아야 한다.

결국 과다장력을 방지하기 위해서는 마스크 부의 냉각 속도를 프레임 부에 맞추어서 서냉시키거나 프레임부의 냉각속도를 마스크 부의 냉각속도에 맞추어서 가속냉각을 시켜야 한다. 여기서 식 (3)으로부터

$$\begin{aligned} \sigma_{YS} &> E[\alpha_f (T_f - 25) - \alpha_m (T_m - 25)] \\ &\quad + \text{Initial Tension}/E(T) - \epsilon_{creep} \end{aligned} \quad (4)$$

따라서

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{YS} - E(\text{Initial Tension}/E(T) - \epsilon_{creep})}{E} &> \alpha_f (T_f - 25) - \alpha_m (T_m - 25) \end{aligned} \quad (5)$$

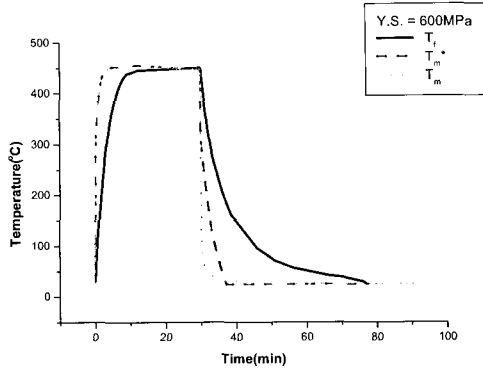


Fig. 11 Mask temperature control

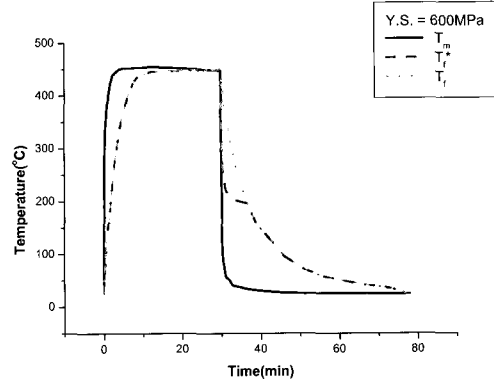


Fig. 13 Frame temperature control

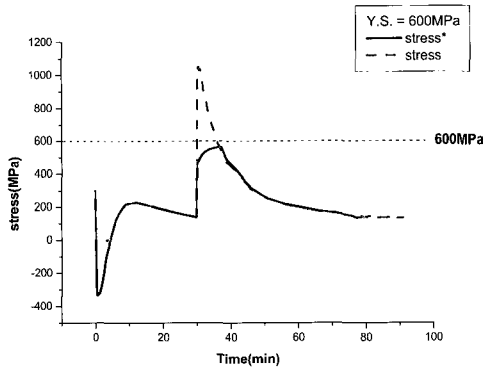


Fig. 12 Stress curve after cooling rate control in the mask

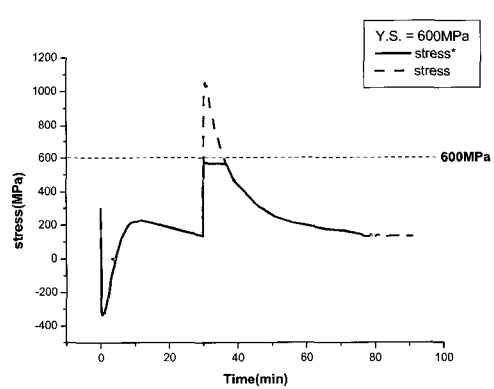


Fig. 14 Stress curve after cooling rate control in the frame

결국, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

마스크부의 냉각속도를 제어하기 위해서  $T_m$ 을  $T_m^*$ 로 바꾸고 전개하면

$$T_m^* > \frac{1}{a_m} \left[ a_f (T_f - 25) - \frac{\sigma_{YS} - E(\text{Initial Tension}/E(T) - \epsilon_{creep})}{E} \right] + 25 \quad (6)$$

