

유한요소법에 의한 평면 TV 새도우마스크의 마이크로포닉 현상 해석

김정*, 박수길**, 강범수***

Analysis of Microphonic Phenomenon for Shadow Mask in Flat TV by FEM

Jeong Kim*, Soo-Kil Park** and Beom-Soo Kang***

ABSTRACT

A shadow mask inside the Braun tube of a TV is sustained by springs attached to the glass panel, its vibration cause the picture image to discolor, which is called the microphonic phenomenon. It is found that it results from resonance when the natural frequency of the shadow mask coincides with that of built-in speaker sound. This paper describes experimental and analytical investigations by using FEM on the vibration problem of the shadow mask assembly. The simulation scheme may be efficiently used to develop a new design for a large-screen flat TV.

Key Words : Microphonic Phenomenon(마이크로포닉 현상), Shadow Mask(새도우마스크), Equivalent Young's Modulus(등가 탄성계수), Preload(예하중), Modal Test(모우드 실험)

1. 서론

종래의 TV 브라운관은 곡률을 가진 곡면으로 구성되어 있어 화면의 왜곡 현상과 외광 반사에 의한 눈부심이 발생하여 쉽게 눈이 피로하게 되는 단점이 있었다. 최근에 들어서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 완전 평면 브라운관에 대한 관심이 급격히 증가하고 있으며, 이에 관한 설계 기술과 제조 기술의 개발을 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 아울러 고해상도(high resolution)와 고출력 스테레오 스피커(stereo speaker)의 내장이 요구되고 있어 스테레오 음향에 의한 새도우마스크(shadow mask)의 마이크로포닉(microphonic) 현상에 대한 연구의 필요성이 증가되고 있다^[1,2]. 이러한 마스크

의 진동은 화면의 떨림 현상등을 유발시켜 화질 불량요인이 되고 있으므로 스피커에 의한 진동을 억제시키거나 방지할 수 있는 효과적인 설계방법이 요구되고 있다. 일반적으로 마스크의 마이크로포닉 현상을 저감시키기 위하여 마스크가 용접되어 있는 프레임(frame)을 지지하는 스프링의 강성설계 방법이나 마스크를 가로질러 프레임에 용접시킨 감쇠 철선(damping wire)을 사용하는 방법 등이 널리 사용되고 있다^[3,4]. 이러한 마스크의 제진 설계를 위해서는 먼저 마스크 진동의 원인 및 조립체의 진동 특성을 파악하고 있어야 하므로 본 논문에서는 마이크로포닉 현상에 대한 원인을 규명하기 위하여 마스크 조립체에 대한 진동모우드 실험 및 유한요소해석을 수행하고자 한다.

*** 2002년 1월 21일 접수
* 부산대학교 항공우주공학과 대학원
** 김천과학대학 자동차기계열
*** 부산대학교 항공우주공학과

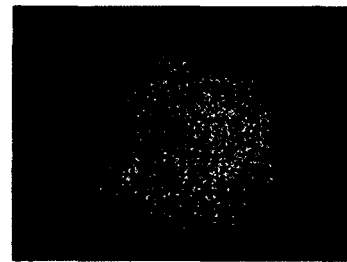
현재 완전 평면 브라운관을 구현하기 위한 TV 용으로 개발된 마스크는 성형 타입(formed type)과 인장타입(tension type)으로 구분되어 있다. 성형타입은 거의 평판에 가까운 곡률을 성형 공정시에 부가하여 제조함으로써 설계 및 제조 기술이 용이한 반면 대형 화면으로 가면서 강성이 약해 진동 및 열변형 특성이 떨어지는 단점이 있다. 인장타입은 설계 기술이 어렵지만 완전 평면을 유지할 수 있고 인장력에 의한 높은 강성을 보유할 수 있어 향후 대형 평판 TV에는 주로 이 타입이 사용되어질 것으로 예측된다. 인장타입은 마스크에 초기 인장을 가하기 위하여 프레임을 압축시켜 마스크와 용접하게 되는데, 이러한 예하중(preload)이 마스크 조립체의 진동 특성에 미치는 영향을 파악하는 것이 가장 중요하다^[5].

