

국부가열에 의한 Tension Mask 의 열변형 해석 및 전자빔의 오차 예측

신운서*, 유세준*, 장보웅*

Analysis of Tension Mask Thermal Deformations under Localized Heating and Prediction of Electron Beam Landing Shifts

Woon Seo Shin*, Se Joon You*, Bo Woong Jang*

ABSTRACT

Thermal deformations of tension mask under localized heating are analyzed using finite element method and electron beam landing shifts are predicted by the analysis results. In CRT, electron beam landing shifts due to thermal deformations of the tension mask make the color purity of screen worse. In order to get the final results of thermal deformations, firstly the tension processes of the mask and following welding processes between the tensioned mask and rail must be analyzed sequentially. And then, nonlinear transient thermo-elastic finite element analysis is performed on every part inside CRT including tension mask, wherein thermal radiation is a main heat transfer mechanism. Because the tension mask has numerous slits, the effective thermal conductivity and effective elastic modulus is calculated, and the tension mask is modeled as a shell without slits. From the displacement results of tension mask, electron beam landing shifts is calculated directly. Experiments are performed to confirm our analysis results. Temperature distributions and beam landing shifts of tension mask are measured and the results are in good agreement with those of analyses.

Key Words : CRT(음극선관), Tension mask(텐션 마스크), Electron beam(전자빔), Landing shift(오차), Color purity(색순도), Slit(슬릿형 구멍), Thermal deformation(열변형)

기호설명			
T, T_i, T_j, T_s, T_o	= absolute temperature	ϵ_{kl}	= strain component
F'_{ij}	= form factor from surface i to j	ϵ_{kl}^n	= thermal strain component
σ	= Stefan-Boltzman constant	D_{ijkl}	= elasticity matrix
n	= outer normal vector	τ	= time
ρ	= density	k	= thermal conductivity
c	= specific heat	\dot{Q}	= heat generation rate
h	= film coefficient	Q_i	= heat flow rate
σ_{ij}	= stress component	ϵ_i	= emissivity
		A_i	= area
		u_i	= displacement

* LG 전자 Display 연구소

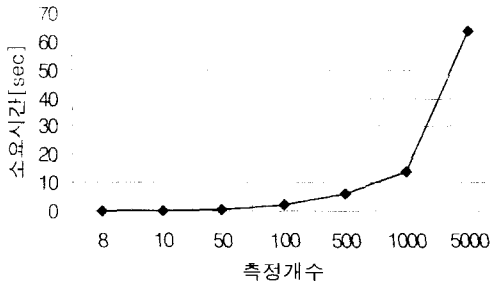


Fig. 5 The strolling time at the given number of data(Unit: sec)

4. 결론

본 연구는 다음과 같이 요약된다.

1. 영재교육 개념을 이용한 영재 교육이론(Genius Education Algorithm : GEA)을 직선도 최소영역법 추정에 활용이 가능하다.
2. 직선도의 요구 정도를 기초로 한 멈춤임계를 설정이 가능하며, 그에 따라 기대정도에 따라 소요시간의 조절이 가능하다.
3. 참가자 총원 수(2 - 25)와 멈춤임계 확률 값(0.20 이하)의 영역에서 직선도 최소영역법 추정이 가능하다.
4. 측정 데이터에 의한 시뮬레이션 결과 LSM에 비하여 10%, CLRS에 비하여 15%까지 개선한 결과를 보였다.
5. 다양한 가상 측정값에 대한 시뮬레이션 결과 LSM에 비하여 평균 5% 개선한 결과를 보였다.

참고문헌

1. T. S. R. Murthy, S. Z. Abdin, "Minimum zone Evaluation of surfaces," Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol.20, pp.283-292, 1982.
2. M. S. Shunmugam, "New approach for the evaluating form errors of engineering surfaces," Computer-Aided Design, Vol.19, pp.368-374, 1987.
3. M. S. Shunmugan "Comparison of linear and normal deviations of forms of engineering surfaces," Prec. Eng., Vol.9, pp.96-102, 1987.
4. T. Kanada, S. Suzuki, "Application of several

- computing techniques for minimum zone straightness," Prec. Eng., Vol.15, pp.274-80, 1993.
5. T. Kanada, S. Suzuki, "Evaluation techniques for minimum zone straightness," Prec. eng., V 15, pp. 274-80, 1993.
6. M. Fukuda, A. Shimokohbe, Algorithm for form evaluation methods for minimum zone and least squares," Proc. Int. Symp. Metrology for quality Production, pp.197-202, 1984.
7. D. G. Chetwynd, "Application of linear programming to engineering metrology," Proc. inst. Mech. Eng., V 199, pp. 93-100, 1985.
8. K. Carr, P. Ferreira, "Verification of form tolerances part I : basic issues, flatness, and straightness", Prec. Eng., Vol.17, pp. 131-43, 1995.
9. K. Carr, P. Ferreira, "Verification of form tolerances part II : cylindricity and straightness of a median line," Prec. Eng. Vol.17, pp.144-55, 1995.
10. J. J. Sylvester, "A question in the geometry of situation," Quart. J. Pure Apple. Math., Vol.1, pp.79, 1857.
11. S. T. Huang, K. C. Fan, Precision Engineering, Vol.15, pp.158-165, 1993.
12. S. T. Huang, K. C. Fan, Precision Engineering, Vol.15, pp.25-32, 1993.
13. Jing-Yih Lai, Ing-Hong Chen, "Minimum zone evaluation of circles and cylinders," Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol.36, No. 4, pp.435-451, 1996.
14. V. Z. Ehrlich, "Genius Education," Bae-Yong, 1989.
15. Y. D. Ehrlich, "What is Genius Education?," Geo-Bo, 1990.
16. G. H. Lee, "Genius Education," Dong-Guk, 1988.
17. Soo-Kwang Kim, Dong-Woo Cho, "Proposal and comparative assessment of genius education algorithm as a New Global Optimization Method," Korean Society of Mechanical Engineering, Vol.22, No 9, pp.1684-1698, 1998.

