

인듐안티모나이드 포토 센서를 이용한 CRT 새도우 마스크의 비접촉 온도 측정에 관한 연구

강대진*, 박정우**, 송창섭***

A Study on the Non-contact Measurement for the Temperature of Shadow Mask of Cathode Ray Tube Using InSb Photo Sensor

Dae-Jin Kang*, Jung-Woo Park**, Chang-Seop Song***

ABSTRACT

This paper presents the experimental study of the non-contact temperature measurement for the shadow mask of cathode ray tube using InSb sensor. At present, High resolution of CRT(Cathode Ray Tube) is needed broadly; therefore, the measurement of temperature distribution of shadow mask in CRT during operation is important to analyze the thermal deformation of shadow mask. Most of the studies could not measure the temperature distribution of shadow mask precisely. We studied the temperature distribution of shadow mask using InSb photo sensor for 17" cathode ray tube(CRT). Experiments using thermocouple are performed to validate the results of non-contact measurement. The results agree well with those results of non-contact method using InSb sensor.

Key Words: Non-contact Temperature Measurement (비접촉 온도 측정), InSb Sensor (인듐안티모나이드 센서), Shadow Mask (새도우 마스크), Cathode Ray Tube (음극선관)

1. 서론

기존의 브라운관에서는 새도우 마스크 재질로 었가형 인 경우 AK(Aluminium Killed)재를, 고가형인 경우 인바(Invar)재를 사용한다. 브라운관이 동작할 때 전자총에서 나온 전자가 새도우 마스크와 충돌해서 발생하는 열로 인해 새도우 마스크(shadow mask) 구멍과 형광체 사이의 1:1 위치가 틀어져 형광체 위치와 실제 빔

안착 위치 사이에 어긋남(빔 랜딩 쉬프트)이 발생한다. 이를 해결하기 위해 열팽창이 적은 고가의 인바를 써서 빔 랜딩 쉬프트를 줄여 화면상의 색 번짐 현상을 감소시키기도 한다. 통상 인바를 사용한 경우는 워낙 빔 랜딩 쉬프트량이 적으므로 보통 용도에서는 큰 문제가 없었으며, AK재를 사용한 경우, 과거의 연구에서는 빔 랜딩 쉬프트가 과다하기 때문에 기존의 열전대등을 사용한 개략적인 측정 결과만으로서도 빔 랜딩 쉬프트를 줄일

* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과 (정회원)
 ** 국립 기술 품질원 계측기기과
 *** 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과 (정회원)

수 있었으나, 최근 들어 멀티미디어 추세가 확산됨에 따라 화면의 고화질화 및 대형화가 요구되어 인바를 사용한 기존의 방식 만으로서도 충분치 못하게 되었다. 이를 해결하기 위해서는 브라운관 내부 새도우 마스크의 온도 분포를 정확히 측정할 필요가 있다. 그러나 고 진공 상태인 브라운관 내부 새도우 마스크의 전체 온도 분포를 구하는 것은 상당한 어려움이 따라 지금까지 시도된 바가 없었다. 따라서 진공 중인 브라운관 내부 온도 분포 측정이 어려우므로 새도우 마스크상의 몇 개의 지점에 열전대를 부착하여 특정 지점의 온도를 측정하거나⁽¹⁾, 브라운관 외부 유리 표면 온도 값을 측정하여 사용하기도 하였다⁽²⁾. 그러나 이 방법은 간접적인 방법이므로 정확성이 떨어지는 문제점이 있었다. 고화질의 브라운관 성능을 만족시키기 위해서는 반드시 동작 중인 브라운관 내부 새도우 마스크의 온도 분포를 정확히 측정할 필요가 있다. 또한 해석에 의한 빔 랜딩 쉬프트 계산시 별도의 온도 해석없이 온도 분포 측정값을 이용하여 열변형만을 해석하고 빔 랜딩 쉬프트로 환산하면 되므로 해석의 신뢰성이 대폭 향상된다. 본 연구에서는 이러한 기존의 문제점을 해결하기 위해 최초로 브라운관 내부 새도우 마스크의 온도 분포를 인듐안티모나이드(InSb) 적외선 센서를 이용하여 측정하였고 열전대로 검증하였다.

