

음극선관의 내충격 특성 향상을 위한 구조 설계에 관한 연구

박상후*, 김원진**, 이부윤**

A Study on the Structural Design Approach to Improve Shockproof Characteristic in Cathode Ray Tube

Sang-Hu Park*, Won-Jin Kim**, and Boo-Youn Lee**

ABSTRACT

In this study, the structural design concepts of main parameters of a Cathode Ray Tube(CRT) such as frame, spring and shadow mask were proposed to guarantee a failure-proof CRT under mechanical shock. With computer simulation and experiments, some information on the structural design concept was obtained as followings; the frame and the shadow mask of the CRT needed designing to increase strength, so double-beads shape at the corner of frame was newly designed for it. And the spring, which interconnected frame with panel glass, was required to deform elastically for the purpose of absorbing the shock energy in the direction of drop. A new type of spring, 'twisting spring', was designed to achieve the flexibility in that direction. By using it, the deformation energy of a shadow mask could be reduced to some degree. To accomplish those simulations, commercial codes, Pam-Crash and I-DEAS were used and a typical CRT was analyzed as an example to prove the usefulness of this study.

Key Words : CRT(음극선관), Drop Test(낙하시험), Deformation energy(변형에너지), Twisting Spring(비틀림 스프링), Shadow Mask(새도우 마스크)

1. 서론

일반적으로 소비자의 신뢰를 받는 제품은 품질의 우수성과 더불어 생산된 제품이 고객의 손에까지 전달되는 유통과정과 소비자의 사용환경에서 자주 발생할 수 있는 요인에 대하여 일정한 품질을 유지할 수 있어야 한다. 특히, 디스플레이 제품은 기능상 사용 용도가 다양해지고 있으며, 그에 따른 내충격 특성도 함께 요구되어지고 있다.

현재까지 가장 일반적으로 사용되어지고 있는 디스플레이 제품인 음극선관(Cathode Ray Tube)은

제품 출하시 충격에 대한 품질을 검증하고 있으며, 설계상에 미리 내충격성이 만족되도록 많은 연구가 진행되고 있다. 음극선관의 일반적인 기구적 구조는 Fig.1 과 같다.

새도우 마스크는 그 두께가 0.1 ~ 0.2 mm로 상당히 얇은 박판을 사용하므로 일반적으로 그 강성(stiffness)이 취약하기 때문에 외부의 충격에 의하여 변형이 쉽게 발생하여 전자 빔(electronic beam)의 진행방향을 제대로 잡아주지 못하여 화면상에 색 얼룩(miss-landing)이 발생하기도 한다. Fig.2 는 모니터 제품의 충격시험에서 발생하는 불량 중의

* LG 생산기술원 디자인엔지니어링 센터

** 계명대학교 자동차공학부

하나인 색 얼룩 현상을 보여주고 있다.

2. 충격 해석

2.1 새도우 마스크의 유효물성치

CRT의 프레임과 스프링의 경우에는 재료물성치를 일반적으로 인장시험에 의해서 구하게 된다. 그러나 새도우 마스크의 경우를 보면, 마스크에 수 많은 구멍이 뚫려져 있는 부분(유효면)이 존재하여 일반적인 인장시험으로 재료물성을 구하기가 어렵다. 따라서 새도우 마스크의 물성에 관한 많은 선행 연구⁽¹⁻⁵⁾가 있었다.

본 연구에서는 Kim⁽⁴⁾ 등이 제안한 해석적 방법으로 탄성계수와 포아송비의 유효 물성치(effective properties)를 구하였다. 유효물성을 구하는 과정에서는 모니터용 CRT의 새도우 마스크 구멍형상이 거의 원형이므로 등방성 탄성재료(isotropy elastic material)로 가정하였다.

Fig.3은 새도우 마스크의 등가모델을 설명한 것이다. 즉 Fig.3(a), (b)에서와 같이 새도우 마스크의 인접한 구멍사이의 영역을 평면응력(plane stress)상태로 가정하고, 일부 형상을 분리한 모델의 해석에서 유효물성치를 구하면 (b)와 응력상태가 동일하면서 구멍이 없는 등가 평판모델, (c)를 구할 수 있다.