국부가열에 의한 Tension Mask 의 열변형 해석 및 전자빔의 오차 예측

신운서*, 유세준*, 장보웅*

Analysis of Tension Mask Thermal Deformations under Localized Heating and Prediction of Electron Beam Landing Shifts

Woon Seo Shin*, Se Joon You*, Bo Woong Jang*

ABSTRACT

Thermal deformations of tension mask under localized heating are analyzed using finite element method and electron beam landing shifts are predicted by the analysis results. In CRT, electron beam landing shifts due to thermal deformations of the tension mask make the color purity of screen worse. In order to get the final results of thermal deformations, firstly the tension processes of the mask and following welding processes between the tensioned mask and rail must be analyzed sequentially. And then, nonlinear transient thermo-elastic finite element analysis is performed on every part inside CRT including tension mask, wherein thermal radiation is a main heat transfer mechanism. Because the tension mask has numerous slits, the effective thermal conductivity and effective elastic modulus is calculated, and the tension mask is modeled as a shell without slits. From the displacement results of tension mask, electron beam landing shifts is calculated directly. Experiments are performed to confirm our analysis results. Temperature distributions and beam landing shifts of tension mask are measured and the results are in good agreement with those of analyses.

Key Words : CRT(음극선관), Tension mask(텐션 마스크), Electron beam(전자빔), Landing shift(오차), Color purity (색순도), Slit(슬릿형 구멍), Thermal deformation(열변형)

	기호설명		
T, T_i, T_j, T_s, T_o	= absolute temperature	ϵ_{kl}	= strain component
F'_{ij}	= form factor from surface i to j	ϵ_{kl}^m	= thermal strain component
σ	= Stefan-Boltzman constant	D_{ijkl}	= elasticity matrix
n	= outer normal vector	τ	= time
ρ	= density	k	= thermal conductivity
c	= specific heat	\dot{Q}	= heat generation rate
h	= film coefficient	Q_i	= heat flow rate
σ_{ij}	= stress component	ϵ_i	= emissivity
		A_i	= area
		u_i	= displacement

* LG 전자 Display 연구소

1. 서론

최근의 음극선관의 개발동향은 대형화 및 완전 평면화이다. 특히 완전평면 음극선관은 화면의 난반사를 없애주는 등의 여러 가지 장점이 있으므로 각 제조업체에서 개발에 주력하고 있다. 그 중에서, 본 해석에 사용된 완전평면 음극선관의 개략적인 구조를 Fig. 1(b)에 나타내었다. 패널이 곡면인 종래의 음극선관(Fig. 1(a))과는 달리 완전평면 음극선관(Fig. 1(b))은 완전 평면인 패널면에 레일을 고정시킨 후, 미리 인장된 상태의 마스크를 레일과 용접한 구조를 이루고 있다. 그러므로 완전평면 음극선관과 종래의 그것과의 주요한 차이점은 마스크의 인장여부와 마스크 지지체의 구조로서 전자는 레일, 후자는 프레임과 스프링으로 이루어져 있다. 또한 인장 여부에 따라 전자의 마스크를 섀도우 마스크(shadow mask), 후자를 텐션 마스크(tension mask)라고 부른다.

일반적으로 음극선관에서 사용되는 마스크는 전자총에서 발생된 전자빔의 일부만을 원하는 형광체에 충돌시키기 위해 수없이 많은 구멍(slit)이 뚫려있다. 따라서 전자빔 중에서 약 20%정도만이 구멍을 통과하여 형광체를 발광 시키고, 나머지 80% 정도는 마스크에 충돌하여 마스크의 온도를 상승시켜 결국에는 마스크의 열 변형을 유발한다. 마스크의 열 변형은 형광체와의 상대적인 위치를 변화 시켜서 전자 빔 오차(landing shifts)이 발생하게 된다.(Fig. 1 참조) 이러한 전자 빔의 오차 현상은 음극선관의 화질(color purity)을 저하시키는 주요한 원인이 된다. 종래의 음극선관에서는 전자빔의 오차를 보상하기 위해 스프링을 사용했지만, 완전평면의 경우는 지지체에 스프링이 없으므로 마스크를 미리 인장 시켜 용접함으로써 이를 보상하려고 하였다. 그러나 최근에 컴퓨터와 운영체제인 윈도우가 급속히 보급됨에 따라, 화면의 일부분만 전자빔이 주사되어 마스크가 국부적으로 가열되는 경우가 생긴다. 이런 경우, 마스크에 미리 가한 인장력이 전자빔의 오차를 보상하지 못하여 여전히 화질이 저하되는 현상이 실제 제품에서 자주 발생하게 된다. 따라서 이런 국부가열에 의한 텐션 마스크의 열변형을 해석하고 전자빔의 오차를 예측하는 연구가 필요하게 된 것이다.

Ueyama⁽¹⁾는 섀도우 마스크의 유효 열전도 계수를 구하여 유한요소법을 사용하여 전자빔의 이

동을 계산하였고, Kim⁽²⁾은 섀도우 마스크의 주변부를 흑체 라고 가정하여 섀도우 마스크의 열변형 해석과 전자빔의 이동을 계산하였으며, Kang⁽³⁾은 음극선관내의 각 부품간의 복사를 고려하여 전자빔의 이동을 해석하였다. 그러나 지금까지의 연구에서는 경계조건을 부과하기 위해서 각 부품의 주변부에 해당하는 온도에 대한 측정치가 필요했으며, 특히 종래의 음극선관에 대한 결과만을 제시하고 있어서 본 해석의 경우와 같이 인장력을 받고 있는 완전평면 음극선관의 텐션 마스크에 대한 국부가열시의 열변형을 해석하지는 못하였기 때문에 이에 대한 체계적이고 이론적인 해석의 필요성이 대두 되었다.

본 연구에서는 유한요소법을 사용하여 음극선관 내부의 온도 분포와 텐션 마스크의 인장, 레일과의 용접과정, 열변형 등, 전자빔의 오차와 관련된 거의 모든 공정을 포함하여 텐션 마스크의 거동을 비선형 과도해석 하였다. 보다 정확한 해석 결과를 얻기 위해 해석에 영향을 미칠 수 있는 음극선관내의 주요 부품을 모두 모델링 하였으며, 국부가열에 의한 열변형을 해석하기 위해 1/4 만 모델링하지 않고 완전 모델링을 하였다. 또한, 마스크에 무수하게 뚫려있는 구멍을 전부 모델링 할 수 없으므로 구멍이 없는 마스크로 모델링하는 대신에, 구멍이 있는 실제의 마스크와 동일한 거동을 나타내기 위한 유효 물성치를 계산해서 적용하였다. 음극선관내의 몇 가지 부품에 대해서 온도 분포 및 전자빔의 오차량에 대해서 측정을 실시하여 해석 결과와 비교분석을 하였다.