프레임부의 냉각속도를 제어하기 위해서  $T_f$ 을  $T_f^*$ 로 바꾸고 전개하면

$$T_f^* < \frac{1}{a_f} \left[ a_m (T_m - 25) - \frac{\sigma_{YS} - E(\text{Initial Tension}/E(T) - \epsilon_{creep})}{E} \right] + 25 \quad (7)$$

Fig. 11은 식 (6)에서 얻어진 마스크 부의 온도를 대입하여 냉각곡선을 그린 것이다. 이 때  $\sigma_{YS}$  는 600MPa로 계산하였다. 마스크 부의 냉각속도가 실험에 의해 얻어진 냉각속도보다 현저히 빠른 것을 볼 수 있다. Fig. 12는 Fig. 11에서 얻어진 냉각속도를 이용하여 응력곡선을 나타낸다. Fig. 12의 응력곡선을 보면 냉각구간에서 급격히 상승하여 있던 것이 열간 항복응력 이하로 유지되고 있음을 보여주고 있다. 이는 마스크 부의 서냉으로 인해 열수축이 억제됨으로써 프레임 부와의 열수축 차이를 감소시킬 수가 있기 때문이다.

Fig. 13은 식 (7)에서 얻어진 프레임 부의 온도를 대입하여 냉각곡선을 그린 것이다. 역시  $\sigma_{YS}$  를 600MPa로 계산하였다. 여기서도 프레임 부의 냉각속도가 극부적으로 순간 냉각이 진행 되어 함을 볼 수 있다. Fig. 14는

이 온도분포를 이용하여 구해진 응력곡선을 나타낸다. Fig. 14의 응력곡선을 보면 Fig. 12에서 보이는 응력 곡선보다 직선적으로 열간 항복응력 이하로 유지되고 있음을 보여주고 있다. 이는 프레임 부의 가속냉각으로 인해 열수축을 촉진시킴으로써 마스크 부와의 열수축 차이를 감소시킬 수가 있기 때문이다.

결국 마스크 부와 프레임 부의 냉각속도 제어를 통해 세도우 마스크의 장력을 탄성한계 내에서 적정하게 유지시킬 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

세도우 마스크 열처리 공정 중에 발생하는 장력이완을 세도우 마스크 가열/냉각실험과 크리프 시험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 마스크와 프레임에 걸리게 되는 장력은 초기장력, 가열/냉각속도, 온도별 탄성계수 및 크리프 저항성에 의해 결정된다.

(2) 마스크와 프레임에 걸리게 되는 장력은 마스크의 탄성한계구간 내에서 유지되는 것이 바람직하며 마스크와 프레임의 냉각속도를 제어할 수 있으면 세도우 마스크의 장력을 탄성한계 내에서 유지할 수 있다.

(3) 마스크부와 프레임부의 냉각속도를 제어할 경우

걸리는 장력이 탄성한계 이내로 유지되기 위해서는

$$\frac{\sigma_{YS} - E(\text{Initial Tension}/E(T) - \epsilon_{\text{accp}})}{E} > \alpha_f(T_f - 25) - \alpha_m(T_m - 25)$$

와 같은 조건이 필요하다.

#### 참고 문헌

- (1) 김의선, 1998, "shadow mask의 열변형 해석", 한양대학교 산업대학원 석사학위논문.
- (2) A. M. morrell, H. B. Law, E. G. Ramberg, E. W. Herold, 1974, "Color television pictures", Academic press, newYork and London.
- (3) HDTV 용어사전편찬위원회, 1991, "HDTV 용어사전", 서울대학교 뉴미디어 통신 공동연구소.
- (4) Taki Akira, Honda Masanobu, Araya Jun, "41cm Pure Flat Color Monitor Tube System".
- (5) American Society of Metals, 1985, Mechanical Testing, Metals Park, Metals Handbook Ninth Edition Volume 8, p. 23 <Table 1>.