

CRT 모아레 현상의 억제를 위한 진동 해석 및 설계

이 규현* 유홍희**

Kyu Heon Lee and Hong Hee Yoo

Vibration Analysis and Design of CRT for Reduction of Moire Phenomena

Key Words : Vibration, Design, Moire Phenomena, Shadow Mask, Apparent Property, Welding Point

Abstract

The moire phenomena, which are induced by mask vibration due to the excitation of speakers, degrades the color purity of CRT. So it is important to eliminate this phenomena to obtain a good CRT design. In this study we analyze the mask vibration by experiment as well as finite element method. To obtain the finite element solutions efficiently, an equivalent model was employed. The experimental and analysis results show reasonable agreements. An enhanced design configuration of mask welding points are suggested through this study.

1. 서 론

예전까지 산업용 혹은 연구개발용 수단으로만 사용되었던 컴퓨터의 용도가 점점 개인 레저용 필수품으로까지 확장되어 가고 그 입출력은 점점 멀티미디어화 되어가고 있다. 특히 게임 등 멀티미디어용 소프트웨어의 발전과 인터넷을 통한 이들의 급속한 파급은 스피커를 비롯한 외부장치의 발전을 촉진시켜 현재 개인용 컴퓨터에는 대부분의 경우 스피커가 장착되고 있다.

디스플레이 구성 요소 중 가장 중요한 마스크는 디스플레이 표면에 가해지는 충격 또는 여러 가지 외부 하중에 의해 정적 혹은 동적 변형을 일으키게 된다. 이러한 마스크의 변형은 디스플

레이 화면에 물결 무늬를 발생시키는데 이를 모아레 현상이라 하며 이 현상은 화질을 결정하는 주요 요인이 된다. 즉 이러한 현상은 소비자로 하여금 여러 불량 요인 중 가장 민감한 부정적 반응을 일으키게 한다. 이러한 문제는 예전의 공급자 위주의 시장질서체제에서는 큰 문제가 되지 않았으나 오늘날과 같이 소비자 중심의 체제에서는 이는 반드시 해결해야 하는 문제가 되었다.

이러한 모아레 현상의 해결을 위하여 현재까지 많은 연구자들이 주로 열변형에 치중하여 해석을 수행하여 왔다. 대표적으로 김국환 등[1]은 유한요소 해석에 의한 열변형 해석 방안을 제안했다. 백성출 등[2]은 마스크의 응력 해석을 수행했다. 또한 열변형 문제를 해결하기 위해 야마자키 등[3]은 열팽창 계수가 적은 특정 신소재 개발을 주장하여 도시바사에서 그 제안을 채택하였다. 그러나 이상의 논문들은 스피커에서 발생하는 가진력과 같은 동적 하중에 대한 고려를 하지 않고 디스플레이를 장시간 작동할 때 발생하는 열응력과 같은 정적 하중에 의한 모아레 발생 등과 같은 문제의 해결에 치중하였다.

* 한양대학교 대학원 기계설계학과
** 한양대학교 기계공학부

스피커의 장착이 일반화됨에 따라 일본의 사이타[4]는 마스크와 그를 감싸는 프레임간의 공명 현상에 대해 연구를 진행하였다. 이 연구는 주로 실험적으로 마스크의 고유 진동수를 구하는 방법에 대하여 관심을 보였으나 마스크의 가진에 의한 진폭을 줄여서 화질을 개선하는 방법에 관련해서는 연구를 하지 않았다. 특히 모아레 현상에 관한 연구는 이루어지지 않았으며 주로 스피커에 의한 특정 주파수 영역의 가진에 의해 디스플레이 자체 주파수 영역이 공명을 일으켜 발생하는 현상을 연구하였다.

가진에 의한 진폭발생으로 야기되는 모아레 발생의 해결책으로는 두 가지를 생각할 수 있다. 첫째 진동이 발생하는 부위에 진폭을 감쇠시킬 수 있는 부품을 설치하는 방안과 둘째 마스크와 프레임간의 용접 위치를 변화와 같은 접속형태의 변화를 통해 진폭을 감쇠시키는 방안이다. 그 중 전자는 새로운 부품의 설치를 통해서 이루어져야 하므로 비용이 상승되는 문제가 발생한다. 그에 반해 후자는 기존 용접 위치를 변경하면 되므로 별도의 비용이 소요되지 않으므로 이 논문에서는 후자를 선택하여 진폭을 억제할 수 있는 방안을 연구하고자 하였다.