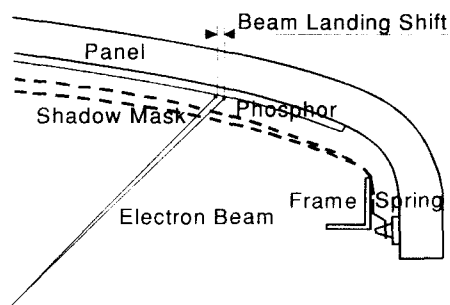


Fig. 1(a) Schematic figures for electron beam landing shifts due to thermal expansion of mask in conventional CRT

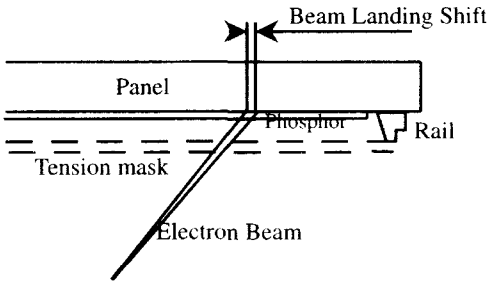


Fig. 1(b) Schematic figures for electron beam landing shifts due to thermal expansion of mask in perfectly flat CRT

2. 유한요소해석

2.1 지배 방정식

음극선관의 내부는 전자빔이 공기와 충돌 없이 잘 진행할 수 있도록 하기 위해 진공으로 만든다. 따라서 음극선관의 열 흐름의 경로를 대략적으로 설명하면, 전자총에서 발생된 전자빔이 텐션 마스크와 패널에 충돌하여 열에너지로 변환되어 전도 및 복사에 의해 각 부품으로 열이 전달되며, 최종적으로 음극선관의 외부 표면에서 공기와의 대류에 의해서 열을 방출하게 된다. 식(1) ~ 식(3)에 전도 열전달, 복사 열전달, 대류 경계조건에 관한 지배 방정식을 각각 나타내었다⁽⁴⁾. 특히, 복사 열전달의 계산 시에는 서로 이웃하고 있는 각 부품들을 몇 개의 복사구간으로 설정하고, 각 구간 별로 반복 계산을 수행하여 수렴해를 구하였다.

$$\nabla \cdot (k\nabla T) + \dot{Q} = \rho c \frac{dT}{d\tau} \quad (1)$$

$$Q_i = \sigma \epsilon_i F_{ij} A_i (T_i^4 - T_j^4) \quad (2)$$

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) = h(T_S - T_O) \quad (3)$$

아래의 식(4) ~ 식(6)에 열 하중을 받는 물체에 대한 응력-변형을 관계, 평형 방정식, 변형율-변위 관계를 각각 나타내었다⁽⁴⁾.

$$\sigma_{ij} = D_{ijkl} (\epsilon_{kl} - \epsilon_{kl}^{th}) \quad (4)$$

$$\sigma_{ij,i} = 0 \quad (5)$$

$$\epsilon_{ij} = (u_{i,j} + u_{j,i})/2 \quad (6)$$

2.2 유효 물성치

텐션 마스크에는 전자빔이 통과하는 구멍들이 수없이 많이 존재하지만 이 구멍들을 모두 모델링 한다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 모델링 시에는 이 구멍들을 고려하지 않으면서도 해석 시에는 구멍들이 있는 것과 같은 효과를 얻기 위해 유효 물성치^{(1),(3)}를 사용한다. 유효 물성치들은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 텐션 마스크에서 대칭성을 갖는 최소 형상을 선택하여 3차원 유한요소 해석을 실시하면 구할 수 있다. 또한 구멍의 폭을 1로 했을 경우에 대해 주요부위의 상대적인 크기와 치수들을 나타내었다(두께는 25 μ m).

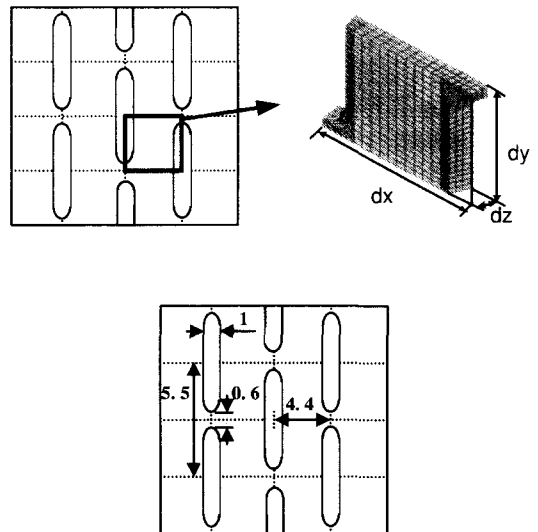


Fig. 2 Finite element model for effective material properties and relative size of mask

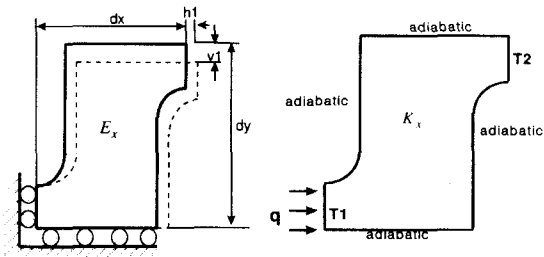
X 방향의 유효 탄성 계수 E_{xeff} 는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 왼쪽과 아래쪽 면의 변위를 고정하고, 오른쪽에 일정한 변위를 가한 후, 유한요소 해석을 수행하여 오른쪽 면에서 계산되는 총 반력을 계산하면 아래의 식(7)에 의해 구할 수 있다.

$$E_{xeff} = \frac{\sigma_{xeff}}{\epsilon_x} = \left(\frac{F_x}{dx \cdot dy}\right) / \left(\frac{hl}{dx}\right) \quad (7)$$

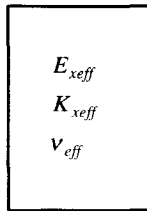
$$K_{xeff} = \frac{q \cdot dx}{(T1 - T2) \cdot dy \cdot dz} \quad (9)$$

여기서 F_x 는 오른쪽면의 총 반력이다. 윗면에는 마스크의 실제형상의 대칭성을 고려하여 균일한 변위가 발생한다는 구속조건을 부과하여야 한다. Y 방향의 유효 탄성 계수도 경계 조건과 하중 조건을 달리하여 구할 수 있다.