한편 새도우마스크에는 수많은 구멍과 복잡한 형상을 지니고 있어 이를 정확하게 고려하여 해석하는 것은 불가능하다. 임진수^[6,7] 등은 개구율을 고려하여 실제 두께보다 얇고 균일한 판으로 새도우마스크를 모델링하여 유한요소해석을 수행하였다. 하지만 마스크 구멍이 원형 형상이 아니거나 구멍 치수가 횡방향으로 변화하는 경우에는 이방성 특성이 고려될 수 없는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 등가 재료 물성치 즉, 구멍이 있는 구조물을 구멍이 없는 구조물로 고려하기 위하여 탄성계수, 프아송 비 등과 같은 물성치를 등가시켜 산출하여 두 구조물이 같은 거동 양상을 보일 수 있도록 하였다. 이것은 구멍의 형상을 대표적으로 나타낼 수 있는 단위 형상(unit cell)을 선정하고 물리적인 등가 경계조건을 부가하면 직교이방성(orthotropic)의 등가 재료물성치를 구할 수 있다.

2. 마스크 구조체의 진동모우드 실험

스피커에서 방사된 음향 에너지에 의하여 유발된 마이크로포닉 현상을 관찰하기 위하여 브라운관 양측에 스피커가 장착된 29인치 평판 TV를 대상으로 전자 스페클 패턴 간섭법(ESPI; Electronic Speckle Pattern Interferometry)을 사용하였다. 스피커의 음향 에너지를 증가시킬 때 84, 86~95, 96, 167Hz 근방에서 Fig. 1과 같은 형태의 화면 왜곡 현상이 발생함을 알 수 있다. 이러한 현상에 대한 원인을 규명하기 위하여 마스크 조립체에 대한 모우드 실험을 실시하였다. 먼저 프레임 단품에 대

한 진동 특성을 파악하기 위하여 Fig. 2와 같이 진동 측정 실험 장치를 구성하였다.



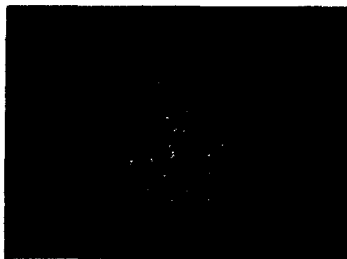
(a) 84Hz



(b) 86~95Hz



(c) 96Hz



(d) 167Hz

Fig. 1 Discolored picture image of the screen by speaker-induced vibration (microphonic phenomenon)

