

완전평면 브라운관의 고온 변형률 측정에 관한 연구

강대진*, 김국원**, 한응교***

A Study on the High-Temperature Strain Measurement of Perfectly Flat CRT

Dae-Jin Kang*, Kug Weon Kim** and Eung Kyo Han***

ABSTRACT

The measurement of the high-temperature strains is one of the challenging subjects in mechanical engineering. For the precise measurement, proper high-temperature strain gauge, cement and skilled technique are needed. In this paper, a high-temperature strain measurement is performed for the perfectly flat CRT. As this CRT is structurally very weak, cracking of the panel frequently occurs during the heat cycle in the furnace. From the measured strain variations of the panel with tension shadow mask, the crack behavior can be explained.

Key Words : High-Temperature Strain (고온 변형률), Perfectly Flat CRT(완전평면 브라운관)

1. 서론

최근 LG전자에서는 화면의 곡률반경이 무한대인 완전평면 브라운관(플랫트론)을 개발하였다. 화면이 완전평면을 이루게 되면, 외부 빛의 반사에 의한 화면의 왜곡현상이 사라지고, 눈의 피로감도 현저히 감소시킬 수 있다. Fig. 1은 완전평면 브라운관과 일반 브라운관의 구조를 나타낸 그림이다. 완전평면 브라운관의 새도우 마스크에는 인장력이 인가되어 있고 이를 레일이 지지하고 있으며, 이 레일은 브라운관 앞 유리인 패널과 접촉되어 있다.⁽¹⁾ 이 때, 접착제로는 프릿글라스를 사용하고 패널과, 새도우 마스크가 용접되어 있는 레일을 열풍로에 넣어 약 440 °C까지 온도를 서서히 상승시키는 공정을 거치게 된다. 이러한 열처리 공정중에 패널의 파손이 종종 발생하는데, 이의 해결을 위해

서는 열풍로 내에서의 패널, 레일, 새도우 마스크의 기계적 거동을 파악하는 것이 무엇보다도 중요한 일이 될 것이다.

본 연구에서는 열풍로 내에서 패널의 열적 거동에 대해 고온용 스트레인 게이지를 사용하여 직접 측정하고 그 특성을 살펴보고, 440 °C까지의 고온 변형률 측정에 있어서의 문제점들을 고찰해보기로 하겠다.

2. 고온변형률 측정 시스템

2.1 기본 원리

스트레인 게이지의 이론은 다음과 같다.⁽²⁾ 우선 한 가닥의 저항선에 대하여 생각해 보기로 한다. 저항선의 전체 길이에 대해서 재질이 균일하다면 저항선의 전기저항 R 은 선의 길이 l 에 비례하고,

* 한국산업기술대학교
** 천안공업대학 용접기술과
*** 한양대학교

단면적 S 에 반비례한다. 그리고 재질에 따라 그 저항치가 달라지며 재료의 단위 길이, 단위 면적 당의 저항(비저항 ρ)에도 비례한다. 따라서

$$\text{저항 } (R) = \text{비저항 } (\rho) \times \frac{\text{길이 } (l)}{\text{단면적 } (S)} \quad (1)$$

여기서 저항 R 의 단위는 Ω (ohm) 이다. 이 저항선을 인장이나 압축하게되면 길이는 Δl 만큼 변화하며 단면적 S 역시 감소 또는 증가한다. 이때 저항은 식(1)에 따라 증가 또는 감소하는데, 이 증가분 또는 감소분을 ΔR 이라 하자. 저항의 변화율 $\Delta R/R$ 은 길이변화율 $\Delta l/l$ 에 비례하며, 이 때 $\Delta l/l$ 은 바로 변형률 ϵ 이다. 비례상수를 F 라 하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\Delta R/R = F\epsilon \quad (2)$$

식(2)에서 F 의 값은 단위 변형률당의 저항변화율 즉, 변형률에 대한 감도를 표시하는 상수이며 게이지율(gauge factor)이라 불린다. 이 게이지율 F 는 금속저항 게이지의 경우 일반적으로 2.0 정도의 값을 지니고 있다.