2. 모아레 현상

모아레 현상은 디스플레이 화면에 물결 무늬가 발생하는 현상을 말한다. 모아레 발생 원리를 그림으로 설명하면 그림 1과 같은 고유주파수를 갖는 마스크에 그림 2와 같은 주파수를 갖는 스피커의 가진력이 가해지면 그 결과로 이 두 주파수가 혼합된 상태의 그림 3과 같은 신호가 디스플레이 화면에 나타나게 된다. 이에 따라서 원래 화면의 설계자가 의도한 그림 1의 주파수가 아닌, 그림 3에 포함되어 있는 새로운 저주파가 발생하는데 이것을 모아레 주파수라 한다. 모아레 주파수의 발생을 수식으로 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \cos(2\pi k_1 t + \theta_1) + \cos(2\pi k_2 t + \theta_2) = \\ & 2 \cos \pi \{(k_1 + k_2)t + \theta_3\} \cdot \cos \pi \{(k_1 - k_2)t + \theta_4\} \end{aligned} \quad (1)$$

모아레 현상은 전자총에서 빔의 발사 방향이

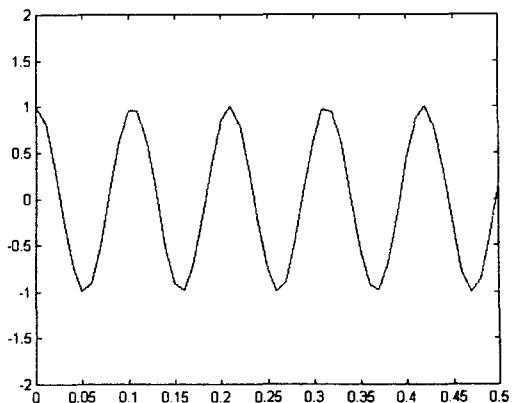


Fig. 1 Natural frequency wave ($f=k_1$)

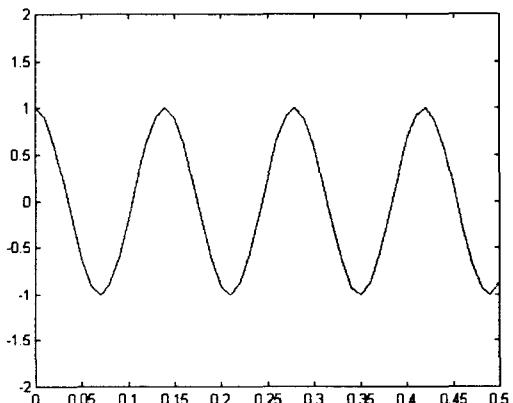


Fig. 2 Excitation frequency wave ($f=k_2$)

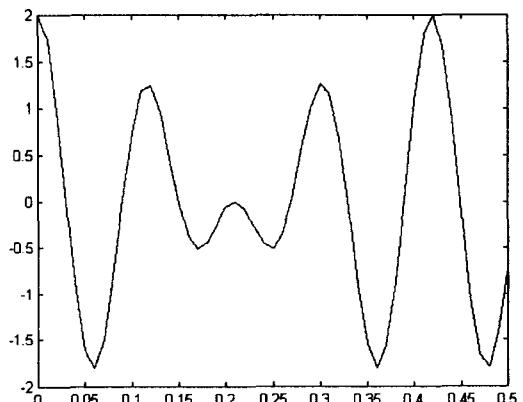


Fig. 3 Combined wave

정확하지 않거나, 혹은 편향 장치의 이상으로 전자빔의 굴절 각도가 변하여 빔이 스크린 상의 정해진 위치에 도달하지 못 할 때에도 발생하는데 이 경우는 물결 무늬가 움직이지 않고 항상 같은 위치에서 정지되어 있다. 그러나 이 보다 사람의 눈을 더 피곤하게 하는 것은 물결 무늬가 지속적으로 움직이는 것처럼 보이는 현상으로 이는 전자빔이 형광체에 충돌했다가 다음 순간에는 충돌하지 못하는 현상이 반복적으로 발생해야 한다. 이러한 현상은 가진에 의해 마스크의 위치가 반복적으로 변화하면 발생할 수 있으며 이것이 본 논문에서 다루려는 내용이다.

3. 모아레 재현실험

본 연구에서는 특정한 화면을 선정하고 가진을 가해줌으로써 모아레 현상을 재현하는 실험을 수행하였으며 이에 사용된 장비는 다음과 같다.