Fig.3(b)의 모델을 사용한 해석결과로부터 유효 물성치의 탄성계수 E 값과 포아송비 ν 를 구하기 위한 수식은 수식(1)~(3)과 같으며, 이 유효 물성치들은 새도우 마스크를 Fig.3(c)의 구멍이 없는 상태로 가정한 등가모델에서 물성치로 사용된다.

Fig. 1 A schematic drawing of the CRT and functional part's name

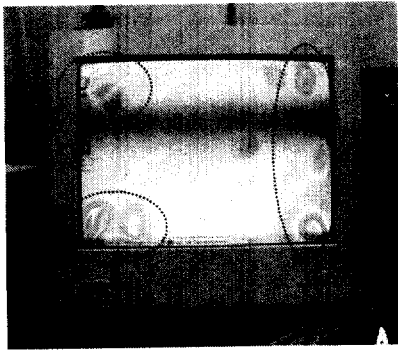
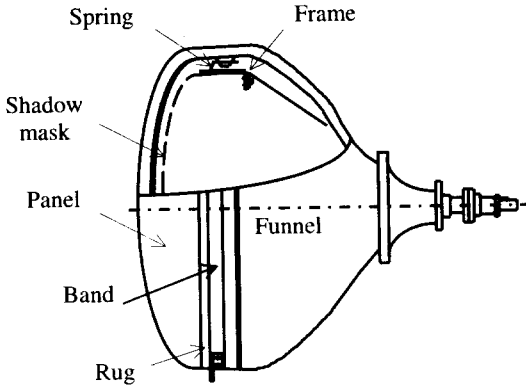
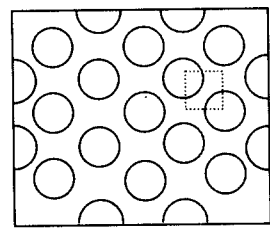


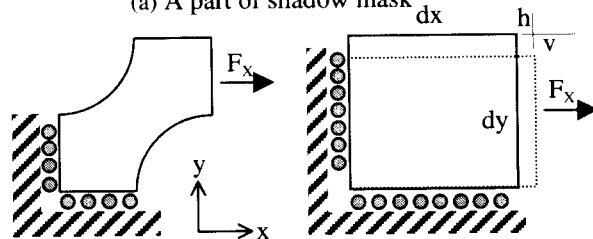
Fig. 2 Miss-landing of electronic beams due to the deformed shadow mask.

따라서 제품을 개발하거나 출하시 충격에 대한 규격(spec.)을 정하여 외부 충격에 대한 평가를 하게 되는데, 이러한 규격은 소비자의 사용환경 뿐만 아니라 운송 조건까지 고려하여 정해지게 된다. 즉, 공장으로부터 출하된 제품이 여러 가지 경로를 거쳐 최종 고객에게 전달되는 과정에서 받게 되는 환경 요인과 소비자의 사용환경을 모두 고려하여 제품이 손상되지 않는 충격량을 제품 규격으로 선정하게 된다.

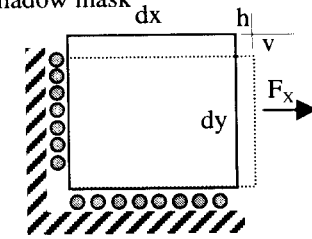
본 연구에서는 이러한 규격에 대하여 제품이 내충격성을 가지도록 구조 설계인자에 대한 설계 개념을 수치해석 방법으로 정립하고, 그 유용성을 검증하기 위하여 모니터용 음극선관을 선택하여 실험적 방법으로 연구결과를 검토하였다.



(a) A part of shadow mask



(b) A single model of shadow mask



(c) An equivalent model of shadow mask

Fig. 3 An equivalent model of the shadow mask

$$E_x = \frac{\sigma_x}{\epsilon_x} = \left(\frac{F_x}{dx \cdot dz} \right) / \left(\frac{h}{dx} \right) \quad (1)$$

$$E_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}} = \left(\frac{F_y}{dy \cdot dz} \right) / \left(\frac{h}{dx} \right) \quad (2)$$

$$v = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = \left(\frac{v}{dy} \right) / \left(\frac{h}{dx} \right) \quad (3)$$

여기서 h 와 v 는 Fig.3(b)의 모델로부터 계산된 단위셀의 수평 및 수직 방향 변형량을 나타내며, dx 와 dy 는 단위셀의 크기를 나타낸다.