여기서 q 는 왼쪽면에 가해지는 총 열전달율이다. Y 방향의 유효 열전도 계수도 마찬가지로 경계 조건과 하중 조건을 달리하여 구할 수 있다. 본 해석에서 사용된 텐션 마스크의 원 재질(Al-killed 강)의 물성치와 계산된 유효 물성치를 Table 1 에 나타내었다. 실제의 마스크가 가지고 있는 구멍의 형상이 슬릿 형상 이므로 Y 방향의 유효 물성치가 X 방향의 유효 물성치보다 약 3~4 배 정도 큰 직교 이방성을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.(Fig. 2 참조)



(a) Elastic modulus (b) Thermal conductivity



(c) Equivalent mask model having effective material properties

Fig. 3 Boundary conditions for calculation of effective material properties

유효 포와송 비는 아래의 식(8)을 이용해서 구할 수 있다.

$$\nu_{yxeff} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = \left(\frac{v1}{dy}\right) / \left(\frac{hl}{dx}\right) \quad (8)$$

X 방향의 유효 열전도 계수 K_{xeff} 는 Fig. 3 에 나타낸 경계조건 하에서 온도분포해석을 실시하면 아래의 식(9)를 이용하여 구할 수 있다. 구멍에서의 복사에 의한 영향은 마스크의 두께가 워낙 얇고, 실제의 온도가 100℃ 미만이므로 무시하였다.

Table 1 Material properties of tension mask

	Al-Killed Steel	Effective Material properties
$E_x (N/mm^2)$	22×10^4	3.59×10^4
$E_y (N/mm^2)$		15.988×10^4
ν_{yx}	0.25	0.05963
ν_{xy}		0.26556
$K_{xx} (W/mm^{\circ}C)$	5.45×10^{-2}	1.147×10^{-2}
$K_{yy} (W/mm^{\circ}C)$		3.055×10^{-2}

2.3 열 입력의 계산

음극선관 및 텐션 마스크에 직접 입력되는 열원은 전자총에서 발생하는 전자빔의 충돌에 의한 열에너지이다. 그러므로 온도분포해석을 실시하기 위해서는 전자빔이 마스크와 패널에 충돌하여 생성되는 열 입력량을 결정해야 한다. 이를 아래 식(10)과 식(11)에 나타내었다⁽²⁾.

$$q_{mask} = \frac{P}{A_{mask}} (1 - e_h)(1 - e_v) \left(1 - \frac{A_s}{A}\right) \quad (10)$$

$$q_{panel} = \frac{P}{A_{mask}} (1 - e_h)(1 - e_v) \left(\frac{A_s}{A}\right) \quad (11)$$

여기서, P : 전자총 Power($V \times I$)
 A_s : 단위 텐션 마스크의 구멍의 면적
 A : 단위 텐션 마스크의 면적
 e_h : 수평 주파수*수평 회귀 시간

e_v : 수직 주파수*수직 회귀 시간
 A_{mask} : 텐션 마스크의 전체 주사면적

위의 식들에서 전자총에서 발생한 전자빔이 마스크와 패널에 충돌하여 모두가 열에너지로 변환한다고 가정하였다.

2.4 해석 과정

전자빔의 오차를 정량적으로 계산하기 위해서는 크게 네 가지의 해석단계를 순차적으로 수행하여야 한다. 먼저, 진도, 대류, 복사 열전달이 일어나는 음극선관내의 각 부품에 대하여 여러 가지 형태의 주사패턴에 의한 전자빔의 열입력시 온도분포를 계산해야 한다. 다음 단계로는, 완전평면 음극선관의 고유한 공정인 텐션 마스크에 인장력을 가하고, 지지체인 레일과 용접 되면서 마스크에 인가되어 있던 인장응력들이 레일 및 패널로 분산되는 응력 재분포 과정에 대한 구조해석을 거쳐야 한다. 세 번째 단계로는, 계산된 온도분포를 열하중으로 입력하여 열변형해석을 실시하여 최종적인 마스크의 변위를 계산한다. 마지막으로, 마스크의 변위를 이용하여 시간변화에 전자빔의 오차량을 계산하면 해석은 완료된다. 전체의 해석과정에 대한 흐름도를 아래 Fig. 4 에 나타내었다.

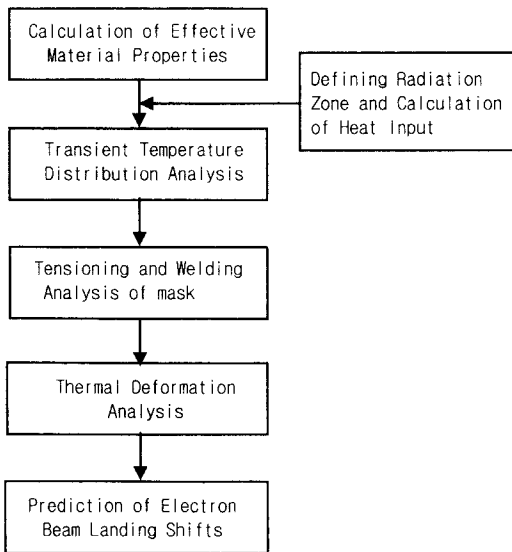
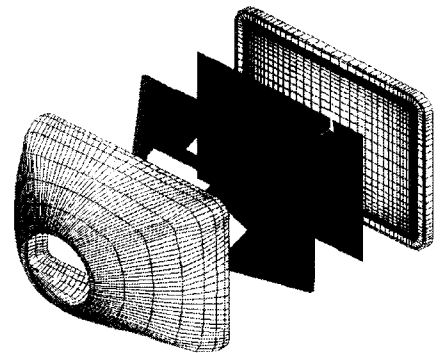
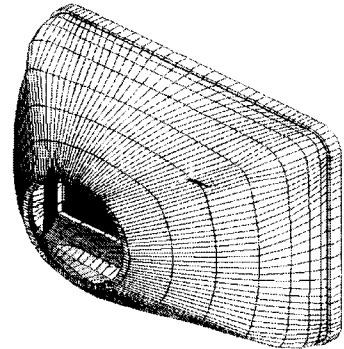


Fig. 4 Flow chart for total analysis procedures

Fig. 5 에 나타낸 음극선관의 전체 부품에 대한 유한요소 메쉬 중에서, 이너셴드(inner shield)는 온도 분포해석의 단계에서는 포함되지만 열변형 해석의 단계에서는 다른 부품의 열변형에 거의 영향을 주지 않으므로 제외하고 해석을 실시하였다. 본 해석에 사용된 프로그램은 범용 유한 요소 프로그램인 ANSYS 이었다.