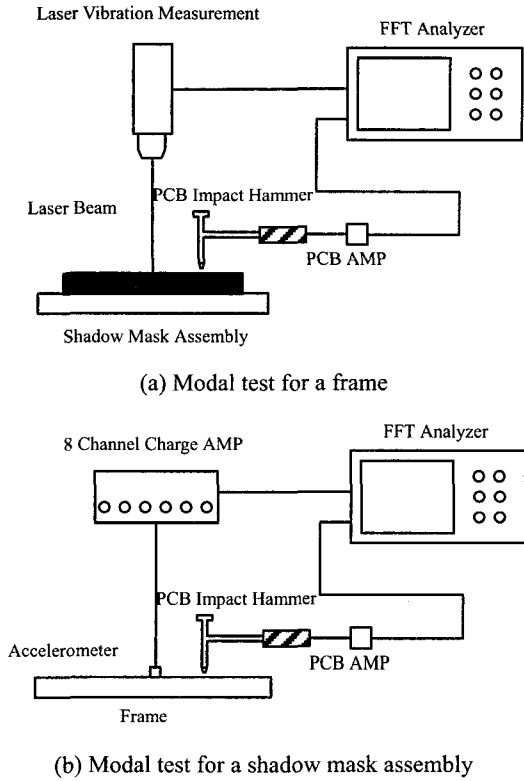


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus for modal test

특정 위치에 가속도계를 부착하고 임팩트 해머(impact hammer)로 가진점을 달리하여 z 방향(마스크와 수직방향)으로 가진하고 x, y, z 방향의 가속도 신호를 측정한다. 증폭기를 통해 가속도와 힘 신호를 증폭시켜 주파수분석기(FFT)에서 각 절점에 대한 주파수 응답 함수(frequency response function)를 구한다. 새도우마스크는 프레임과 달리 질량이 작아 가속도계를 부착하면 가속도계 질량이 마스크에 영향을 줄 수가 있다^[8]. 따라서 가속도계 대신 비접촉식 레이저 진동 측정기를 사용하여 진동 신호를 측정한다. 마스크의 z 방향으로 임팩트 해머를 사용하여 가진하고 레이저 진동 측정기를 이동시켜 가며 측정하여 주파수 분석기로 각 절점에 대해서 주파수 응답 함수를 구한다.

3. 새도우마스크 구조체의 진동모우드 해석

3.1 새도우마스크의 균질화

해상도와 관련되어 마스크에는 전자빔이 통과하기 위한 수 십만 개의 구멍이 있다. 이러한 많은 구멍을 정확히 모델링하는 것은 불가능하므로 등가 물성치(equivalent material property)를 부여한 균질화(homogenization) 기법이 사용되었다. 구멍이 없는 구조물이 구멍이 있는 것과 같은 해석 결과를 얻기 위해서는 마스크 중에서 구멍의 형상을 대표할 수 있는 부분을 선택하고, 선택한 영역에 적절한 경계조건을 부가하여 해석을 수행하면 등가 물성치를 구할 수 있다. 여기서 구한 물성치를 구멍이 없는 마스크에 적용시키면 구멍이 있는 마스크와 같은 특성을 지니게 된다. 본 연구에서 주어진 마스크의 대표적인 구멍 형상은 Fig. 3과 같은데 그림에서 알 수 있는 바와 같이 종, 횡 방향에 대하여 구멍 형상이 대칭이 아니므로 두 방향으로 서로 다른 물성치를 가지고 있는 직교이방성(orthotropic) 재료로 가정해야 한다.

횡 방향(x -direction)의 등가 탄성계수를 구하기 위하여 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 오른쪽 면과 아래 면에 대칭 경계 조건을 부가하고 왼쪽 면에는 일정한 변위 δ_x 를 부가한다. 구멍이 없는 판에 작용하는 응력을 $\sigma_{x,eff}$ 라 하고 이때의 변형률을 $\epsilon_{x,eff}$ 라 하면 등가 탄성계수 $E_{x,eff}$ 와 등가 프아송비 $\nu_{x,eff}$ 는 식(1)과 같이 구할 수 있다.