- ① Oscillator (가진기): 주파수 변화, 정현파 등 입력, Az - 5384A (제품명)
- ② 스피커: 좌우 $\phi 100\text{mm} \times 2$, 60W Max, D21k692 (제품명)
- ③ Signal Analyzer: 비접촉식 광학 변위계, MF2413A (제품명)
- ④ Oscilloscope: 신호 모니터

실험 구성은 그림 4에 나온 것처럼 모니터 화

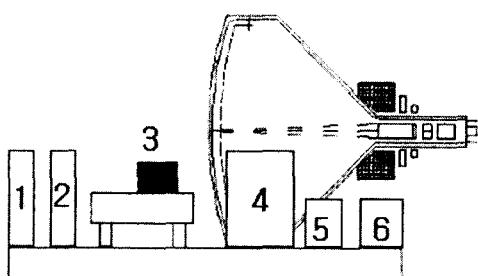


Fig. 4 Experiment set up

- 1 oscilloscope; 2 signal analyzer
- 3 laser sensor; 4 speaker
- 5 amp ; 6 oscillator

면이 단색이 되도록 영상 신호를 공급하고, 정현파 신호를 스피커에 공급하여 발생주파수를 변화시킬 때 모니터 화면에 물결 무늬가 발생하는지 확인한다. 사용된 화면은 17인치 모니터이며 실험 절차는 다음과 같다.

- ① 실험장비 및 레이저측정센서는 진동의 영향을 받지 않도록 특수하게 고안된 방진 테이블 위에 설치한다. 또한 측정품에는 측정 시 방해를 받지 않도록 형광체 도포를 하지 않도록 한다.
- ② 측정품은 판넬, 마스크, 프레임, 훌더로 구성된 PM 반제품을 사용하며 이 반제품은 스피커에 의해 진동하도록 한다.
- ③ 미리 설정된 마스크 상 30개의 지점으로부터 레이저를 통해 진동을 측정한다.
- ④ 측정된 신호는 디지털 오실로코프로 전송하여 신호 분석을 한다.
- ⑤ 일반적인 용접 상태에서 이사의 절차에 따라 측정한 후, 용접 위치를 바꾼 반제품을 이용하여 위의 절차를 반복하여 신호를 측정한다.

이상의 실험한 측정 결과는 다음과 같다.

- ① 물결 무늬가 발생하는 주파수와 진폭의 정도는 각각 다르나, 주로 4개 영역에서 발생한다. 즉, 40~60 Hz, 100~180 Hz, 240~260 Hz, 300~330 Hz에서 발생하는데 특히 100~180 Hz의 넓은 영역에 걸쳐 발생하고 있음을 알 수 있었다.
- ② 물결 무늬가 발생하는 특정 영역에서 스피커 소리를 최대에서 줄이면 마스크에 전달되는 진동 크기도 당연히 감소한다. 즉 진폭이 클수록 물결 무늬가 많이 발생하였으며 이는 물결 무늬 발생 현상이 진동과 관련된다는 사실을 알려주었다.

4. 해석 모델 및 비교

마스크에는 전자빔을 통과시키기 위해 무수한 구멍이 존재한다. 이 훌을 모두 고려한 유한요소 모델을 개발하는 비효율적이다. 따라서 한 부분에 대한 유한요소 해석[5]을 통해 등가의 재료상수를 구한 후 수치해석을 한다. 등가재료상수를 구하는 과정은 아래의 두 식에 나타나 있다.

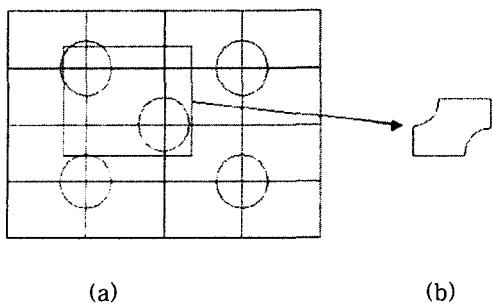


Fig. 5 Model for apparent material properties
(a) mask (b) unit representative region

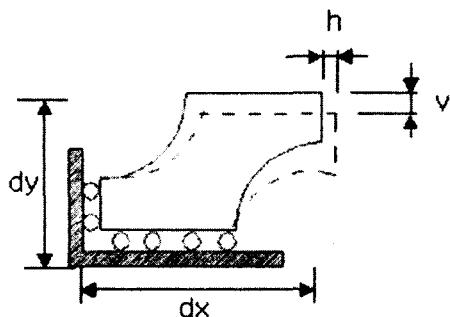


Fig. 6 Boundary condition for apparent elastic modulus

그림 6은 그림 5에서 등가 재료상수를 구하기 위해 단위 영역을 떼어내어 해석을 하기 위해 만들 어진 모델을 보여주고 있다.

$$E_{x,eff} = \frac{(\sigma_x)_{eff}}{(\epsilon_x)_{eff}} = \left(\frac{F_x}{dy \cdot dz} \right) / \left(\frac{h}{dx} \right) \quad (2)$$

$$\nu_{xy,eff} = \frac{(\epsilon_y)_{eff}}{(\epsilon_x)_{eff}} = \left(\frac{\nu}{dy} \right) / \left(\frac{h}{dx} \right) \quad (3)$$

식(2)와 (3)에 나타나는 홀과 홀 사이의 거리는 다음 식에 의하여 정한다.