(a) Apart for explanation



(b) In assembly

Fig. 5 Finite element meshes for all parts in perfectly flat CRT

3. 측정

3.1 온도 측정

완전평면 음극선관내 각 부품의 온도를 측정하기 위해서 k-type 열전대를 측정하고자 하는 위치에 부착한 후 측정용 음극선관을 제작하였다. 이때 음극선관의 내부는 진공이며 고전압(약 26kV)이 인가되어 있으므로 열전대를 음극선관의

외부로 인출할 때는 진공이 누설되지 않도록 하는 동시에, 열전대를 통하여 흐르는 고전압에 주의해야 한다. 자세한 실험의 절차는 다음과 같다.

① 열전대 부착 및 인출

: 열전대의 끝점을 꼬아서 용접한 뒤, 고온, 고전압의 환경에서 사용되는 아론(Aron) 세라믹 분드를 사용하여 측정하고자 하는 위치에 완전히 부착한 다음, 이너셴드와 레일의 용접 지점을 약간 절개하고 서로 접촉되지 않도록 유의하여 열전대를 음극선관의 외부로 인출한다.

② 실제 음극선관의 제조공정 투입

: 열전대가 끊어지거나 외부와 접촉하지 않도록 석면 테이프를 이용하여 패널 전면에 부착하여 각종 생산공정을 진행한다.

③ 열전대의 외부인출 부분에 진공 및 절연 유지

: 열전대가 인출된 부분에서 진공이 누설될 우려가 있으므로 진공 구리스(grease)를 바르고 또한, 음극선관 구동시 고전압이 인가되므로 절연 테이프 및 절연액을 바른다.

④ 음극선관을 동작시키고 열전대의 기전력 변화를 기록

: 여러 가지 주사패턴을 설정하고 음극선관을 동작시키면 열전대의 끝점에서 미소한 기전력의 변화가 생긴다. 이를 국제 온도 눈금(ITS-90)에 준한 규격화된 열전대의 온도-기전력 기준 표⁽⁶⁾에 근거하여 온도로 환산하였으며, 초기 온도 치를 온도 환산 치에 더해주는 방식으로 하였다.

3.2 빔 오차량 측정

텐션 마스크의 열변형에 의한 전자빔의 오차량을 측정하였다. 사용된 장비는 Convergence & Purity Measuring Unit(Felmo Co.)를 사용하여 측정의 정확도를 높였다. 자세한 실험의 절차는 다음과 같다.

① 측정하고자 하는 주사패턴을 화면상에 디스플레이한 후, 측정하고자 하는 지점에 현미경을 고정시킨다.

② 음극선관의 전원을 끈 후, 충분히 냉각될 때까지 기다린다.

③ 다시 전원을 켜고 측정하고자 하는 주사패턴을 띄운 후, 그 순간의 빔의 위치를 기록한다.

④ 시간에 따라 스폿의 폭을 기록하여 최초 스폿의 폭과 비교하여 전자빔의 오차량을 측정한다. 여기서 스폿이란 전자빔이 마스크의 구멍을 통과

한 후, 패널 내면에 발라져 있는 형광체와 충돌하여 형광체가 발광될 때, 화면에서 실제로 보이는 미소 형상이다. Fig. 6에 나타낸 것처럼 동작 초기 스폿의 폭을 d_1 이라고 하고, 텐션 마스크가 열변형한 후의 그것을 d_2 라고 할 때, (d_1-d_2) 값에 현미경의 배율을 고려해 주면 전자빔의 오차량이 측정된다.

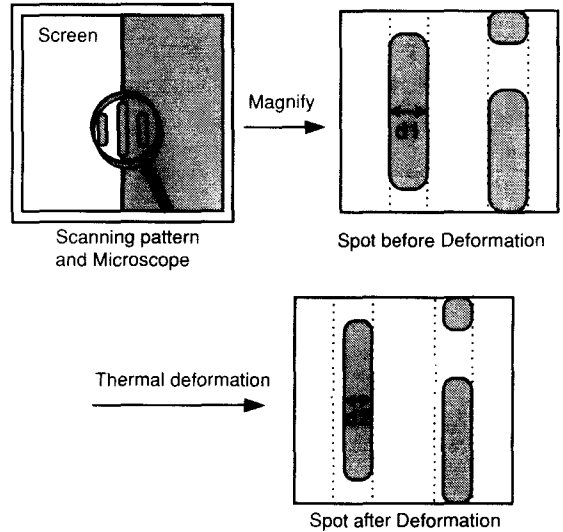
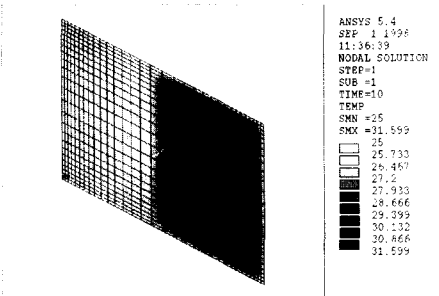


Fig. 6 Measurement of beam landing shifts

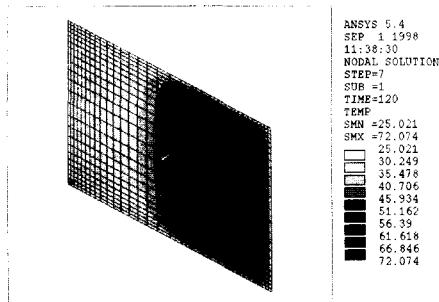
4. 결과 및 고찰

본 논문의 목적은 전자빔이 화면의 일부만 주사하여 국부적으로 텐션 마스크가 가열될 때의 온도분포와 열변형 해석을 통한 전자빔의 오차를 계산하는 것이므로, 몇 가지의 주사패턴에 대해서 해석을 실시하였다. Fig. 7에 나타낸 결과는 전자빔이 마스크의 절반만 주사(half raster)되는 경우의 시간대별 온도분포 해석결과이다. Fig. 8에는 각각 화면전체(full raster), 마스크의 중앙에만 60x60의 크기로 주사될 때(center raster), 그리고 같은 60x60의 크기로 화면의 1/4 지점에 주사될 때(middle raster)와 코너부위에 주사될 때(corner raster)의 해석결과를 나타낸 것으로서, 1800초가 경과했을 때의 결과를 나타내었다. 전자빔이 화면 전체를 주사하는 full raster의 경우에 온도가 제일 높게 계산 되었으며, 60x60의 경우는 대체로 온도가 낮게 계산이 되었는데, 특히 middle의 경우가