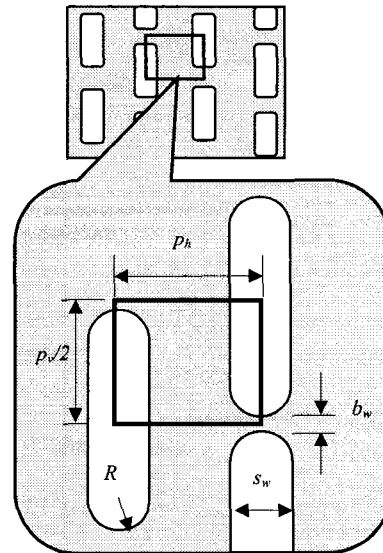


Fig. 3 Representative geometry of hole on a shadow mask

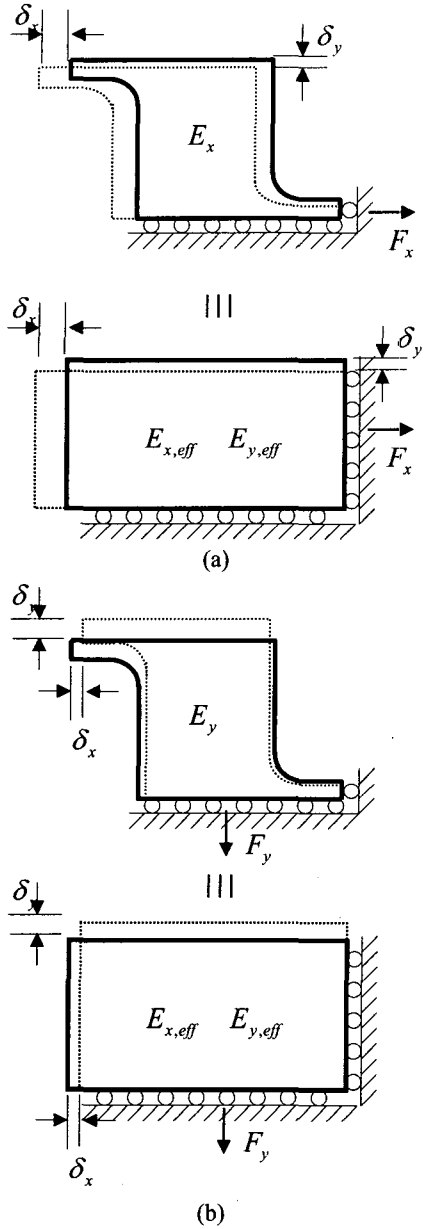


Fig. 4 The boundary conditions for equivalent homogeneous characterization

$$E_{x,eff} = \frac{\sigma_{x,eff}}{\epsilon_{x,eff}} = \frac{F_x}{p_v / 2} \quad (1.a)$$

$$\nu_{xy,eff} = -\frac{\epsilon_{y,eff}}{\epsilon_{x,eff}} = -\frac{\delta_y}{p_v / 2} \quad (1.b)$$

여기서 F_x 는 오른쪽 면에서의 x 방향 반력, δ_y 는 y 방향으로의 수축량으로서, $\epsilon_{x,eff} = 1$ 이 되도록 왼쪽 면에 일정한 변위를 작용시키고 두께를 1로 가정하면 유한요소해석을 통하여 쉽게 얻을 수 있다.

y 방향의 등가 탄성계수도 Fig. 4(b)와 같이 윗 면에 일정한 변위를 주고 오른쪽 면과 아래 면에 대칭 경계 조건을 부가하면 식(2)와 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$E_{y,eff} = \frac{\sigma_{y,eff}}{\epsilon_{y,eff}} = \frac{F_y}{p_h} \quad (2.a)$$

$$\nu_{yx,eff} = -\frac{\epsilon_{x,eff}}{\epsilon_{y,eff}} = -\frac{\delta_x}{p_h} \quad (2.b)$$

한편, 새도우마스크의 구멍은 Table 1 과 같이 횡방향(x -direction)으로 갈 수록 p_h 와 s_w 치수가 증가됨을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 새도우마스크는 Fig. 5 와 같이 6 영역으로 분할한 후, 각 영역에서는 동일한 직교이방성의 등가물성치를 가진다고 가정하여 Table 2 와 같이 산출하였다.

Table 1 Dimensions of the representative slits (unit : mm)

Sec.	x -pos.	p_h	p_v	t_b	s_w	R
1	1	0.750	6.000	0.080	0.185	0.005
2	60	0.763	6.000	0.080	0.187	0.005
3	100	0.784	6.000	0.080	0.190	0.005
4	140	0.815	6.000	0.080	0.195	0.005
5	180	0.857	6.000	0.080	0.202	0.005
6	220	0.903	6.000	0.080	0.211	0.005

Table 2 Equivalent material properties in each section

Section No.	Elastic modulus (N/mm ²)	
	E_x	E_y
1	25,155	85,041
2	24,853	84,633
3	24,007	82,826
4	23,572	82,167
5	23,077	80,895
6	23,273	81,651
Original value	132,400	

