

스피커 댐퍼의 음향방사

이한량, 오세진, 윤석왕*
주성대학 스피커음향기술혁신센터, 성균관대학교 물리학과 음향학연구소†

Radiation of the damper of Loudspeaker.

H.R. Yi, S.J. Oh, and S.W. Yoon*

Speaker & Audio Technology Innovation Center, Juseong College, ChungBuk-Do 360-805, R.O.K.

*Acoustics Research Laboratory, Department of Physics, SungKyunkwan University, Suwon 440-746, Republic of Korea

hryi@isc.ac.kr, seijin@isc.ac.kr, swyoon@skku.ac.kr *

요약

다이나믹 스피커의 진동판과 보이스코일을 지지하는 댐퍼는 스피커 진동부에 복원력을 공급하는 탄성체로서만 고려되어 왔다. 즉, 음파발생 장치로서 스피커를 고려할 때, 음파발생부로서 진동판과 부가적 음파발생부로서 예지에 의한 영향만이 고려되어 왔다.

본 논문에서는 진동판과 예지를 제거한 후, 댐퍼와 보이스코일만으로 진동하는 다이나믹 스피커를 제작하여 댐퍼에 의해 발생된 음파의 특성을 측정하였다.

다음으로 댐퍼를 개별적인 음원으로 가정하여 댐퍼에 의해 발생된 음파를 계산하여 측정치와 비교하였다.

결론적으로 댐퍼는 스피커 진동계 복원력을 제공하는 요소로서 만이 아닌 진동판 이외의 부가적인 음원이 됨을 확인할 수 있었다.

1. 서론

스피커에서 발생된 음들은 입력된 전기신호와는 달리 많은 고조파를 포함하고 있다. 이 원인으로는 자기회로와 보이스코일의 비 직선적인 동작특성과 진동계 중 댐퍼에 의해 발생하는 비선형적 진동[1], 그리고 진동판과 예지의 분할진동이 원인인 것으로 설명되고 있다.[2][3]

그러나, 지금까지 댐퍼는 진동계의 복원력을 제공하는 탄성체로서만 고려되어 왔고, 댐퍼가 발생하는 음에 대해서는 고려하지 않고 있다.

이러한 이유로 본 논문에서는 스피커에 정현파 신호가 입력될 때, 댐퍼가 발생시키는 음압레벨을 측정하고, 이 값과 이론적으로 예측된 값을 비교하여 댐퍼에 의한

음압의 발생이 스피커가 재생하는 주파수 응답특성에 영향을 줄 수 있음을 보이고자 한다.

2. 본론

2.1 측정용 시료

사진 1의 스피커는 측정 기준으로 삼은 스피커이다. 이 스피커의 사양은 다음의 표 1과 같고, 댐퍼의 음파 방출특성을 확인하기 위해 제작된 시료를 사진 2와 사진 3의 스피커들은 기존 스피커에서 진동판과 예지를 제거한 시료들이다.

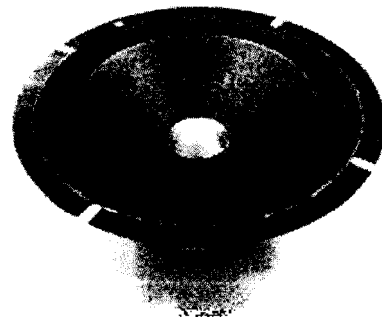


사진 1. 기준 스피커

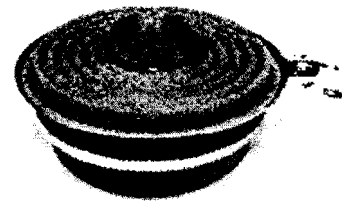


사진 2. 댐퍼를 진동판으로 한 시험용 스피커

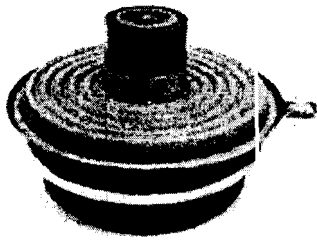


사진 3. 진동판의 무게에 상당하는 분동을 추가한 시험용 스피커

분동을 보이스코일에 결합한 댐퍼를 진동판으로 하는 스피커는 진동판에 상당하는 질량이 없는 경우, 와 분동을 추가한 스피커를 모두 제작하였다. 이것은 진동판을 제거함에 따른 질량 변화에 의한 스피커의 공진에 변동이 있을 것을 고려한 것이다.