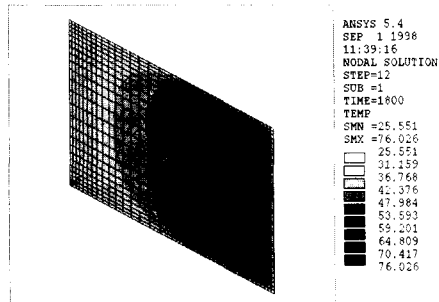
center 일 때보다 온도가 약 4℃정도가 낮은 것은 전자빔이 입력되는 위치가 레일(rail)과 가깝기 때문에 center의 경우보다 전도에 의해 열이 레일쪽으로 더 많이 빼앗기기 때문이다. Fig. 9는 half raster 일 경우에 대한 다른 부품들의 온도 분포 해석 결과이다. 온도가 약 76℃ 정도까지 올라가는 텐션 마스크와 4mm 정도의 간격에 있는 패널은 마스크와 마주한 내면에 알루미늄이 코팅 되어 있어 방사율이 매우 낮으므로 복사 열전달이 가장 많이 일어날 수 있는 위치에도 불구하고 온도가 30℃ 정도 밖에 올라가지 않는 것을 알 수 있다.



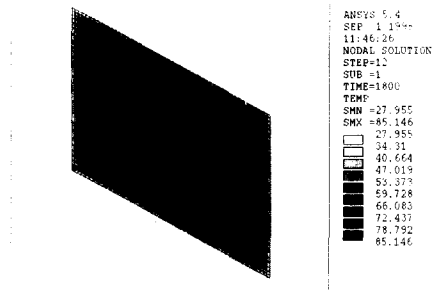
(a) 10 sec.



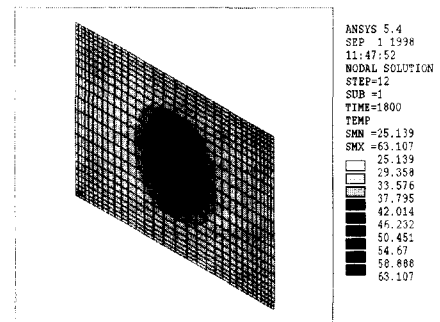
(b) 120 sec.



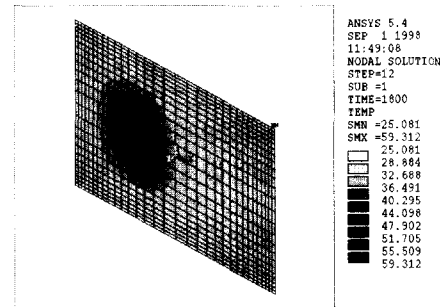
(c) 1800 sec.



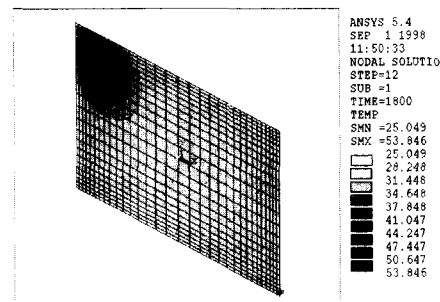
(a) Full raster



(b) Center raster



(c) Middle raster



(d) Corner raster

Fig. 7 Temperature of tension mask at half raster

Fig. 8 Temperature of tension mask

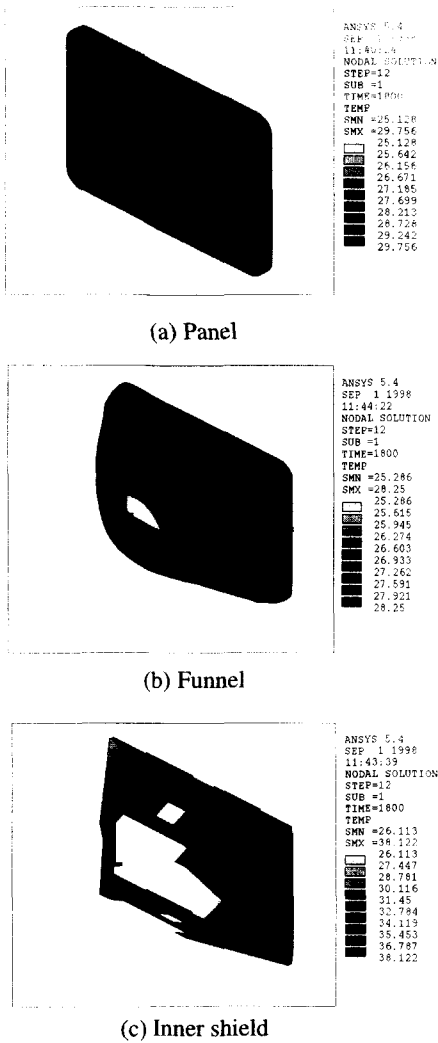
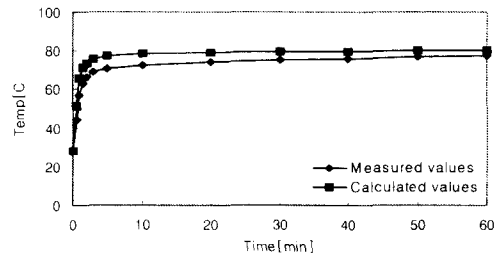


Fig. 9 Temperature of other parts at half raster

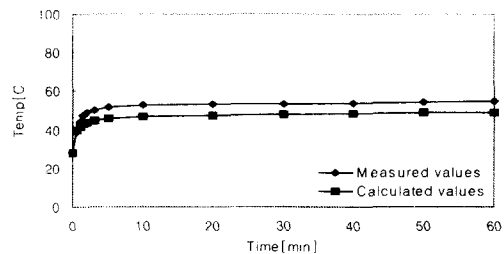
Fig. 10에 나타난 측정과 해석의 비교 그래프에서 알 수 있듯이, 거의 모든 주사패턴에 대해서 대략 동작초기에서 120 초 정도가 경과되면 온도가 거의 오르지 않는 정상상태가 된다. 본 그래프에서 흥미로운 결과는 이너설텔드의 온도로서 레일의 온도보다 약 6~7°C 정도가 더 높다는 것이다. 이는 고온의 텐션 마스크와의 전도 열전달에 의한 레일의 온도상승보다는 복사 열전달에 의한 이너설텔드의 온도상승이 더 크다는 것을 의미하며, 음극선관내부에서는 복사열전달이 가장 중요한 열전달의 경로라는 것을 나타내는 것이다. 또한, 텐션

마스크의 두께가 25 μ m인 박판이기 때문에 전도 열전달의 영향을 축소시키는 요인이 되고 있다는 것을 알 수 있다.