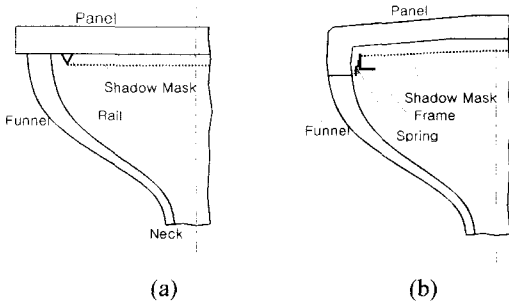


Fig. 1 Perfectly flat CRT vs. Conventional CRT: (a) perfectly flat CRT; (b) Conventional CRT

2.2 고온 게이지의 온도 특성

고온 게이지는 일종의 특수 환경에서 사용되는 게이지로서 여러 약조건에도 견딜 수 있는 게이지이며, 온도, 주위환경, 온도변화 등의 피측정체에 따라 적합한 게이지를 선택하는 것이 가장 중요하다.

스트레인 게이지의 특성이 온도에 따라 변화하는 것을 스트레인 게이지의 온도특성이라 하며, 보통 열응력 측정에서는 고온영역과 저온영역 모두, 여러 가지 특성변화 중에서 온도에 따른 길보기 스트레인 게이지의 출력변화와 게이지율의 변화 두 가지를 생각하면 된다.

게이지율 변화

상온 T_0 에서 변형률을 ϵ_0 라 하고, 온도 T_1 에서의 변형률을 ϵ_1 라 하자. 상온과 온도 T_1 에 있어 게이지율을 F_0, F_1 이라고 하면 상온 및 온도 T_1 에서의 변형률은 다음과 같이 정의된다.

$$\epsilon_0 = \frac{\Delta R/R}{F_0}, \quad \epsilon_1 = \frac{\Delta R/R}{F_1} \quad (3)$$

측정기에는 상온에서의 게이지율이 설정되어 있으므로 측정기가 표시하는 변형률 ϵ_M 은 다음과 같다.

$$\epsilon_M = \frac{\Delta R/R}{F_0} = \frac{\Delta R/R}{F_0} \frac{F_1}{F_1} = \epsilon_1 \frac{F_1}{F_0} \quad (4)$$

따라서 실제 변형률과 측정기가 표시하는 변형률사이에는 다음의 관계식이 성립한다.

$$\frac{\epsilon_M}{\epsilon_1} = \frac{F_1}{F_0} \quad (5)$$

측정변형률과 열변형률의 관계

열응력과 외력이 가해진 상태의 변형률 측정기의 지시 변형률 ϵ_{app} 은 게이지를 접착한 시편의 온도변화에 따라 다음과 같이 표시된다.

$$\epsilon_{app}(T) = \left(\frac{F_T}{F_0} \right) \epsilon(T) + U(T) \quad (6)$$

여기서 $U(T)$: 온도 T 에서의 열출력

$\frac{F_T}{F_0}$: 온도 T 에서의 게이지율 변화

그러므로 응력에 의한 변형률 ϵ 은 다음과 같다.

$$\epsilon(T) = \{ \epsilon_M(T) - U(T) \} \left(\frac{F_0}{F_T} \right) \quad (7)$$

이러한 관계로부터 응력에 의한 변형률은 각 온도에 있어서 생기는 열출력과 게이지율 변화의 값을 미리 알지 못하면 결정지을 수가 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 여기 두 가지 물리량은 스트레인 게이지의 주된 온도 특성이라고 볼 수 있다.

3. 측정 및 검토

3.1 시편과 측정위치

완전평면 브라운관의 제작공정상 베이킹 공정에서는, 인장력이 가해진 새도우 마스크를 레일에 용접한 후 패널과 프릿글라스로 접착을 하게 된다. 본 실험에서는 패널과 레일을 접착시키는 공정에서 패널의 열적거동을 정확히 측정하기 위하여, 마스크 자체, 패널 자체, 패널에 레일을 접착한 시편 및 패널에 마스크가 용접된 레일을 접착한 시편 각각 4종류를 준비하여, 온도상승에 따른 변형률을 측정, 비교하였다. 시편과 측정위치는 Fig. 2에 나타나 있다.