2. 측정 원리 및 장치 소개

이해를 돕기 위해 CRT내부를 간단히 소개하면, Fig. 1 과 같이 퍼널(Funnel) 뒷쪽에 설치된 전자총에 전기 신호가 입력되면 전자빔이 발생되고 이는 브라운관 내부의 칼라 색 분해를 위한 요소인 새도우 마스크를 향해 날아간다. 새도우 마스크에는 양극이 인가되어 전자를 끌어당기게 되며, 퍼널(Funnel) 외부에는 편향 코일이 있어 비행하는 전자빔을 새도우 마스크상의 임의의 위치에 도달하게 한다. 새도우 마스크에는 무수한 작은 구멍이 뚫려 있고 이 구멍과 1:1로 패널(Panel) 유리 안쪽면에 형광체가 새도우 마스크 구멍과 같은 형상으로 도포되어 있다. 새도우 마스크상의 구멍을 통과한 전자빔은 각각의 적,청,녹 신호에 따라 형광체와 충돌하게 되며, 충돌 에너지로 형광체가 빛을 발하는데, 이때 발광된 빛을 대부분 브라운관 외부로 방출시키기 위해 형광체 위쪽 즉, 새도우 마스크쪽 형광체면에 알루미늄(Al) 증착 코팅을 하여 안으로 되돌아 오려는 빛을 반사시켜 브라운관 외부로 내어 보내게 된다. 이때 전자빔은 알루미늄 코팅막과 충돌

하며 막 뒤에 있는 형광체가 그 충격 에너지로 인해 발광된다.

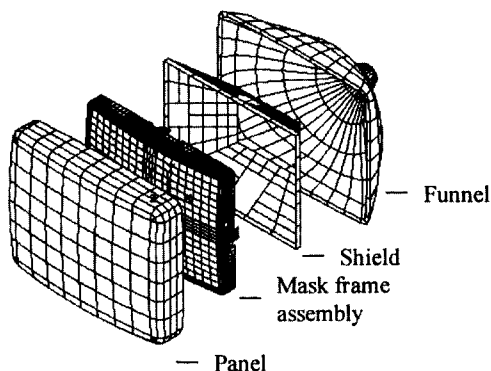


Fig. 1 CRT assembly

이때 전자총에서 나온 전자가 새도우 마스크와 충돌해서 발생하는 열로 인해 새도우 마스크 구멍과 형광체 사이의 1:1 위치가 틀어져 Fig. 2에 표시한 빔 랜딩 쉬프트가 생긴다.

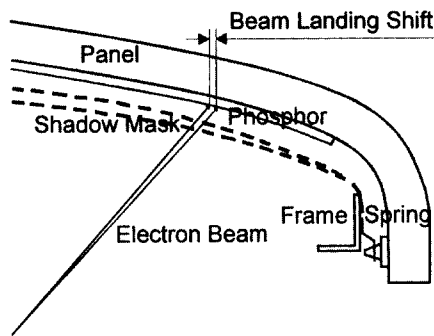


Fig. 2 Beam landing shift due to thermal expansion of mask frame assembly

측정 원리를 소개하면 다음과 같다. 온도 T(K)의 흑체에서 나오는 전 파장 대역에서의 단위 면적당, 단위 시간당 열복사인 복사 강도 W는 스테판-볼츠만의 법칙에 의해 다음과 같이 된다⁽³⁾.

$$W = \sigma T^4 \quad (1)$$

σ 는 스테판-볼츠만 상수이며, 그 값은 다음과 같다.

$$\sigma = (5.67032 \pm 0.00071) \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \quad (2)$$

이때 파장에 따른 단위 파장 대 폭에서의 복사 휘도인 분광 복사 휘도는 프랭크의 복사 법칙에 따라 다음과 같이 된다⁽⁴⁾.