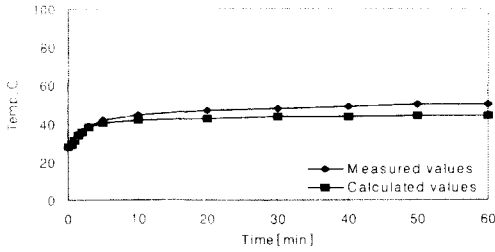
Fig. 11은 각각의 주사패턴에 대한 동작 후 1800 초가 경과했을 때의 빔 오차의 계산결과를 나타낸 것이며 단위는 μ m이다. 본 해석의 대상인 완전 평면 음극선관은 종래의 그것보다는 단순한 구조로 되어 있으므로 시간에 따른 오차량의 분포 형상은 거의 차이가 없으며, 다만 그 값만 바뀐다. 굵은 실선은 여러 가지 주사패턴에 따른 전자빔의 입력부분을 나타내며, 텐션 마스크의 X방향 변위를 전자빔의 오차량으로 간주하였고 크기의 비교는 절대값을 기준으로 하였다. 거의 모든 주사패턴에서 최대의 전자빔 오차가 발생하는 지점은 전자빔이 주사되는 부분의 경계에서 발생한다. 다만 full raster의 경우는 대칭성에 의해 약 1/4 지점에서 발생한다는 것을 알 수 있다. 이는 텐션 마스크에 가해진 인장력에 의한 영향이며, 폭 방향(Z방향)의 변위가 거의 발생되지 않고 열변형 후에도 마스크가 평면을 유지하기 때문이라 볼 수 있다. 따라서 Fig. 11(a),(b)에서 나타난 것처럼 온도가 제일 높은 full raster의 경우보다 오히려 온도가 낮은 half raster의 경우가 더 큰 오차량을 보인다는 것을 쉽게 알 수 있다. 60x60 크기의 주사패턴의 경우는 낮은 온도로 인해 대체로 낮은 오차량을 보였다.



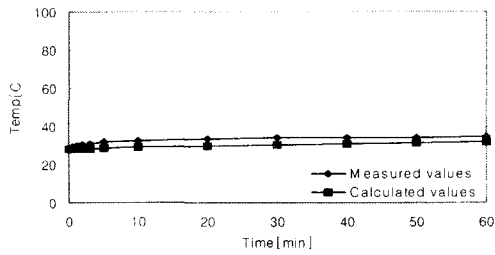
(a) Mask center



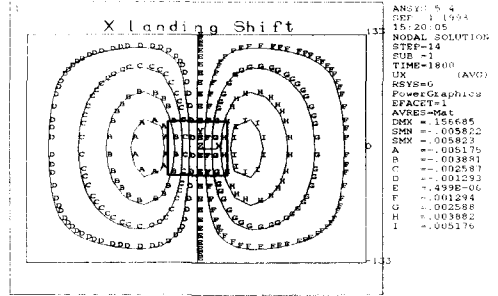
(b) Mask edge



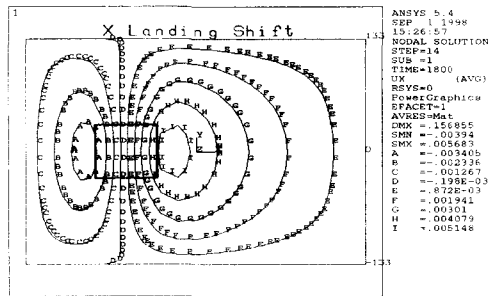
(c) Inner shield



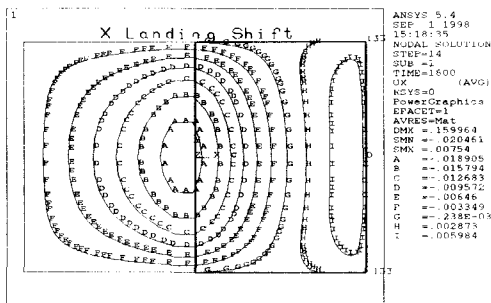
(d) Rail



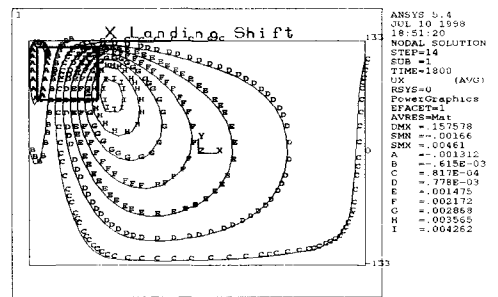
(c) Center raster



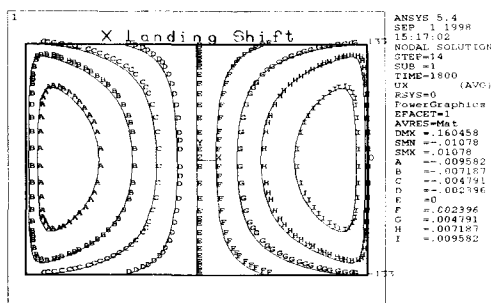
(d) Middle raster



(a) Half raster



(e) Corner raster



(b) Full raster

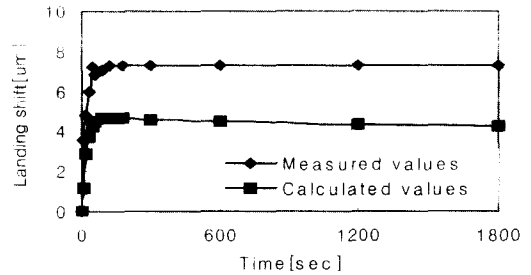
Fig. 11 Distributions of beam landing shifts