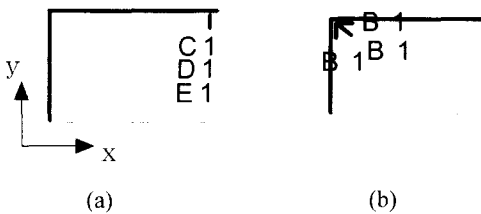


Fig. 2 Measurement points for: (a) panel alone(C1Y), panel/rail(D1Y), panel/rail/shadow mask(E1Y); (b) shadow mask

3.2 측정방법

본 측정에서는 상온에서 440 °C까지 약 2시간동안 온도를 올리고 440 °C에서 약 30분간 유지한 후 약 3시간동안 서서히 초기온도 40 °C까지 내리는 사이클로서 각 시편마다 열전대를 설치하여 온도와 변형률을 동시에 측정하였다.

Fig. 3은 열전대로 온도를 측정하는 그림이며, 직접 스트레인 게이지 부근의 측정시편에 부착하

여, 측정 온도 오차에 의해 생기는 변형률 측정오차를 최소화하였다. 측정에 사용된 스트레인 게이지와 접착제는 다음과 같다.

• 고온용 게이지

- Free filament 형 Fe-Cr-Al 합금막 ,접착형
- Type : NZ-2102-120-L (JP Technologies. inc. U.S.A.)
- Resistance : 120 Ω
- Grid의 폭/길이 : 4.7 mm / 2.5 mm
- 사용온도범위 : - 270 °C ~ 870 °C
- 게이지율 : 2.65 (상온)
- 변형률 측정한계 : $\pm 0.5\%$ (5000×10^{-6})

• 고온용 접착제

- Type : PBX 세라믹 시멘트 (JP Technologies. inc. U.S.A.)
- 최고온도 : + 650 °C
- 열팽창계수 : $3.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

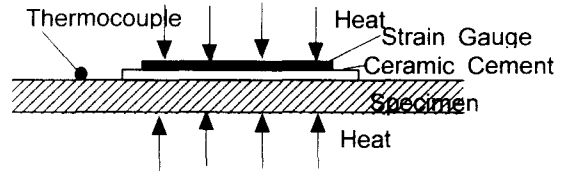


Fig. 3 Measurement specimen with strain gauge, ceramic cement and thermocouple in the furnace

고온에서의 변형률 측정은 상온에서의 비교하여 상당히 다르다. 게이지 접착과정이 매우 복잡하여 세심하고도 까다로운 기법이 요구된다.

Fig. 4는 고온 스트레인 게이지의 접착순서를 나타낸다.

3.3 측정치 처리방법

고온시의 변형률 측정은 여러 가지 문제점이 발생하게 마련이다. 따라서 측정된 결보기 변형률 값에 혼입된 여러 인자를 제거해야만 구하고자 하는 값(외력에 의한 응력)을 구할 수 있게된다. 그러므로 측정에 있어 접착, 연결, 온도측정 등 세심한 주

의와 숙련된 기법으로 측정해야 한다. 하지만 이외에도 게이지의 온도특성, 고온용 리드선의 열출력, 연결부위의 접촉저항, 고온용 리드선의 자체저항(되도록 짧게 할 것, 길이가 5 m 이상인 경우에는 3선식으로 연결) 등에 관한 문제점을 최소화시키는 것이 기본적으로 주요한 사항이다. 그 다음으로 필수적인 것이 게이지의 열출력(즉, 외력이 없는 Free한 상태에서 같은 조건하에 있을 때, 즉, 온도 변화에 따른 저항변화로 인한 출력)을 걸보기 변형률(측정치)에서 빼주는 소위 교정(Calibration)이 필요하다.

