

# 평판 진동형 스피커 설계를 위한 음향해석 및 진동모델링

## Acoustic analysis and vibration modeling for design of flat vibration speaker

\*최형욱<sup>1</sup>, 김윤종<sup>1</sup> 박영우<sup>1</sup>

\*H. W. Choi(cchw@naver.com)<sup>1</sup>, Y. J. Kim<sup>1</sup>, Y. W. Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 충남대학교 BK21메카트로닉스 사업단 메카트로닉스공학과

Key words : Flat vibration speaker, Acoustic analysis, Vibration modeling

### 1. 서론

전기적 신호로서 물체를 진동시켜 음향신호로 전환하는 변환기인 스피커는 1877년 미국과 독일에서 시작되어 1925년 진공관 증폭기의 개발과 함께 등장하였다. 그 이후 영구자석 등 자성체의 개발, 고온용 접착제 및 관련 재료의 개선으로 1930년대 초기에 현재의 스피커 형상에 가까운 스피커가 등장하였다[1]. 그러나 2000년 이후로 휴대용 멀티미디어 장치의 발달과 함께 이에 따른 외장형 스피커 성능에 대한 요구가 높아지면서 스피커에 대한 다양한 연구가 진행되었다.

기존의 보이스 코일(Voice coil)타입의 스피커는 진동판을 가지고 있어 스피커의 음량이 크게 하기 위해서는 스피커 자체의 크기를 키우게 되는 한계점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해 보이스 코일(Voice coil)타입에서 벗어나 자기변형 재료를 사용한 구동기로 주변 평판을 진동판으로 하여 소리를 발생하는 평판 진동형 스피커를 설계하기 위해 음향 해석적 방법과 진동 모델링을 통하여 스피커의 설계 변수를 취득하였다.

### 2. 음향 해석

평판 진동형 스피커의 설계에 앞서 그림 1과 같이 MP3 음악의 음원 신호를 FFT방법을 통해 분석하였다. 그림 1을 통해 MP3 음원의 대표 주파수는 100Hz 로 나타난다.

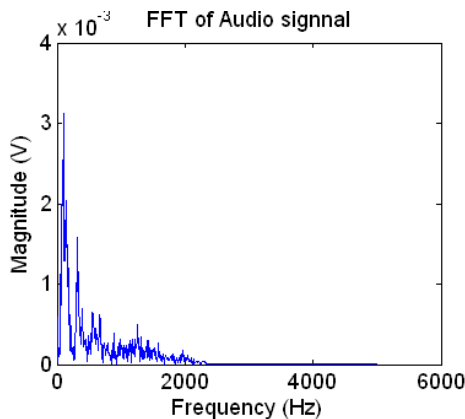


Fig. 1 FFT of MP3 audio signal

대표 주파수로 나타난 100Hz 에서 90dB 크기의 음량을 얻기 위한 평판의 진동량을 계산한다. 음원에서 발생한 음파가 공간을 전파하면 공간에 음압 분포를 발생시킨다. 어떤 실내나 공간 내의 음장을 음파가 전파하는 경우 파동 방정식에 의해 이를 표현 할 수 있다. 평판 진동형 스피커에 사용되는 구동기가 평판을 진동 시키는 현상은 일정한 크기의 구음원이 진동하여 음파를 구면으로 퍼뜨리는 것으로 나타낼 수 있다[2]. 이를 구면파라 하며 이에 대한 파동방정식을 식 (1) 과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{d^2\phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\phi}{dr} + k^2\phi = 0 \quad (1)$$

여기에서  $\phi$ 는 속도 퍼텐셜(velocity potential),  $r$ 은 떨어진 거리, 그리고  $k$ 는 파장이다. 자유공간에 반지름  $a$ 인 구음원이

속도  $\dot{\mu}_0 e^{j\omega t}$ 의 속도로 진동할 때 식 (1)을 통해 입자 속도와 음압에 대한 방정식을 식 (2), 식 (3) 으로 유도할 수 있다.

$$\dot{\mu} = \frac{a^2 \mu_0 e^{jka}}{r^2} \frac{(1 + jkr)}{(1 + jka)} e^{j(\omega t - kr)} \quad (2)$$

$$p = \rho c \dot{\mu}_0 \frac{a^2}{r} \frac{jk}{(1 + jka)} e^{jka} e^{j(\omega t - kr)} \quad (3)$$

여기에서  $\rho$ 는 밀도  $c$ 는 음속이다.

Robinson-Dadson 의 곡선(귀의 등감도 곡선)을 통해 100Hz 일 때 90dB 크기의 음량이 가지는 물리량이  $2 \times 10^{-0.5} N/m^2$ 임을 알 수 있다[2]. 식 (3)에 의하여 위의 음량에 대한 평판의 초기 속도 및 진동 변위를 계산 할 수 있다. 그림 2는 식 (3)에 의한 90dB을 얻기 위한 각 주파수 대역의 진동량을 나타낸다.