2.2 충격 에너지량 측정

음극선관에 전달되는 충격 파형과 충격량을 알아보기 위하여 Fig.4 와 같은 실험 장치를 이용하여 충격시험을 실시하였다. 실험에 사용된 장비는 Yoshida Seiki 충격 시험기이다. 충격파형은 음극선관의 경우 일반적으로 충격패드를 사용하여 제어하기 때문에 반사인(half sine) 형태의 파형을 얻게 된다. 그리고 음극선관에서 내충격성이 가장 취약한 방향은 Fig.4 와 같이 새도우 마스크면에 수직인 방향으로 낙하할 때이므로 시험규격에서는 이 방향에 대해서만 충격시험을 요구한다.

실제로 음극선관에 전달되는 충격량은 음극선관의 관넬(panel)중심부에 가속도계를 설치하여 충격파형과 시간 그리고 최대 가속도로 정의한다. 충격시험을 통하여 구해진 충격량은 유한요소해석 모델의 입력조건으로 사용한다. 그리고 전자제품에 대한 충격분제를 해결하기 위한 해석 및 실험적 접근 방법에 대한 연구사례는 몇 가지가 있으며 충격 에너지량 측정을 위한 실험은 선행사례¹⁶⁻¹⁷⁾와 접근 방법이 동일하다.

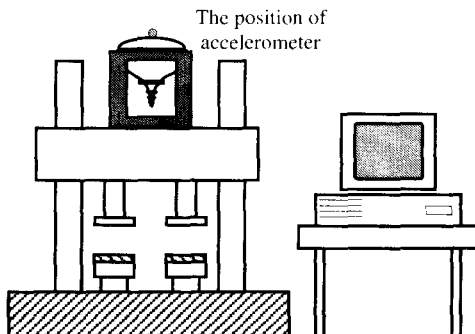


Fig. 4 The impact test system

2.3 유한요소 해석 모델

대표적인 CRT 의 구성은 Fig.1 에 나타난 것처럼 관넬, 퍼널(funnel), 새도우 마스크(shadow mask), 프레임(frame), 스프링(spring), 러그(rug), 밴드(band)로 구성되어 있다. 여기서서는 해석 시간을 줄이기 위하여 다음과 같은 몇 가지 공학적 가정을 하였다.

첫째, CRT 로 전달되는 충격력은 러그, 밴드를 통하여 관넬, 퍼널로 전달되어서 관넬의 스투드 핀(stud pin)을 통하여 스프링, 프레임 그리고 새도우 마스크로 전달된다.

둘째, 관넬, 퍼널, 밴드 그리고 러그는 새도우 마스크에 비하여 변형을 거의 하지 않기 때문에 강체(rigid bodies)로 가정하고 해석모델에서는 고려하지 않는다.

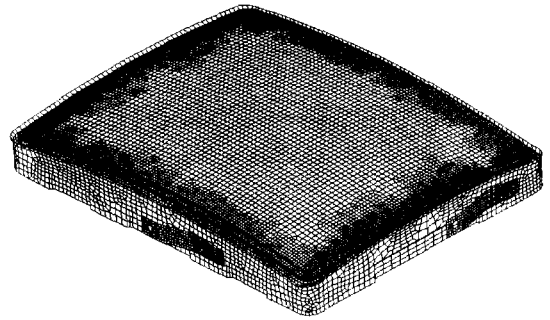


Fig. 5 A finite element model of a typical CRT

Fig.5 에는 본 해석에 사용된 셸(shell) 요소의 유한요소 모델을 나타내었다. 그리고 충격력은 관넬에 부착된 스투드 핀을 통하여 전달된다고 가정하여 실험에서 구한 충격량을 입력조건으로 Fig.6 과 같이 스프링 구멍의 중심에서 z 축 방향으로 입력하였다.