항목	양	단위
정격 입력	50	W
정격 임피던스	8	Ω
댐퍼 외경	76	mm
댐퍼 주름 간격	3	mm
댐퍼 주름 수	6	개
보이스코일 직경	25	mm
진동판 유효 구경	110	mm
진동판의 질량	9	g
분동의 직경	25.4	mm
분동의 질량	9	g

표 1

2.2 측정 결과

진동판의 제거에 따른 특성변화에 대해 측정한 결과 그림 1.에 나타난 것과 같이 분동을 추가한 경우에 임피던스의 증가와 함께 특성의 큰 변화가 나타났다. 이것은 진동판의 경우 질량이 진동면 전체에 걸쳐 분포되어 있는데 반해 분동의 경우, 진동면의 한 지점에 질량이 집중된 결과로 인한 것으로 보인다. 즉, 보이스코일의 진동시에 받게 되는 부하의 양이 달라져 분동임피던스의 특성에 변화가 나타난 것으로 보인다. 그러나 공진 주파수에는 변화가 없었고, 댐퍼만이 존재하는 경우의 시료에서는 임피던스 상에서 Q값의 증가만을 보였다.

그림 2는 세 가지 시료에 대한 주파수 응답특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 분동이 있는 경우의 특성은 분동이 없는 경우에 비해 1 kHz 이하의 주파수 대역에서 음압레벨이 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있고, 10

kHz 대역에서 분동이 음파 방사체로서 동작하고 있음을 확인할 수 있다.

이 결과에 따라 공진 주파수 이상의 대역에서 상대적으로 적은 특성변화를 나타낼 것으로 예측되는 분동이 없는 댐퍼로만 제작된 시료에 대해서 분석을 하였다.

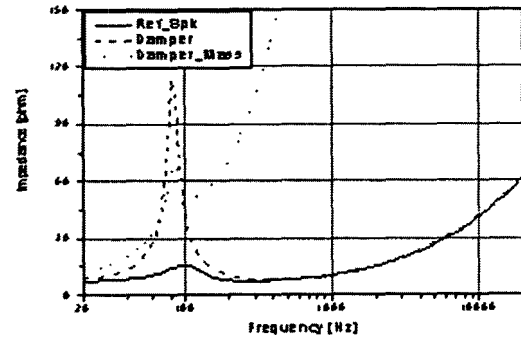


그림 1. 시료들의 임피던스 특성

Ref_Spk : 기준 스피커 (사진 3)

Damper : 댐퍼를 진동판으로 한 스피커 (사진 1)

Damper_Mass : 분동이 추가된 댐퍼를 진동판으로 한 스피커 (사진 3)

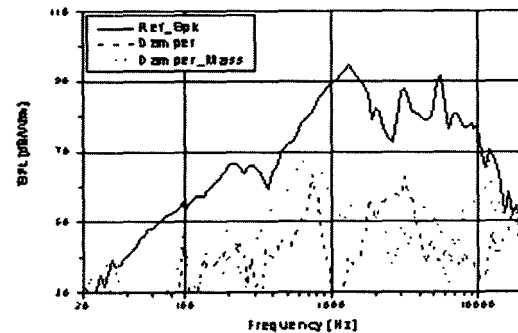


그림 2. 시료들의 주파수응답특성

2.3 계산 결과

댐퍼의 진동면이 단단한 원판으로 되어 있는 것으로 가정하고, 이 원판에 의해 방출된 음압레벨을 다음과 같은 과정에 따라 계산하였다.

a) 기준 스피커의 주파수응답특성을 측정하여 이 주파수별 SPL 값을 다음의 식 (1)로 진동판의 진동속도를 계산하고, 이 값을 보이스코일의 진동속도와 같다고 할

수 있다. [1]

$$u = \frac{2rp}{\rho_0 c k a^2} \quad (1)$$

여기에서, r 은 스피커와 측정위치인 마이크로폰 사이의 거리로 1m로 고정하였고, ρ_0 은 20℃에서 공기의 밀도로 1.29 kg/m³, c 는 상온에서의 음속으로 331 m/s로 설정하였다. 그리고 k 는 측정된 신호의 파수이고, a 는 진동판의 반경이다.

b) 보이스코일의 속도가 u 일 때, 댐퍼도 같은 속도로 진동한다고 할 수 있으므로 이 속도를 $u = u_d$ 로 놓았다.

c) 다음, b)에서 구한 댐퍼의 속도를 다음 식 (2)에 대입하여 댐퍼에 의해 발생된 음압을 구한다.

$$p_{dm} = \frac{\rho_0 c k a^2 u}{2r} \quad (2)$$

d) 그리고 이 계산된 음압을 음압레벨로 환산하여 실측된 댐퍼의 주파수 응답특성과 비교하였다.

$$SPL_{damper} = 20 \log \left(\frac{p_{dm}}{p_{ref}} \right) \quad (3)$$

여기에서 SPL_{damper} 는 계산된 댐퍼의 음압레벨이고, p_{ref} 는 기준 음압레벨로 20×10^{-6} Pa이다.

e) 그러나, 실제의 댐퍼는 보이스코일이 있는 중심부와 프레임에 고정된 부분이 동시에 진동하지 못하고 중심부에서부터 바깥쪽으로 시간 차이를 두고 불결치듯이 진동을 하게 된다. 이러한 이유로 진동판으로서의 댐퍼를 고려할 때, 유효 진동면적을 설정할 필요가 있다.