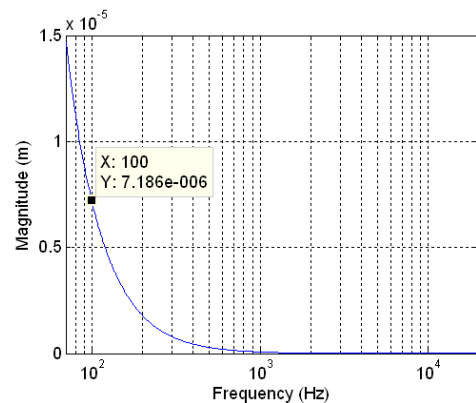


Fig. 2 Result of acoustic analysis

MP3음원의 대표 주파수 대역인 100Hz 에서의 평판 진동량을 음향 해석을 통해 계산한 결과  $7.186 \mu m$ 가 나오게 되었다.

### 3. 진동 모델링

평판 진동형 스피커의 구조는 그림 3과 같다.

평판 진동형 스피커

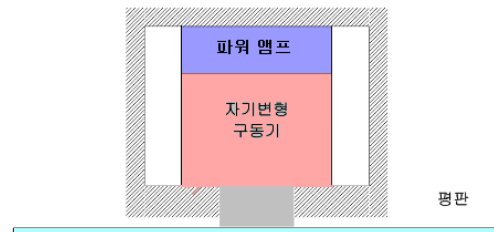


Fig. 3 Structure of flat vibration speaker

그림 3과 같은 평판 진동형 스피커의 구조를 다음 그림 4와 같이 조화 가진이 있는 1 자유도의 진동 시스템으로 모델링 할 수 있다. 다음의 진동 모델에서 진동의 가진 원으로는 자기 변형 구동기가 사용되어지고 자기 변형 구동기의 출력은 양방향에 동일하게 작용하는 것으로 가정한다.  $M_1$ 은 스피커 전체의 무게로 자기 변형 재료가 발생하는 변위를 평판에 효율적으로 전달시키는 역할을 한다.

$M_2, M_3, k_2, k_3, c_2, c_3$ 는  $50 \times 50 \times 5(mm)$  크기의 유리판을 기준 평판으로 하여 Ansys 모드 해석을 통한 1차 모드 및 2차 모드의 공진 주파수  $\omega_1, \omega_2$ 로 얻어졌다.

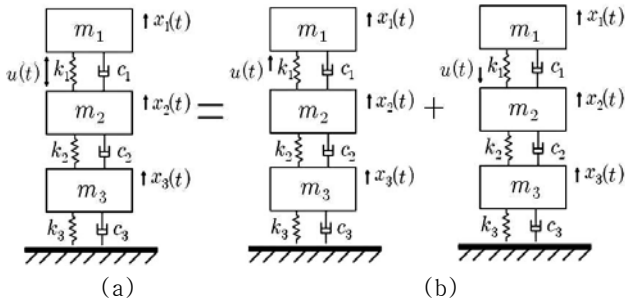


Fig. 4 Vibration modeling of speaker

그림 4.(a)의 평판 진동형 스피커의 진동 모델은 중첩의 원리를 통해 그림 4.(b)와 같이 표현된다. 각각 모델 1과 모델 2로 나누어진 운동 지배 방정식은 각각 식 (4) ~ (6), (7) ~ (9)로 정리된다.

$$-m_1\ddot{x}_1 - k_1(x_1 - x_2) - c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + f = 0 \quad (4)$$

$$-m_2\ddot{x}_2 - k_2(x_2 - x_3) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_1(x_1 - x_2) + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = 0 \quad (5)$$

$$-m_3\ddot{x}_3 - k_3x_3 - c_3\dot{x}_3 + k_2(x_2 - x_3) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) = 0 \quad (6)$$

$$m_1\ddot{x}_1 - k_1(x_2 - x_1) - c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \quad (7)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + k_1(x_2 - x_1) + c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_2 - x_3) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - f = 0 \quad (8)$$

$$m_3\ddot{x}_3 + k_3x_3 + c_3\dot{x}_3 - k_2(x_2 - x_3) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) = 0 \quad (9)$$

수식 (4) ~ (9)를 라플라스 변환하여 정리하면

$$T.F = \frac{X_2(s)}{U(s)} = \frac{A}{B - C - D} \quad (10)$$

여기에서  $A, B, C, D$ 는 각각 식 (11) ~ (14)로 표현된다.

$$A = \frac{m_1 k_1 s^2}{m_1 s^2 + c_1 s + k_1} \quad (11)$$

$$B = m_2 s^2 + (c_1 + c_2)s + (k_1 + k_2) \quad (12)$$

$$C = \frac{(c_1 s + k_1)^2}{m_1 s^2 + c_1 s + k_1} \quad (13)$$

$$D = \frac{(c_2 s + k_2)^2}{m_3 s^2 + (c_2 + c_3)s + (k_2 + k_3)} \quad (14)$$

식 (10)의 전달함수를 Bode Diagram으로 표시하면 그림 5와 같다. 그림 5는  $m_1$ 의 크기를  $0.1kg$ 부터  $1kg$ 까지 변화시키면서 얻은 그래프이다.