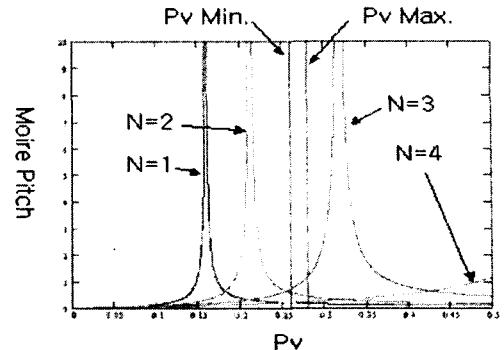


Fig. 7 Mask Pitch vs. Moire Pitch
m = 2, s = 0.3195, n = 1 ~ 4
unit : mm

Table 1 Comparison of material properties of the mask ($Pv = 0.28$ mm)

	Original	Apparent
E_x (N/mm ²)	20×10^4	4.52×10^4
E_y (N/mm ²)		15.54×10^4
ν_{yx}	0.25	0.07
ν_{xy}		0.25
ρ (kg/mm ³)	7.85×10^{-6}	6.28×10^{-6}

$$\lambda = \frac{1}{\left(\frac{m}{Pv} - \frac{n}{s} \right)} \quad (4)$$

여기서 λ 는 모아래 파장의 크기를 (피치라고 부름) 말하며 P_v 는 홀과 홀 사이의 y축 방향의 길이, 그리고 s , m , n 은 정수를 나타낸다. 이식은 참고문헌 [6]에서 유도되어 널리 사용되고 있는 식으로 그림 7에는 모아래 피치가 가장 작은 적절한 P_v 값을 정하기 위해 여러 정수값들에 의한 피치 함수들의 값을 동시에 보여주고 있다.

식(4)를 통해 홀과 홀 사이의 거리를 정한 후 식(2)와 (3)을 이용하여 계산된 물성치를 표1에 표시하였으며 이들은 다음 해석에서 사용되었다.

그림 9는 8군데 용접점을 좌우 상하 대칭으로 가지고 있는 마스크의 모습을 보여준다. A의 형태는 현재 양산 모델이고 나머지는 그 위치를 바꾼 3개의 모델을 나타낸다.

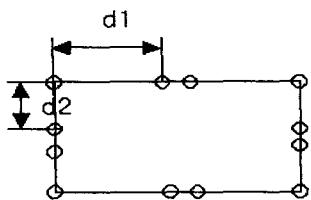


Fig. 8 Welding points in mask

- ① Type A ; $d_1 = 101.29 \text{ mm}$, $d_2 = 145.78 \text{ mm}$
(현재 양산중인 모델)
- ② Type B ; $d_1 = 115.76 \text{ mm}$, $d_2 = 145.78 \text{ mm}$
- ③ Type C ; $d_1 = 72.35 \text{ mm}$, $d_2 = 91.11 \text{ mm}$
- ④ Type D ; $d_1 = 115.76 \text{ mm}$, $d_2 = 127.56 \text{ mm}$