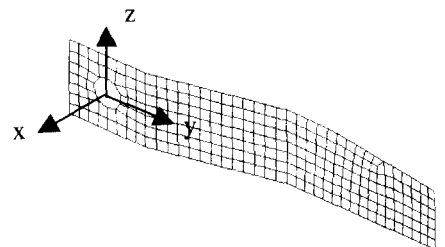


Fig. 6 Constraint directions of the spring

또한, 경계조건으로는 스프링이 관넬에 있는 스투드 핀에 끼워진 상태를 고려하여 x, y 방향의 변위와 y 방향의 회전을 구속하였다.

3. 결과 및 토의



3.1 새도우 마스크의 내충격 특성

새도우 마스크는 전자총에서 방사된 전자빔의 방향을 정확한 색 세포에 위치하도록 안내하는 역할을 한다. 따라서 외부의 충격에 의하여 새도우 마스크가 변형되지 않도록 충분한 강성을 유지할 수 있어야 한다. 강성을 증대시키는 일반적인 방법은 다음과 같다.

- 강도 해석을 통하여 주어진 조건에서 최대의 강성을 낼 수 있는 새도우 마스크의 곡률을 선정한다.
- 새도우 마스크의 가장자리에 비드(bead)를 최대한 큰 형상으로 삽입하여 강성을 증대 시킨다. 이때 비드 부근의 유효면 구멍이 확대될 우려가 있기 때문에 비드 치수를 잘 고려해야 한다.
- 금형설계를 개선하여 성형 후, 탄성회복에서 유효면의 곡률변화가 발생하지 않도록 한다.
- 마스크 열처리와 코팅(coating)을 한다.

본 연구에서는 새도우 마스크 가장자리의 비드 형상에 따른 진동 모드해석(modal analysis)을 실시하여 강성을 상대적으로 비교하였으며, 계단 비드(step bead) 형태가 가장 내충격에 유리함을 알았다. Table 1 에는 고유진동수에 대한 해석적 결과 중에서 일반적으로 많이 사용하는 2 가지 새도우 마스크 비드 형상에 대하여 나타내었다.

Table 1 Natural frequencies of shadow masks with two types of bead shape.

Mode(Hz)	Groove bead shape	Step bead shape
1 st	232.7	239.2
2 nd	240.7	247.6
3 rd	241.5	248.3
Bead shape (corner shape)		

그리고 해석 결과를 검증하기 위하여 Fig.4 와 같은 방법으로 실험적으로 비드 형상에 따른 내충격성을 분석한 결과, 해석 결과와 같이 계단 비드를 적용한 경우가 일반 홈 비드(groove bead)를 사용한 경우에 비하여 내충격성이 높았으며, 견딜

수 있는 최대 가속도 값으로 비교하면 약 3~4G ($1G=9.8m/s^2$) 정도 향상됨을 알 수 있었다.

따라서 화질에 직접적인 영향을 주는 새도우 마스크의 강성이 증대될수록 내충격성이 향상됨을 알 수 있었고 이러한 것은 간단하게 고유진동수로 평가가 가능하였다.

3.2 프레임의 내충격 특성

프레임은 용접에 의하여 새도우 마스크를 고정하는 역할을 하기 때문에 충격에 의하여 프레임이 변형되는 경우, 그 영향이 새도우 마스크로 전달된다. 따라서 프레임의 강성 역시 중요한 설계 변수 중에 하나이다.

프레임의 강성을 검토하기 위하여 충격에서 중요하게 발생하는 1~2 차 모드 형상(mode shape)을 실험적으로 측정하였다. 실험을 위한 장치는 Fig.7 과 같으며, 모드 형상은 Fig.8 에 나타내었다.

모드 형상(mode shape)에서 프레임의 코너부는 강성에 많은 영향을 주는 부분임을 쉽게 알 수 있다.