$$L_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\pi\lambda^5} \left(e^{C_2/\lambda T} - 1 \right)^{-1} \quad (3)$$

여기서, $L_{\lambda,b}(\lambda, T)$ 는 분광 복사 강도, λ 는 파장, T 는 절대온도, C_1 은 복사 제1상수 (3.741832 ± 0.000020) $\times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^2$ 및 C_2 는 복사 제2상수 (1.438768 ± 0.000045) $\times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ 이다. 따라서 임의의 파장을 알고 분광 복사 휘도 $L_{\lambda,b}(\lambda, T)$ 를 정확히 알면 흑체와의 비교 교정 방법을 이용하여 대상물의 온도를 측정할 수 있다. 실제로는 복사온도계로서 절대 온도를 측정하는 것은 대단히 어려우므로 보통, 표준 열전대에 의한 흑체로의 지시 온도와 흑체로에 대한 복사온도계의 출력 사이의 관계식을 지수 함수로 하여 온도 보정식을 만들어 사용하기도 하나, 본 연구에서는 비접촉 측정 후 열전대로 보정한 값을 사용하였다.

본 연구에서 사용한 장치⁽⁵⁾는 센서로 인듐안티모나이드(InSb)를 사용하였다. 이를 사용한 이유는 $2 \sim 5\mu\text{m}$ 대역에서 액체 질소로 냉각하였을 때 인듐안티모나이드 센서가 가장 높은 감도를 얻을 수 있는 양자형 단결정 소자이고 대기중의 수증기에 의한 영향이 가장 작기 때문이다⁽⁶⁾. Fig.3에 본 장치의 내부구조를 보였다. 본 장치는 내부 주변방사 차단섉드(Inside cold shield)와 외부 주변방사 섉드(Outside cold shield)로 보호되어 있는 인듐안티모나이드센서와 렌즈를 가진 경통(Barrel)등으로 이루어진 구조로 되어 있으며 센서와 렌즈까지는 초점 거리(150mm)를 유지한다. 측정 장치는 17" CDT (패널에 형광체 도포하지않음), 복사 온도 측정장치, X-Y 구동 Table, Oscilloscope (LeCroy 9310L Dual channel 300MHz), Thermometer Line Seiki TC-1100, DC amplifier Yokogawa 3131, K type thermocouple, Multi meter, 및 Pattern generator 등으로 구성되어 있다.

본 고속 복사온도 측정장치를 이용한 새도우 마스크 온도측정을 Fig.4와 같이 실시하였다.

현재까지의 연구로 볼 때 새도우 마스크의 온도에 관한 정보를 얻기 위해서는 열전대를 이용하여 몇 곳을 측정하는 방법⁽¹⁾이 있었으나, 원하는 부위마다 열전대를 부착한