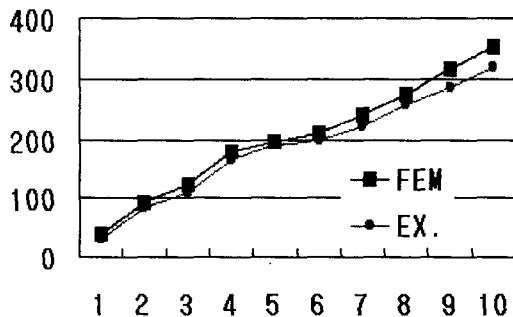


Fig. 9 Mask natural frequencies of model (A)
vs. mode numbers

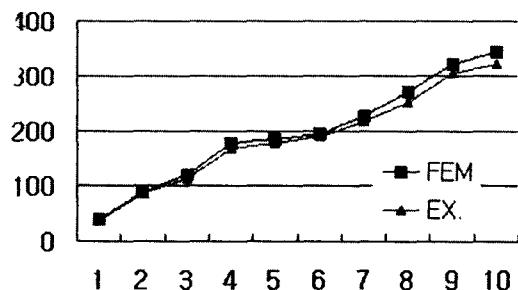


Fig. 10 Mask natural frequencies of model (B)
vs. mode numbers

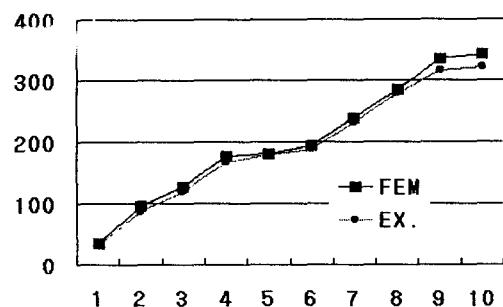


Fig. 11 Mask natural frequencies of model (C)
vs. mode numbers

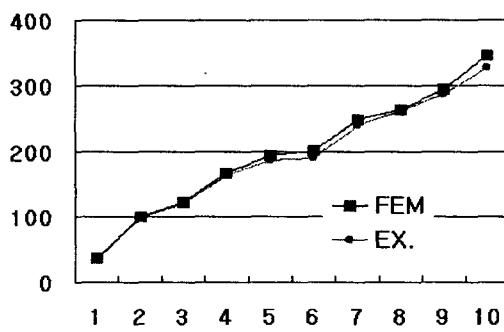


Fig. 12 Mask natural frequencies of model (D)
vs. mode numbers

Table 2 Comparisons of Moire occurred
in different models

Model	By FEM	By Ex.
A	4	4
B	6	6
C	5	5
D	3	3

그림 9에 대한 실험 결과와 수치 해석 결과를 그림 9-12에 나타냈다. 해석 결과와 실험 결과를 비교하면 대체로 잘 일치하고 있으나 고차모드로 갈수록 오차가 발생하는 것을 알 수 있다.

표 2는 3절에서 확인된 모아레가 발생하는 가진주파수 영역에 위에서 소개한 4개의 모델이 어

느 정도 중첩되는지를 보여주는 결과이다. 이 표에서 보듯이 현재 양산중인 모델A에 비하여 모델 D가 중첩영역이 더 작음을 알 수 있으며 모델 B와 모델 C의 경우에는 해석과 실험의 결과가 양산 모델 A에 비하여 더 나빠지는 것을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 모델 D를 새로운 설계 결과로 제시할 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 개발된 해석 모델을 이용하여 이 문제를 최적 설계점을 찾는 연구로 발전시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

물결무늬 발생 현상 즉 모아레 현상은 스피커에서 발생한 가진력이 마스크에 공진을 유발시켜 마스크의 진폭을 증폭시키고 이로 인하여 마스크 상에 전자빔의 오착을 크게 발생시키는 것이다. 본 논문에서는 이러한 현상을 억제하기 위해 가장 경제적인 방안으로 용접 위치의 변화를 제시하였으며 그에 따른 결과를 해석과 실험을 통하여 제시하였다. 그 결과 현재 양산중인 설계보다 우수한 설계결과를 제시할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 해석모델은 용접위치를 매개변수로 하는 최적화 문제로 발전시켜서 더 좋은 설계결과를 도출할 수 있을 것으로 기대되어진다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 한양대학교 최적 설계신기술연구센터의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] K.W.Kim, N.W.Kim and D.J.Kang, " Analysis of the Shadow Mask Thermal Deformation and Prediction of Beam Landing Shifts for Color CRT", *IEEE Transactions on Consumer*

Electronics, Vol. 44, No. 2. pp445~449, 1998

- [2] Seung Chul Baik, Kyu Hwan Oh, Dong Nyung Lee, "Analysis of the deformation of a perforated sheet under uniaxial tension", *Materials Processing Technology* 58, pp139 ~ 144, 1996.

- [3] Yamazaki, Hidetoshi, Ohtake and Yasuhisa, "Discoloration-Free Invar Mask Color Picture Tubes", *Toshiba Review*, No. 156, pp29~32, 1986

- [4] Koji Saita, "Vibration Analysis of Trinitron Aperture Grill", *Euro Display*. pp497~479, 1996.

- [5] T. Okada and M. Ikegaki, "A Structural Analytical Study on Shadow Mask Thermal deformation of Color CRT", *Japan Display*, pp558~561, 1986.

- [6] Takatsuki, "Spot Profiles in Color Monitor CRTs at Lower Current", *Japan Display*, pp771 ~ 772, 1995.