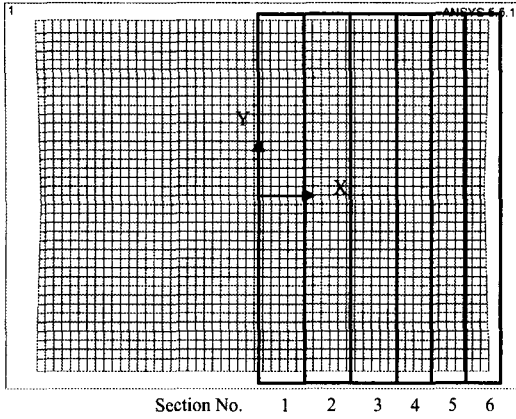


Fig. 5 The representative section of the shadow mask

3.2 새도우마스크의 진동모우드 해석

마스크의 초기 인장력(pre-tension)은 프레임을 압축시켜 마스크와 용접하고 그 이후 압축력을 제거시킬 때, 프레임의 탄성 복원과 마스크의 연신량에 의하여 발생되는데 이러한 예하중(preload)이 마스크 조립체의 진동 특성에 미치는 영향을 파악하는 것이 선행되어야 한다. 마스크의 조립 상태를 유한요소해석을 통해 구현하기 위해서는 초기 인장 상태에 대한 모델링을 선행해야 한다. 먼저 프레임을 압축시켜야 할 초기 변형량 δ_i 를 가정하고 이러한 변형량을 발생시킬 수 있도록 압축력의 크기, 위치, 개수를 결정해야 한다.

프레임은 탄성범위 내에서 선형 관계를 가지므로 독립적으로 하중을 부가한 후 그 결과를 중첩한 것과 조합된 하중 결과에 의한 변형은 동일하므로 연성 행렬(flexibility matrix)을 구하여 압축력의 크기를 결정한다.

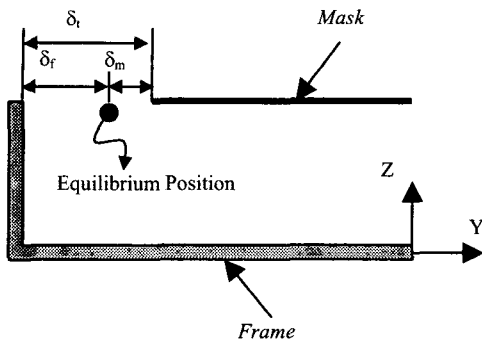


Fig. 6 Schematic the pre-tension process

따라서 위에서 구한 압축력을 프레임에 부가하면 Fig. 6 과 같이 δ_i 만큼의 변형량이 발생하게 되어 마스크와의 용접위치까지 도달하게 된다. 프레임과 마스크와의 용접부 모델링은 공유하는 점점들의 x, z 방향의 자유도를 커플링(coupling) 시킴으로써 구현할 수 있다. 또는 용접부의 강성에 해당되는 선형 스프링요소를 사용하더라도 동일한 결과를 얻을 수 있다. y 방향으로의 변형을 압축력을 제거시킬 경우에는 평형상태로 도달하게 되므로 다음과 같은 구속조건 식(3)을 사용하여 얻을 수 있다.

$$\delta_f - \delta_m = \delta_i \quad (3)$$

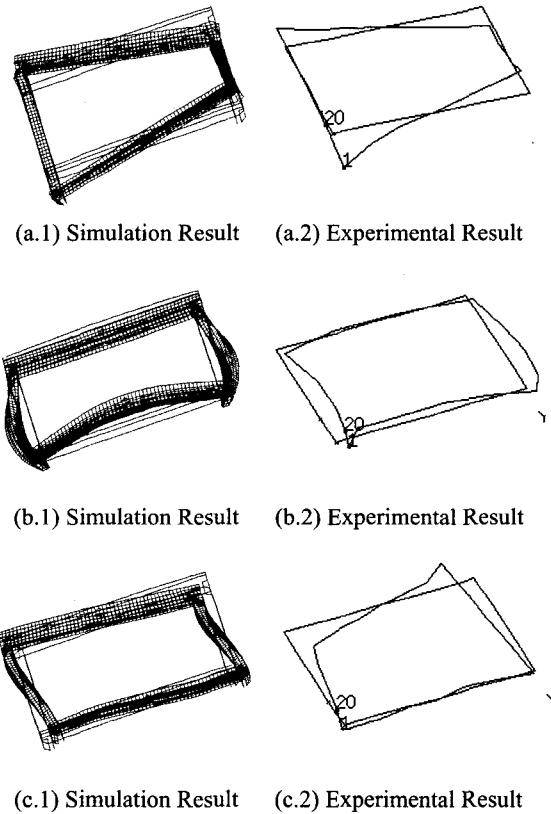


Fig. 7 Comparison modes shapes of the frame with experimental and simulation results: (a) 1st mode(70Hz), (b) 2nd mode(131Hz), (c) 3rd mode(180, 189Hz)