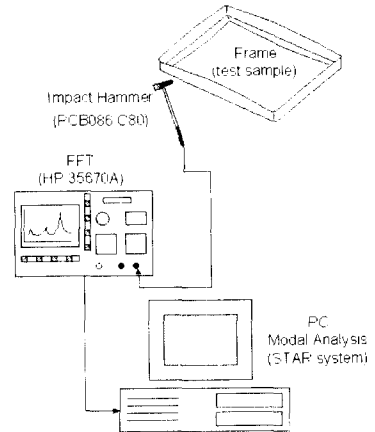


Fig. 7 A schematic diagram of modal analysis system

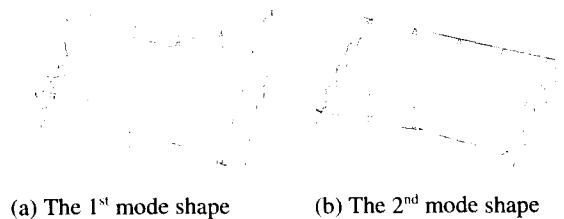


Fig. 8 The 1st and 2nd mode shapes of the frame

본 연구에서는 프레임의 강성을 증가시키기 위하여 이중 코너비드를 새롭게 제안하였다. 앞서 기술한 바와 같이 프레임의 강성 증대는 코너부의 형상에 많은 영향을 받기 때문에 이중으로 비드를 넣었다. Fig.9 에는 제안된 이중 코너비드에 대한 개략적인 형상을 나타내었고, Table2 에는 코너에 비드가 없는 경우(original frame)와 이중 코너비드가 적용된 프레임에 대한 고유진동수를 비교하여 강성을 평가하였다. 해석과 실험을 통하여 이중 코너비드의 크기가 증가됨에 따라 프레임의 강성도 비례적으로 증대되었다.

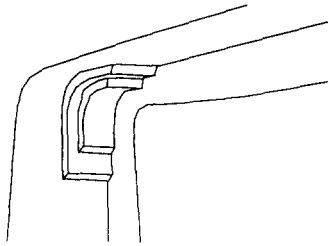


Fig. 9 Shape of new bead at frame corner (a quarter shape)

Table 2 Natural frequencies of the original and the newly designed frame.

Mode(Hz)	Original frame	New frame
1 st	69.8	73.8
2 nd	244.3	268.2
3 rd	289.7	303.7

또한, 충격시험을 통하여 이중 코너비드의 유용성을 검토한 결과 프레임의 코너에 비드가 없는 경우와 비교하여 임계 가속도 값이 평균 2G 정도 높게 나와서 내충격성이 향상됨을 알 수 있었다. 따라서 프레임의 강성은 코너부의 형상에 많은 영향을 받으며 강성이 증대될수록 음극선관의 내충격성이 향상됨을 알 수 있었다.

3.3 스프링의 내충격 특성

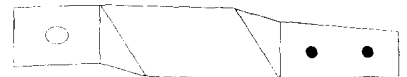
음극선관에 사용되는 스프링은 도밍(doming) 보상 효과를 제외한 다른 두 가지 중요한 기구적인 역할이 요구된다. 첫번째는 공정상에서 프레임이 관벌에서 이탈되는 것을 방지하도록 프레임을 관벌 유리면에 강하게 밀착할 수 있는 강성이 필요하다. 그리고 또 다른 특성은 내충격성과 관계가 있는데 음극선관이 충격을 받을 때, 충격에너지의 일부를 탄성적으로 흡수하여, 프레임과 새도우 마

스크로 전달되는 충격에너지를 최소화시키는 역할이다.

스프링에서 일정량의 충격에너지를 탄성적으로 흡수하게 되면 새도우 마스크의 변형이 줄어들게 되어 결국 음극선관의 내충격 특성이 향상된다. 본 연구에서는 스프링을 통한 내충격성을 검토하기 위하여 Fig.10(b)와 같은 비틀림 형상의 스프링¹⁸⁾에 대하여 그 실효성을 알아 보았다.