본 논문에서는 이 유효진동면적의 설정 기준을 잡지 못하였으므로 임의적으로 진동반경을 줄여가면서 음압레벨을 계산하였다. 즉, 표 1에 기록된 것과 같이 댐퍼의 주름 간격이 3 mm이므로 진동면을 계산할 때 반경 상에서 이 값만큼 씩 줄여나가면서 계산하였다. 그리고 진동판 반경을 설정할 때, 보이스코일의 중심부가 뚫려 있어 진동판으로서의 역할을 하지 않으므로 보이스코일의 내경에 해당하는 값을 댐퍼의 직경에서 빼 주었다.

이와 같은 계산 결과를 다음의 그림 3에 나타내었고, 댐퍼의 직경이 52 mm인 경우, 1 kHz 이하의 주파수 대역에서 측정치와 일치함을 확인할 수 있다. 1 kHz 이상의 주파수 대역에서 측정치가 계산치 보다 낮고 불규칙한 특성을 나타내는 것은 댐퍼의 특성 상 각 각의 주름물에

나타나는 위상차에 의한 것으로 예측된다.

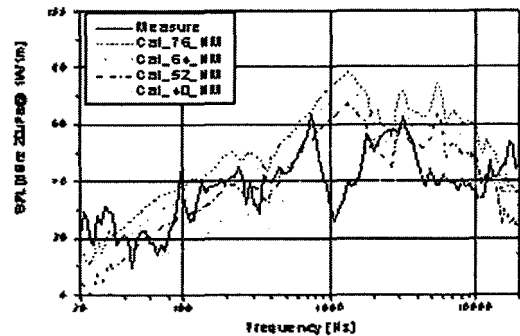


그림 3 분동이 없는 댐퍼에 의한 예측 음압레벨

Measure : 사진 3의 스피커에 의한 실측 주파수응답
 Cal_76 : 댐퍼진동반경이 76 mm 인 경우 주파수응답
 Cal_64 : 댐퍼진동반경이 64 mm 인 경우 주파수응답
 Cal_52 : 댐퍼진동반경이 52 mm 인 경우 주파수응답
 Cal_40 : 댐퍼진동반경이 40 mm 인 경우 주파수응답

2.4 동일 음원에 대한 고려

진동판과 댐퍼는 동일한 보이스코일에 의해 구동되고 있다. 즉, 동일한 음원을 가지고 있는 것으로 가정하면 두음원에 의해 발생된 음파는 간섭성이 될 것으로 예측할 수 있다.

기준으로 사용된 스피커에서 측정된 음압을 p_R , 댐퍼에 의해 발생된 음압을 p_{damper} , 진동판에 의해 발생된 음압을 p_{vibe} 이라 하면, 다음과 같이 쓸 수 있다. (이때 이 압력을 나타내는 양들은 모두 복소수 항들이나 계산을 간단히 하기위해 모두 실수로 취급하여 계산한다.)

$$p_R = p_{damper} + p_{vibe} \quad (4)$$

$$p_R^2 = p_{damper}^2 + 2p_{damper} \cdot p_{vibe} + p_{vibe}^2 \quad (5)$$

식 (5)로부터 진동판에 의해 발생된 음압레벨은 다음과 같이 쓸 수 있다.

만일, p_{damper} 와 p_{vibe} 이 동일한 음압이라면, 식 (5)는

$$p_R^2 = 4p_{damper}^2 \quad (6)$$

으로 될 것이고, 이때 측정된 스피커의 음압레벨은 댐퍼의 음압레벨에 비해 6 dB 증가한 값을 가지게 된다.

그러나 댐퍼의 주파수응답특성 측정치에 6 dB를 더해 주어도 기준 스피커의 음압레벨에는 미치지 못한다. 즉, 진동판의 음압레벨은 댐퍼가 방출한 음압레벨보다 큰 것을 예측할 수 있다.