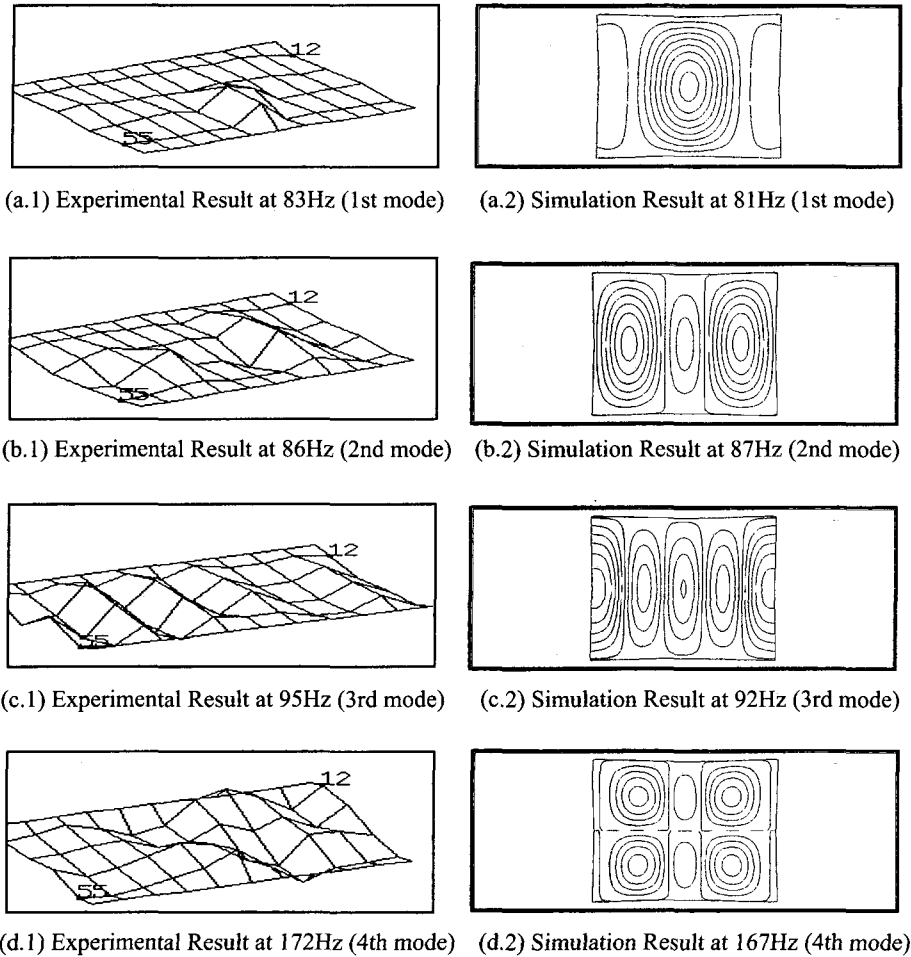


Fig. 8 Comparison modes shapes of the shadow mask with experimental and simulation results

따라서 압축력을 제거한 후 프레임과 마스크의 최종 변형량은 자유도 커플링과 식(3)의 구속 조건식을 만족시키는 유한요소해석을 수행하면 얻을 수 있다. 여기서 마스크의 인장 특성 기준치와 비교하여 오차가 허용한도를 만족하지 않으면 δ_f 를 적절히 변화시켜서 앞의 해석과정을 다시금 수행하여 오차가 허용한도 내에 존재할 수 있도록 반복적으로 해석을 수행한다. 해석적으로 구한 δ_f 가 허용한도를 만족하면 최종 압축력의 크기, 위치, 개수를 결정할 수 있게 되며 예하중에 의한 마스크의 조립체의 역학적 특성 변화를 평가할 수 있게 된다. 이러한 역학적 특성 변화는 강성 변화로 나타나게 되며 이러한 강성변화가 마스크의 고

유진동수와 진동 모우드를 변화시키게 된다.