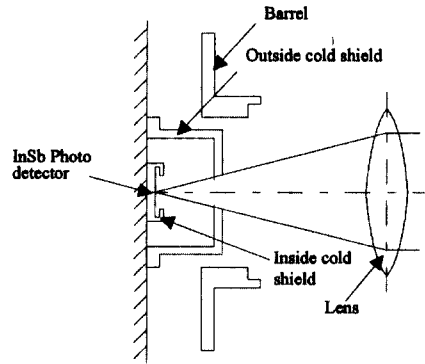


Fig. 3 Inside of radiative temperature tester optics

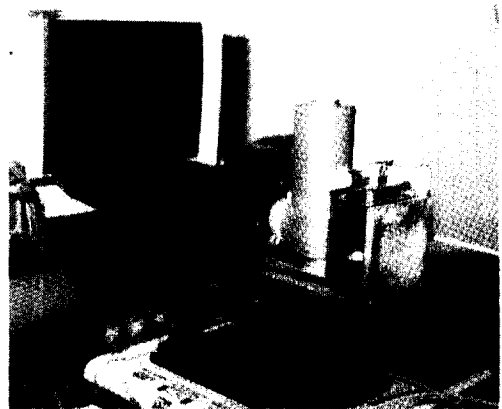


Fig. 4 High speed radiative thermal temperature test apparatus

채로 진공상태의 브라운관을 만들어야 하는 어려운 점이 있고, 특히 약 10^{-7} 토르(Torr) 정도의 고진공이므로 한 개의 브라운관 안에서 복수 개의 열전대를 외부로 꺼내기가 곤란하여, 새도우 마스크 전체의 온도 분포를 측정하기란 거의 불가능하였다. 새도우 마스크의 온도 분포를 비접촉식으로 측정하기 위해 본 연구에서는 적외선이 투과하여 복사 온도 측정장치로 브라운관 내부 새도우 마스크의 온도가 측정 가능하도록 형광체와 알루미늄 코팅막을 빼고 특수 제작한 브라운관을 준비하였고, 이를 이용하여 고속 복사 온도 측정장치를 사용하여 온도 분포를 측정하였다.

본 실험에서 측정한 온도 분포는 상대적인 분포 값이므로 먼저 보정을 위해 K 타입 열전대와 멀티 미터를 사용하여 사용 시작부터 정상 상태에 도달할 때까지의 브라

운관 새도우 마스크 온도를 측정하였고 정확한 결과 도출을 위해 실온 보정한 후 환산표로서 환산하였다⁽⁷⁾. 열전대 특성상 열전대를 고진공에서 장시간 방치할 경우 열전대가 휘발되어 특성이 변화되므로 이를 방지하기 위해 위에 언급한 특수 샘플을 제작한 후 가능한 한 즉시 실험을 진행하였다. Fig. 5에 새도우 마스크 중심점의 온도를 측정하기 위한 샘플을 보였다. 열전대는 새도우 마스크 중심점에 용접하였고 새도우 마스크와 접촉되지 않도록 세라믹 접착제로서 고정하였다. Fig. 5에 보인 것은 열전대를 넣어 제작한 브라운관 만의 경우로서 외장이 없지만, 동작을 위해서 모니터 외장 안에 넣어서 실험하였으므로 온도 분포 측정을 위한 샘플인 Fig. 4의 경우와 동일한 측정조건이다. 열전대 측정 결과에 의하면, 브라운관 동작 초기에 새도우 마스크의 온도가 급격히 상승하는 현상을 보였다. 약 10분이 경과한 후에는 온도 상승율이 감소하여 완만한 온도 증가를 보이고 1시간 30분 정도 경과하면 정상상태에 도달한다고 볼 수 있다.

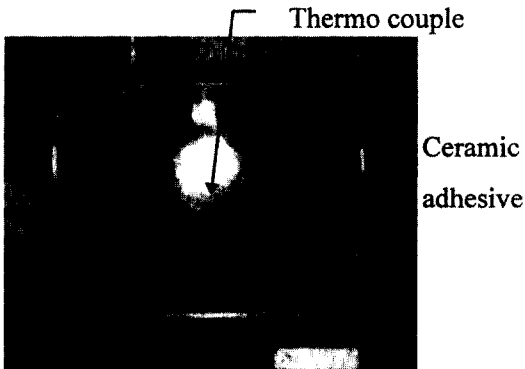


Fig. 5 Sample for temperature measurement

본 실험에서는 고속 복사온도 측정장치를 XY 구동 장치에 올려 놓고 수직으로는 수동 이송, 수평으로는 자동 이송되도록 하였으며, 수직으로는 10 mm 간격씩 25 라인, 수평으로는 32 mm/sec로 이송시키면서 한 수평 이송당 약 10000개의 데이터를 오실로스코프에 자동 저장하였다. 본 연구에서 사용한 브라운관은 17" 모니터용이므로 수직 이송 거리는 -120 ~ 120 mm, 수평 이송 거리는 -160 ~ 160 mm로 하였다.

3. 실험 및 결과 고찰

본 실험에 앞서, 비접촉 측정결과를 보정하기 위해 Fig. 6과 같이 새도우 마스크 중심 및 코너 부위의 온도를 열전대로 측정하였으며 정상 상태에서 새도우 마스크 중심은 약 74.3°C, 새도우 마스크 코너는 57.3°C 가 되었다.