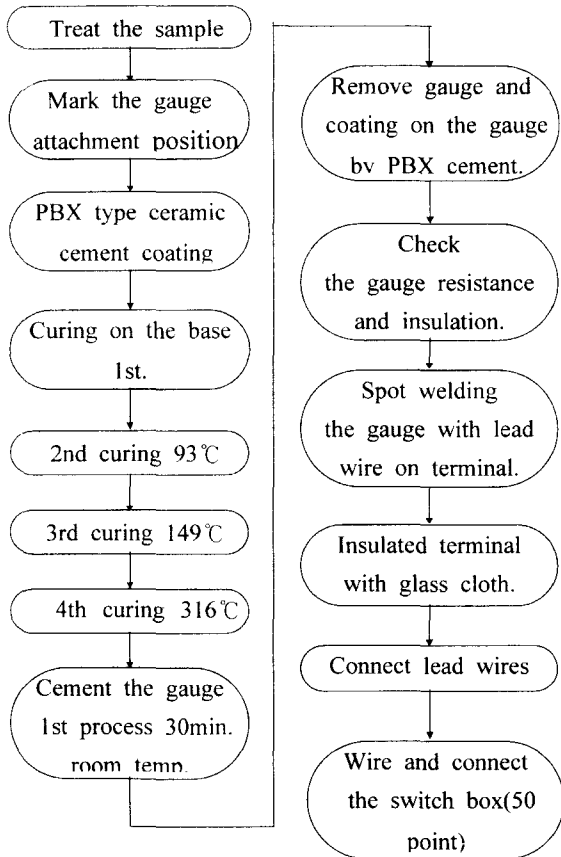


Fig. 4 Adhesion process of the strain gauge for high-temperature

온도에 의한 게이지율의 변화

본 측정에 사용된 NZ 계의 고온 게이지의 게이지율 변화는 Fig. 5와 같으며 이러한 그래프는 게이지 제작회사에서 제공하고 있다. 그림을 살펴보면

440 °C 에서 약 6 %의 gauge factor variation이 발생한다.

게이지의 열출력 측정

본 측정에서는 시편의 종류가 패널과 마스크 두 가지이므로 각각의 시편에 고온용 게이지를 부착하여 같은 爐內에서 같은 온도변화에 따른 출력을 측정하였다.

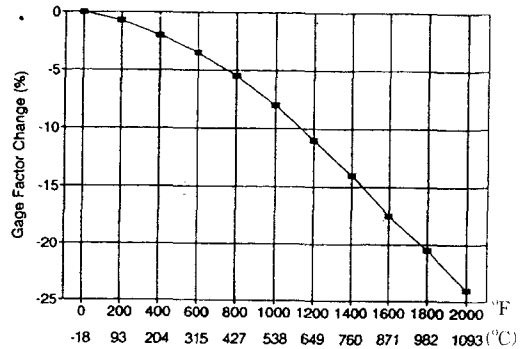


Fig. 5 Gauge factor variation with temperature

3.4 측정결과 및 검토

새도우 마스크의 변형률

Fig. 6은 새도우 마스크 시편에서 측정된 Rosette gauge의 3방향의 변형률 값을 비교한 것이다. 그래프에서 보듯이 모두 거의 일치된 곡선을 이루고 있으며 영점의 변동도 거의 모두 300 μ로써 비교적 좋은 결과라고 볼 수 있다. 일반적으로 실험횟수(온도 사이클)를 많이 할수록 영점 변동의 값이 적어진다고 알려져 있다.⁽³⁾ 온도상승에 따라 새도우 마스크의 변형률은 일정하게 증가하며, 최고 약 2700 μ의 값을 보인다.

패널의 변형률

Fig. 7은 패널 자체, 패널에 레일을 접착한 시편 및 패널, 레일, 마스크가 모두 설치된 시편 각각에 대한 변형률 변화를 나타낸다. 패널만의 시편에 비해 레일이 접착된 경우 레일과의 열팽창 차이에 의해 패널에는 더 큰 변형률이 발생하고, 인장된 마스크까지 결합된 경우 더욱 큰 변형률을 보이고 있다. 마스크를 한 상태의 패널은 440 °C에서 약 1300 μ의 변형률을 보이지만, 온도가 감소되면서 결합된

레일 및 마스크의 수축률 차이에 의해 더욱 변형률이 증가하는 현상을 일으켜 약 360 °C에서 최대의 변형률을 보인다. 이러한 현상은 패널에 결합된 레일과 새도우 마스크의 열팽창 차이외에도 새도우 마스크에 인가된 인장력이 온도의 상승, 하강에 따라 변화되면서 서로 복합적으로 패널에 영향을 주기 때문이라 생각된다. 실제 패널의 파손이 온도 하강 360 °C 부근에서 일어나며, 측정된 변형률 변화는 이러한 특성을 잘 보이고 있다고 판단된다.