Fig. 10 Comparisons of temperature between measurement and analysis results

Fig. 12는 각 주사패턴에 대한 전자빔의 오차량에 대한 측정결과와 해석결과를 비교한 것이다. 전자빔의 오차량 측정지점은 half raster($x=0, y=0$), center raster($x=-30, y=0$), middle raster($x=-100, y=0$), corner raster($x=-100, y=90$)이다. 전자빔의 오차량이 제일 큰 half raster의 경우에 온도분포해석의 경우와 같이 120초 정도가 되면 정상상태에 도달되며 해석과 측정이 아주 잘 일치하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 corner raster의 경우, 어느 정도의 오차가 나타나고 있다. 이것은 텐션 마스크에 미

리 인장을 가할 때, 해석시의 난이도를 고려해서 모든 면에서 균일하게 탄성영역의 한도 내에서 인장 된다고 가정하였지만, 실제로는 균일하게 인장 되지 않을 뿐만 아니라 국부적인 소성 변형이 발생되며, 또한 용접공정 자체의 영향과 같은 원인 등이 복합적으로 작용했기 때문으로 추정된다. 그러나 오차의 절대적인 값은 그리 크지 않은 양이며 어느 정도의 측정의 오차를 감안 한다면 대체로 근사하게 일치한다고 볼 수 있다.

따라서, 향후 텐션 마스크의 국부적인 소성변형까지 고려한 해석이 필요하며, half raster의 경우에 전자빔의 오차량이 크므로 패널 내면에 흑화처리를 해서 방사율을 높이는 등의 대책이 강구되어야 한다고 판단된다.



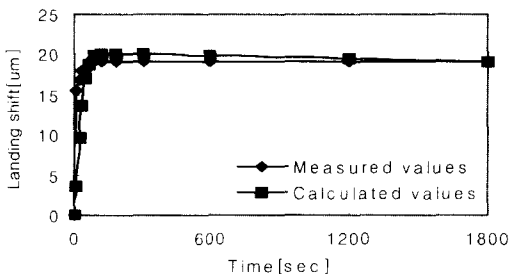
(d) Corner raster

Fig. 12 Displacement change of tension mask at various scanning pattern

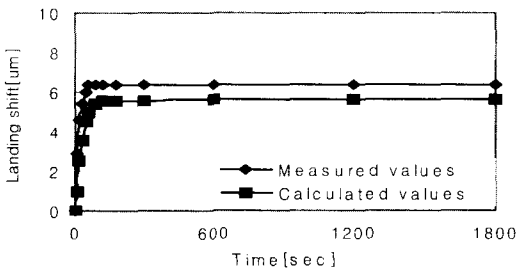
5. 결론

완전평면 음극선관에 사용되는 텐션 마스크에 대한 온도 분포 해석과 변위 해석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

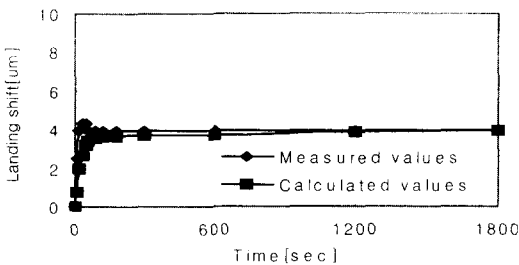
- (1) 완전평면 음극선관에서 사용되는 텐션 마스크의 인장과정과 레일과의 용접에 의한 각 부품으로의 응력 재분포 과정, 전자빔의 여러 가지 주사패턴에 대한 마스크 및 각 부품의 온도분포 및 열변형에 의한 전자빔의 오차량 계산까지의 여러 단계의 해석을 순차적으로 해석하는 기법을 제시하였다.
- (2) 텐션 마스크의 온도는 주사패턴의 면적에 가장 크게 영향을 받기 때문에 마스크 전체를 주사하는 full raster의 경우가 가장 높았으며, 주사 면적이 같은 경우에는 주사되는 위치가 레일에서 가까울수록 온도가 낮아진다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 완전평면 음극선관내 각 부품의 온도는 전자빔에 의한 직접적인 열 입력을 받는 텐션 마스크를 제외하면 텐션 마스크와의 복사 열 전달이 일어나는 이너월드의 온도가 가장 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 음극선관의 내부에서는 복사 열 전달이 가장 중요한 열 전달 경로라는 것을 알 수 있다.
- (4) 텐션 마스크의 열변형에 의한 전자빔의 오차량이 가장 크게 나타나는 경우는 미리 가해진 인장력의 영향으로 인해 화면의 반만 주사 되는 half raster 일 때이며, 최대 발생 위치는 대략적으로 화면의 중앙부였다.



(a) Half raster



(b) Center raster



(c) Middle raster

- (5) 본 해석의 결과를 검증하기 위해 각 주사패턴에 대하여 음극선관내 각 부품의 온도와 전자빔의 오차량을 각각 측정하고 해석결과와 비교분석 함으로써 해석결과의 정확성을 입증하였고 향후 신제품의 설계 시 개발기간의 단축 및 제품 신뢰성 향상에 본 해석의 결과가 유용하게 사용될 수 있다.

참고문헌

1. T.Ueyama, H.Kanei, R.Hirai and T.Yano, "Improved Computer Simulation Method for Shadow Mask Thermal Deformation and Beam shift," Japan Display 89, pp. 558-561, 1989.
2. Hyeongyu Kim and Seyoung Im, "Analysis of Beam Landing Shifts due to Thermal Deformation of a Shadow Mask," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 40, No. 1, pp. 47-54, 1993.
3. Dae Jin Kang, Kug Weon Kim and Chang Seop Song, "Analysis of electron beam landing shift of CRT by thermal radiative effect and thermal deformation," 전자공학회지 Vol 34, pp. 12-2, 1997.
4. ANSYS User's Manual, Vol. IV, Swanson Analysis Systems Inc., 1992.
5. P.A.Kinize, "Thermocouple Temperature Measurement," Wiley-Interscience Publication, 1976.
6. 김용규, 감기술, 강기훈 and 지대성, "국제 온도 눈금(ITS-90)에 준한 규격화된 열전대의 온도-기전력 기준 표," KRISS-94-025-MO, 1994.