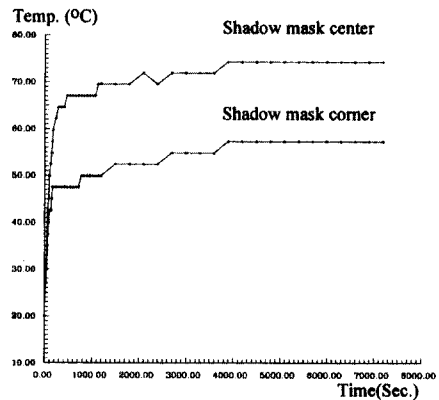


Fig.6 Temperature test results

복사 온도 측정 방법은 다음과 같다. 열 복사 강도는 표면 온도와 파장의 함수로 표시되는데, 측정하고자 하는 새도우 마스크의 경우 최대 온도가 74.3°C 정도이었으므로, 흑체의 복사 강도 스펙트럼에 의하면 약 2 ~ 11μm의 파장을 갖는 적외선의 강도를 보이게 된다. 이 에너지 중 일부는 패널에 의해 통과하지 못하게 되는데, 이는 패널의 투과율에 따라 결정된다. 패널을 순수 석영이라 생각하면 석영의 투과율은 2 ~ 4μm 사이에서 약 70% 이고 그 이상의 파장 대에서는 적외선이 투과하지 못하므로 결국 패널을 통과하여 나오는 적외선의 파장은 2 ~ 4 μm의 약 70% 정도임을 알 수 있다. 이러한 저 파장 대의 적외선을 감지하기 위해서는 특수 적외선 검출 소자를 사용하여 하며, 이를 위해 2 ~ 5μm 파장대를 감지할 수 있는 인듐안티몬 센서를 선정하였다.

본 온도분포 측정 결과는 상대적인 온도 값이므로 이를 절대화하기 위해 기준 온도와의 보정이 필요하다. 온도 보정을 위해, 실험시 가동전 실온상태의 브라운관 중심 기준점 온도를 실온인 20°C 로 가정하였고, 위 Fig. 4와 같이 고속 복사온도 측정장치를 이용하여 새도우 마스크

중심점의 복사 온도 변화를 동작 개시부터 정상상태에 도달한 1시간 30분 후까지 측정하여 온도 변화를 Fig.7에 보였다. 실험 개시 이전에 충분히 냉각된 상태의 새도우 마스크 중심 온도는 실온과 같이 20°C 이었고, 열전대를 이용하여 측정한 정상상태시의 새도우 마스크 중심점의 온도는 74.3°C 이었으므로 두 값을 기준으로 온도 분포 측정 결과를 보정하였다.

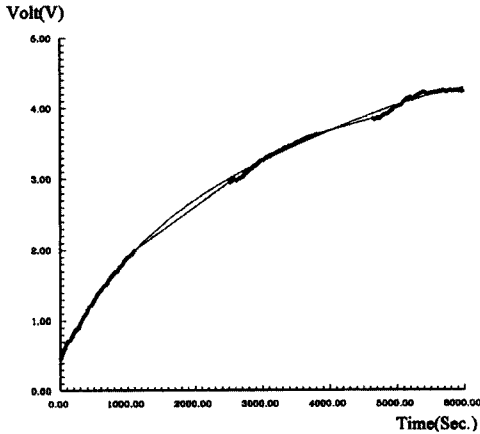


Fig. 7 Temperature calibration curve

열전대를 이용하여 측정한 값(Fig. 6 참조)이나 복사 온도 측정장치를 이용하여 측정한 값(Fig. 7 참조)은 모두 새도우 마스크 중심점에서 온도가 초반에 급격히 상승하여 약 1시간 30분 후에 정상상태에 도달하였다. 이는 기존의 형광체와 알루미늄 코팅막을 가진 브라운관의 경우와 거의 같은 시간에 정상 상태에 도달한 것이다. 복사 온도 측정장치와 열전대를 이용하여 측정한 값 사이에 상승속도 차이가 있는 것으로 보이지만 Fig. 7의 복사 온도 측정장치의 결과는 시간대 전압으로서 열전대의 시간대 온도와 다르며 특히 복사 온도 측정장치의 전압은 온도대 전압 특성이 비선형적이므로 바로 비교할 수 없다. 이상의 보정 결과를 사용하여 온도 분포를 구하면 다음 Fig. 8과 같다. 그림 중 * 표시는 열전대를 이용하여 검증용으로 측정한 코너 부위 지점이다