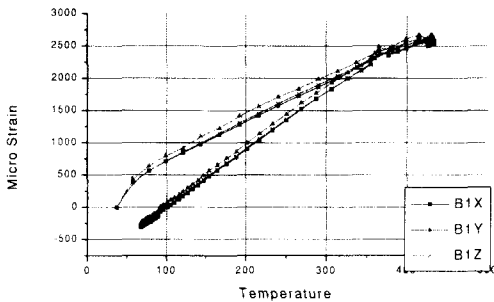


Fig. 6 Strain variation of the shadow mask with temperature

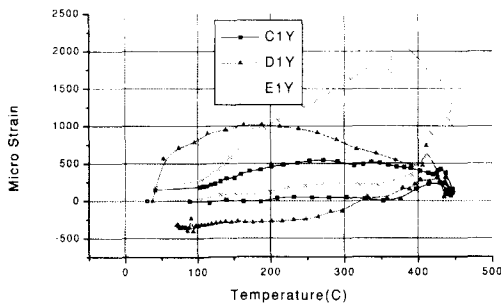


Fig. 7 Strain variations of 3 different panel specimens with temperature

고온 변형률 측정에 대한 의견

현재까지 200 °C 이상의 변형률 측정에 관한 연구보고는 그리 많지 않다. 최근 日本에서 400 °C까지 측정 가능한 게이지가 시판되고 있다고 하며, 스트레인 게이지의 元祖國인 미국 JP Technologies,

Inc에서는 최고 1000 °C까지 측정가능한 Ceramic Cement 접착제와 filament용 게이지가 개발되었다고 한다. 따라서 이번 실험에서 사용되는 최고 온도 440 °C에 적합한 게이지와 Cement(접착제)을 미국 JP Technologies, Inc에서 구입하여 측정을 하였다. 하지만 고온에 있어서 변형률 측정은 상온에서의 측정에 비해서 무척이나 번거롭고 까다롭다.

따라서 주어진 측정상황에 따라서 각각 개별적인 문제점에 대처해 나갈 필요가 있으며 회사에서 제공하는 게이지 및 접착제 등의 특성을 잘 활용하여 여러 방법을 상황에 따라 잘 맞추어서 사용해야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 440 °C까지의 고온상태에서 완전평면 브라운관의 새도우 마스크와 패널을 대상으로 변형률을 측정하였다. 완전평면 브라운관 제작 공정상에, 인장력이 인가된 새도우 마스크를 레일에 용접하고 이를 패널에 접촉시키는 베이킹 공정에서 종종 패널이 파손되는 현상이 발생되어 실제 제작공정상에 패널의 열적 거동을 살펴보는 것이 주 목적이었다. 본 연구에서 밝힌 완전평면 브라운관의 패널 파손의 시점은 온도상승시가 아니고 하강시 약 360°C 부근이었으며, 따라서 파손 방지를 위해서는 온도하강시, 보다 서서히 냉각시킬 필요가 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 패널, 레일, 새도우 마스크의 열팽창 차이에 기인하는 것으로 사료되며, 또한 새도우 마스크의 인장력이 패널에 영향을 미쳤다고 사료된다. 보다 명확한 결론은 향후 수치해석 연구 결과와 비교할 필요가 있다고 생각된다.

참고문헌

1. Koh, N. J., "17inch Perfectly Flat Color Display Tube FLATRON," IDW 99, pp. 469-472, 1997.
2. 한응교, 스트레인게이지 이론과 응용, 보성문화사, 1976.
3. 江川, 高溫ひずみゲージの溫度特性試験, 航空宇宙技術研究所資料, TM-62, 1965.