조립상태의 구조물에 대한 해석을 수행하기 이전에 먼저 프레임만을 해석하여 프레임 모델의 타당성을 검토한다. Fig. 7에서 자유단-자유단(free-free) 경계 조건 상태 프레임의 해석 결과와 실험 결과가 잘 일치함을 알 수가 있으므로 프레임에 대한 유한요소모델이 타당함을 알 수 있다. 프레임은 70 Hz 에서 비틀림 형태의 진동 모우드가 발생하며 두 번째 모우드 이상에서는 주로 굽힘 모우드가 발생함을 알 수 있다. 스프링이 장착된 마스크 조립체의 모델링은 스프링 홀의 원주상에 존재하는 모든 절점들에 대하여 반경방향(r), 축방향(z)의 자유도를 구속하고, 각도 방향(θ)의 자유도

는 구속하지 않는 경계조건을 부가하여 구현한다. Fig. 8 에서는 마스크 진동 모드드의 실험 및 해석 결과를 보여주고 있으며 잘 일치함을 알 수 있다. 위의 결과에 의하면 마스크의 고유진동수가 Fig. 1 의 마이크로포닉 현상과 관련된 주파수 대역과 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 마이크로포닉 현상은 스피커의 음향 주파수와 마스크의 고유 진동수가 일치함에 따른 공진에 기인함을 알 수가 있다. 그러므로 마스크의 마이크로포닉 현상을 방지하기 위해서는 마스크의 고유 진동수와 스피커의 음향 주파수 대역을 불일치시킬 수 있는 마스크 조립체의 구조설계 및 진동 전달경로의 파악을 통한 제진 설계가 요구되어 진다. 하지만 마스크 조립체의 구조는 낙하충격 특성과 열변형에 의한 도밍(doming) 특성을 고려하여 설계가 이루어져야 하므로 본 논문에서는 언급하지 않았지만 이들 특성을 고려한 연구가 현재 수행 중에 있다.

4. 결론

본 연구에서는 새도우마스크 조립체의 진동 모드 실험과 유한요소해석을 통하여 마스크의 마이크로포닉 현상에 대한 원인을 규명하였다. 마스크의 진동은 스피커의 음향 주파수와 마스크의 고유진동수가 일치하는 공진에 의하여 발생됨을 알 수가 있었다. 아울러 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 수행된 진동모우드 해석 기법은 대형 평면 TV 개발과 관련된 마이크로포닉 현상 방지 설계안 도출시에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 부산대학교 ERC/NSDM과 두뇌한국 21(BK21)사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Taguchi, H., Seto, K., "Vibration Analysis of Trinitron Aperture Grille," SID 98 DIGEST, pp. 347-350, 1996.
2. Lundgren, D.A., "Audio-Induced Aperture-Grille Vibration in Trinitron CRTs," SID 94 APPLICATIONS

DIGEST, pp. 37-40, 1994.

3. Saita, K., "Vibration Analysis of Trinitron Aperture Grille," Euro Display '96, pp. 497-499, 1996.
4. Tamaki, F., Yamamoto, H., "Application of a Mass-Spring Model with Damping for Aperture Grille Vibration Analysis in Color CRTs," SID 97 DIGEST, pp. 528-530, 1997.
5. 김운영, 김태수 외, "AG 마스크 유한요소 핵심 모델링 기법 개발," 서울대학교 정밀기계설계 공동연구소, 1998.
6. 임진수, 이수훈, 이재웅, "새도우마스크의 진동에 의한 TV 마이크로포닉 현상 시뮬레이션," 한국정밀공학회지, 제 12 권, 제 3 호, pp. 144-152, 1995.
7. 성길주, 윤경렬, 이재웅, 이수훈, 임진수, "TV 마이크로포닉 현상에 관한 연구," 한국진동소음공학회지, 제 5 권, 제 1 호, pp. 123-132, 1995.
8. 김성대, 서장원, 김석관, 정봉교, "유한요소해석을 활용한 전자관(CRT)의 마이크로포닉 현상 개선에 관한 연구," 한국진동소음공학회지, 제 6 권, 제 4 호, pp. 493-497, 1996.