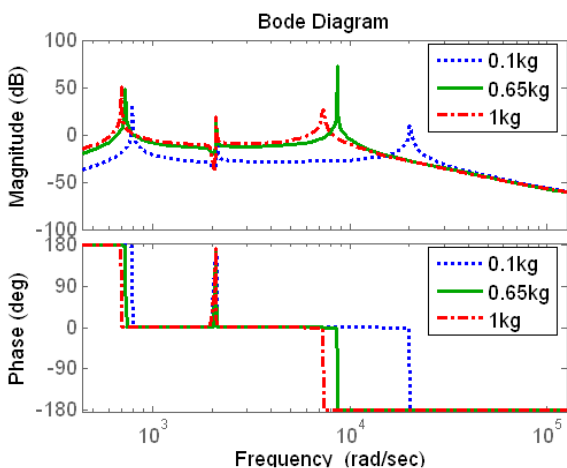


Fig. 5 Bode frequency response of transfer function

그림 5의 Bode Diagram 결과 그래프에서 스피커 출력 주파수인 70~20000Hz에서의 진동 응답을 볼 수 있다. 공진 주파수는 3부분에 나타남을 확인할 수 있다. 그리고  $m_1$ 의 무게가 증가함에 따라 자기변형 구동기의 변위가 평판에 전달이 잘되는 것을 볼 수 있다.

표 1은 음향해석을 통해 얻은 주파수 대역인 100Hz에서  $m_1$ 의 무게에 따른 진동 모델의 전달함수의 출력 값을 나타낸다.

Table 1 Result of transfer function

Mass (kg)	Magnitude (dB)	Mass (kg)	Magnitude (dB)
0.1	-25.5	0.6	-7.04
0.2	-19	0.65	-5.5
0.3	-14	0.7	-4
0.4	-12.2	0.8	-2.89
0.5	-8.5	0.9	-2.1

위의 결과에 따라 평판의 진동 변위인  $7.186\mu m$ 를 얻기 위한 자기변형 재료의 출력 변위를 계산하면 그림 6과 같다.

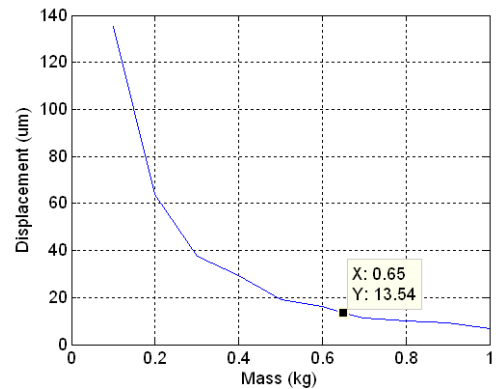


Fig. 6 Displacement of magnetostrictive actuator

그림 6의 결과에서  $m_1$ 이  $0.65kg$ 일 때 자기변형 구동기의 변위는  $13.54\mu m$ 가 나오게 되며 주파수 전 대역을 고려한 자기변형 재료의 길이는  $15mm$ 로 정해진다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 기존의 보이스 코일 타입의 스피커와 다른 방식인 자기변형 구동기를 이용한 평판 진동형 스피커를 설계하기 위하여 음향해석 및 진동 모델링을 수행하였다. MP3음원을 분석하여 대표 주파수를 찾고 음향해석을 통하여 평판의 진동량을 계산하였다. 평판 진동형 스피커 시스템을 주기 가진을 갖는 1자유도 진동 모델로 설계하여 전달 함수를 통한 주파수 응답을 살펴보았다.

본 논문에서는 음향해석과 진동 모델링을 통하여 평판 진동형 스피커의 설계 변수인 자기변형 구동기의 출력 값에 의한 자기변형 재료의 크기와 스피커 무게를 취득하였다.

#### 후기

본 연구는 중소기업청 산학공동 기술개발사업으로 수행된 연구 결과임.

#### 참고문헌

- 변홍정, “스피커 제작기술의 국내의 동향”, 대한전자공학회, 전자공학회지 제 13권 6호, 513-520, 1986
- 김광식, 김찬목 “기계진동 · 소음공학”, (주) 교학사, 1993