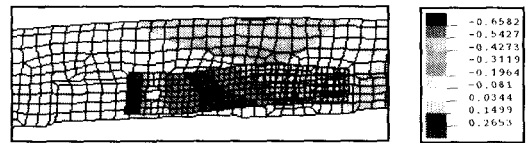
(a) The general type (straight spring)



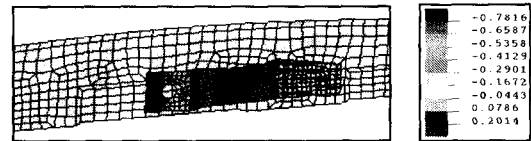
(b) The new type (twisting spring)

Fig. 10 Shape of springs for CRT

충격에 의하여 스프링이 변형할 때 Fig.10(b)의 경우에는 몸통의 비틀림부의 영향으로 Fig.10(a)의 경우에 비하여 쉽게 탄성적인 변형이 발생하여 충격에너지를 흡수하게 된다. 이렇게 흡수된 충격에너지는 충격 후 진동형태로 바뀌어서 프레임을 관벌면의 수직 방향으로 진동시켜서 에너지를 발산하게 된다. 즉, 순간적으로 가해지는 충격량을 충분한 시간동안 발산시키는 메카니즘이다.



(a) The general type (straight spring)



(b) The new type (twisting spring)

Fig. 11 Contour of displacement at drop condition (unit: mm).

Fig.11 에는 충격해석 전용 프로그램인 Pam-Crash 를 이용한 해석 결과의 예를 나타내었는데

동일한 충격에 대하여 변형하는 스프링의 변위량을 비교한 것이다. 여기서 비틀림 스프링의 경우에는 직선 스프링(Fig.10(a) 참조)에 비하여 최대 20% 정도 변형량이 증가됨을 알 수 있다.

해석과 실험을 통하여 비틀림 스프링은 이중 코너비드 프레임과 같이 사용될 때 그 효과가 더욱 증대하였는데 그러한 이유는 스프링에 탄성적으로 흡수된 에너지는 프레임의 강성이 낮은 경우에는 진동시키면서 발산하기 보다는 오히려 프레임의 변형을 유발하는 요인이 될 수 있기 때문이다.

4. 결론

결론적으로 본 연구에서는 CRT의 구조 설계에 중요한 인자에 대하여 충격 특성에 미치는 영향을 알아 보았고 내충격성 향상을 위한 설계 개념을 다음과 같이 제시하였다.

1. 새도우 마스크의 강성은 음극선관의 내충격성에 직접적인 영향을 주는 인자로서 강성이 높을수록 좋으며, 계단형 비드의 형태가 가장 강성에 유리함을 알 수 있었다.
2. 프레임의 경우에는 코너에 이중비드를 사용한 경우 강성이 증대되었으며, 내충격성도 같이 향상 되었다.
3. 스프링은 탄성변형을 통하여 에너지를 흡수할 수 있도록 비틀림 스프링 형태가 내충격성에 유리함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. T. Ueyama, H. Kanai, R. Hirai and T. Yano, "Improved Computer Simulation Method for Shadow Mask Thermal Deformation and Beam Shift," Japan Display, pp. 558-561, 1989.
2. S.C. Baik, K.H. Oh, D.N. Lee, "Analysis of the Deformation of a Perforated Sheet under Uni-axial Tension," J. of Materials Processing Technology, Vol. 58, pp. 139-144, 1996.
3. S.C. Baik, H.N. Han, S.H. Lee, K.H. Oh and D.N. Lee, "Plastic Behavior of Perforated Sheets under Biaxial Stress State," Int. J. Mech. Sci., Vol. 39, No. 7, pp. 781-793, 1997.
4. K.W. Kim, N.W. Kim and D.J. Kang, "Analysis of Shadow Mask Thermal Deformation and Prediction of Beam Landing Shifts for Color CRT," IEEE

- Transactions on Consumer Electronics, Vol.44, No.2, pp.442-448, 1998.
5. S.K. Park, S.W. Ko, "A Study on the Analysis of Shadow mask using the Sub-modeling Method," Korea ANSYS User's Conference, 1998.
6. 박상후, 이재진, 김한바라, "A design approach to failure-proof PCB in monitor system under shock," 대한기계학회 설계 및 생산부문 춘계학술대회 논문집, 1998.
7. H. Kim, J.J. Lee and S.H. Park, "Application of drop-impact simulation for package cushioning material reduction," Pam-system Users Conference, Japan, 1997.
8. 권민, 음극선관의 새도우마스크 프레임 지지용관 스프링 구조, 대한민국 실용신안, 출원번호 20-1999-009368.