본 측정에서 정상 상태에 도달한 브라운관 내부 새도우 마스크 복사온도 분포가 맞는가 즉, 유리 표면의 온도 분포를 측정한 결과가 아닌가 하는 의문이 있을 수 있으나, 정상 상태의 브라운관 유리 표면 온도를 접촉식 열전대로

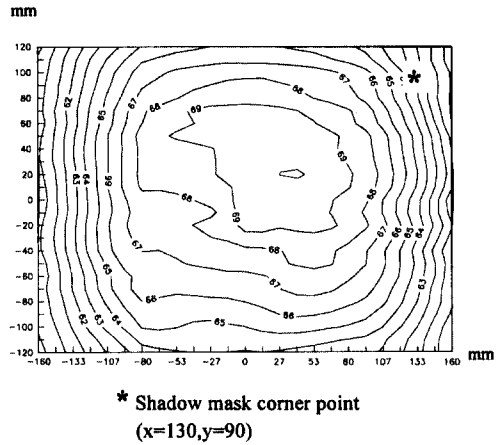


Fig. 8 Temperature distribution of shadow mask on the steady state

측정한 결과 실온 20°C 상태에서 24.1 ~ 25.6°C 사이의 분포를 보이며 약 1.5°C 정도의 극히 적은 편차를 갖고 있었고(Fig. 9 참조) 이를 분포 형태로 도시한 결과, 중심이 높고 주위로 갈수록 낮아지는 새도우 마스크 표면의 온도 분포 형태와는 달리, Fig. 9에 보인 바와 같이 분포 형태가 불규칙하였다. 따라서 고속 복사 온도 측정장치로서 측정된 온도 분포 형태는 브라운관 내부 새도우 마스크 자체의 표면 온도 분포 형태라고 할 수 있다.

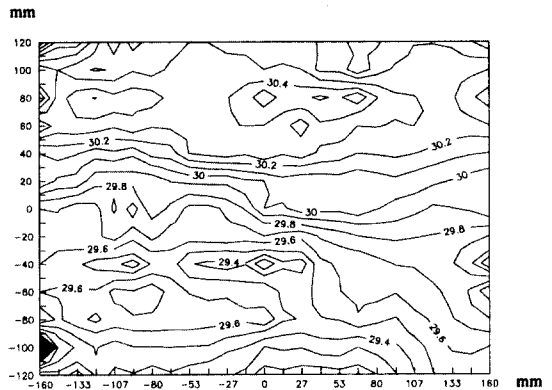


Fig. 9 Panel glass surface temperature distribution on the steady state at room temperature

형광체와 알루미늄 코팅막을 가진 기존 브라운관 새도우 마스크 중심에 열전대를 용접하여 제작한 샘플로 시작부터 정상 상태에 도달할 때까지의 온도 변화를 Fig. 10

에 보였다. 정상상태의 온도는 기존의 형광체와 알루미늄 코팅막을 가진 정상 브라운관에 비해 약 10°C 낮은 값이었는데, 이는 알루미늄 코팅막 제거로 인해 알루미늄 코팅막과 새도우 마스크 사이에서의 복사 효과가 감소된 때문이라 사료된다.