따라서 두 음파가 충분한 간섭성을 가지고 있고 그 음압레벨이 다르면 식 (5)에서 진동판이 발생시킨 음압에 대한 표현으로 정리하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_{cone}^2 = v_R^2 \left[1 - \frac{v_{damp}}{v_R} \left[\frac{v_{damp}}{v_R} - \frac{2v_{dmc}}{v_R} \right] \right] \quad (7)$$

식 (7)에서 v_R 과 v_{damp} 는 이미 측정을 통해 알고 있는 양이고, 구하고자 하는 v_{dmc} 이 우측 항에 있어 이 식을 푸는 것은 상당한 어려움이 있다.

그러나 음원의 발생 지점이 같고, 다른 원인에 의해 소멸간섭이 일어나지 않았다고 하면, $v_{dmc} < v_R$ 이 되고 $v_{dmc} \leq v_R - v_{damp}$ 가 성립할 것이다. 이때 식 (4)를 식 (7)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$v_{dmc}^2 = v_R^2 \left[1 + 2 \frac{v_{damp}}{v_R} \left[1 - \frac{v_{damp}}{v_R} \right] \right] \quad (8)$$

식 (8)를 음압레벨에 관한 표현으로 바꾸어 주면

$$SPL_{dmc} = SPL_R + 10 \log \left[1 + 2 \frac{v_{damp}}{v_R} \left[1 - \frac{v_{damp}}{v_R} \right] \right] \quad (9)$$

를 얻는다.

그림 4는 식 (9)로 계산한 진동판의 주파수응답특성을 보여주고 있다. 이 결과에 의하면 진동판에 의한 음압레벨은 측정된 음압레벨보다 약 1~3dB까지 높아진다. 이것은 식 (8)을 유도하는 과정과 식 (4)의 초기 가정에서 신호에 대한 위상을 고려하지 않은 원인에 의해 나타나는 결과이다. 역으로 말하면 댐퍼의 진동에 의해 스피커의 음압레벨은 약 1dB에서 3dB까지 상승할 수 있음을 알 수 있다.

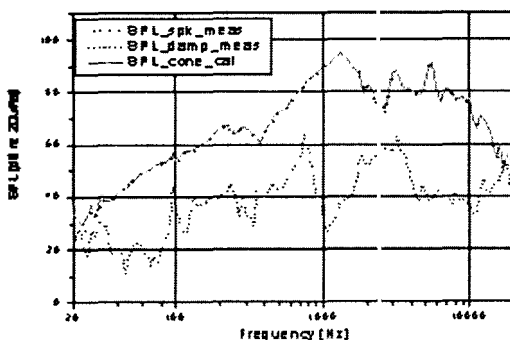


그림 4. 식(9)에 의해 계산된 진동판의 음압레벨

3. 결론

스피커 댐퍼에 의해 발생된 음압레벨을 측정하였고

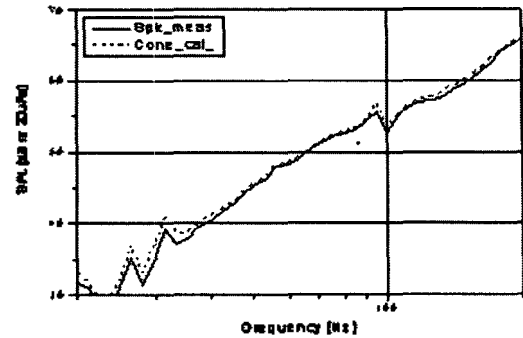


그림 5. [그림 4]의 저주파수 대역을 확대한 그림.

이론적인 예측을 통해 근사적으로 일치하는 주파수 응답특성을 얻었다. 또한, 댐퍼와 진동판을 간섭성이 큰 개별적 음원으로 고려하여 두 음원이 간섭하는 경우 나타나는 음압레벨이 완성된 스피커의 음압레벨이라는 가정 하에서 적절한 결과를 얻었다.

결론적으로 스피커의 음향방출특성을 고려할 경우, 기존에는 고려하지 않았던 댐퍼의 진동을 고려하여야 할 필요성을 확인하였다.

참고문헌

1. M. R. Gander, "Moving-Coil Loudspeaker Topology as an Indicator of Linear Excursion Capability". Presented the 54th Convention of the Audio Engineering Society, New York, 1979 November 2-5.
2. T. Shindo, O. Yashima, and H. Suzuki, "Effect of Voice-Coil and Surround on Vibration and Sound Pressure Response of Loudspeaker Cones", An anthology of articles on loudspeakers from the pages of the Journal of the Audio Engineering Society Loudspeakers vol.2, pp.169-178, 1984
3. F. J. M. Frankort, "Vibration Patterns and Radiation Behavior of Loudspeaker Cones", An anthology of articles on loudspeakers from the pages of the Journal of the Audio Engineering Society Loudspeakers vol.2, pp.16-29, 1984