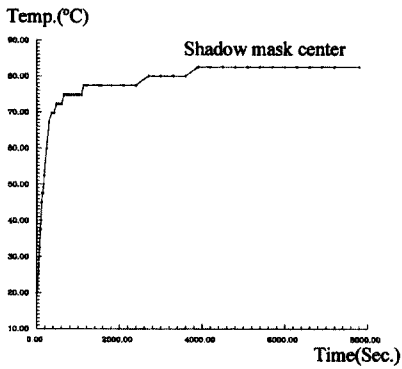


Fig. 10 Temperature variation of shadow mask center

Fig.8은 정상상태시 새도우 마스크 표면의 온도 분포를 나타내는 그림이다. 비교적 중심부가 높고 주변부가 낮은 분포를 보이고 있고, 이는 일반적으로 알려져 있는 분포 형상과 일치한다. 열전대 측정 결과로 검증하여 보면, 새도우 마스크 코너 부위의 열전대 측정 결과가 57.3°C 인 데 복사 온도 측정장치의 결과는 61°C 정도로 비교적 근접하여 잘 일치한다고 볼 수 있다(Fig. 6 및 Fig. 8 참조). 단지 중심부의 온도가 다소 대칭 현상이 아닌 것은 여러 가지로 원인을 생각할 수 있으나 우선 측정의 문제라 볼 수 있는데, 워낙 미세한 복사 강도를 감지하는 실험이므로 주변에서의 약간의 온도 변화에도 측정 결과에는 큰 영향을 미치게 된다. 실험시 주변 조건을 일정하게 하기란 매우 힘들므로 이러한 요인들이 측정 결과에 영향을 미쳤으리라 생각된다. 중심부와 주변부의 온도 차이는 약 10 ~ 15°C를 보이고 있다.

4. 결 론

복사 온도계를 이용한 새도우 마스크 온도 분포 측정에 관한 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최초로 브라운관 내부 새도우 마스크의 온도 분포를

인듐안티모나이드 센서를 이용하여 비접촉 측정된 결과 비교적 정확한 온도 측정이 가능하였다.

- 2) 새도우 마스크의 온도는 중심부가 높고 주위로 갈수록 완만하게 감소하는 분포를 보였고 중심부와 주변부는 약 10 ~ 15°C의 차이가 있었다.

3) 실제 형광체와 알루미늄 코팅 막을 가진 브라운관과 이를 제거한 브라운관 사이에 복사 효과 차이로 인해 약 10°C의 온도 차이를 갖고 있었다.

4) 정상 상태의 브라운관 유리 표면 온도를 접촉식 열전대로 측정된 결과 실온 20°C 상태에서 24.1 ~ 25.6°C 사이의 분포를 보이며 약 1.5°C 정도의 극히 적은 편차를 갖고 있었고, 분포 형태가 불규칙하였다. 따라서 본 연구 결과는 새도우 마스크 자체의 온도 분포이며, 유리 표면의 온도 분포가 아님이 분명하므로 본 연구 결과를 이용하여 새도우 마스크의 온도 분포를 정확히 측정할 수 있다.

참 고 문 헌

1. T. Okata and M. Ikegaki, "A Structural Analytical Study on Shadow Mask Thermal Deformation of Color CRT", Japan Display .pp.20-22,1983.
2. 김현규, 천현태, 신동기, 임세영, "쉐도우 마스크의 열변형 해석(온도 분포)", 대한 기계학회 논문집, 제 17권, 제10호, pp.2574-2581, 1993.
3. R. Siegel and J. R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, Hemisphere, pp.11-45, 1992.
4. M. F. Modest, Radiative Heat Transfer, McGraw-Hill, pp.76-136, 1993.
5. 황병욱, 이원식, 장경영, "인듐안티모나이드(InSb) 소자를 이용한 적외선 방사온도 계측시스템의 개발 연구", 한국정밀공학회지, 제 12권, 제 7호, pp.46-52, 1995.
6. 日本熱物性學會, 熱物性 Handbook, 養賢堂, pp.12-17, 1990.
7. 김용규, 감기술, 강기훈, 지대성, 국제 온도눈금(ITS-90)에 준한 규격화된 열전대의 온도-기전력 기준표, 한국 표준과학연구원, KRISS-94-025-MO, pp.14-17, 1994.