

# 스피커 댐퍼의 실험적 분석

## Experimental Analysis of the Damper of a Loudspeaker

최도성\*, 이성수\*

(Do-Sung Choi\*, Sung-Soo Lee\*)

\*(주)모토조이 기술연구소

(접수일자: 2003년 1월 13일; 수정일자: 2004년 3월 15일; 채택일자: 2004년 4월 8일)

스피커 댐퍼의 재질에 따른 휨강도와 기하학적 요소인 주름의 반경 및 각 주름의 곡률반경으로 탄성계수를 결정하여 실험치와 비교하였다. 그 결과 댐퍼의 탄성은 휨강도에 비례하고 원형주름의 반경에는 반비례하며 주름의 곡률반경의 제곱에 반비례함을 알 수 있었다. 또, 댐퍼의 안쪽은 주름을 작게 만들고 바깥쪽은 주름을 크게 만든 변형 댐퍼로 스피커를 제작함으로써 고음부의 감도가 증가하면서도 저음부가 강화되는 소형 스피커를 만들 수 있었다.

**핵심용어:** 스피커, 댐퍼, 휨강도, 탄성강도

**투고분야:** 전기음향 분야 (3.1)

A decision of the modulus of elasticity is made by using the degree of bending strength of materials for loudspeaker damper and the radius of corrugation lines and the radius of curvature of each corrugation as a geometrical element. And it is compared with experimental measurements. As a result, the elasticity of damper is proportional to the degree of bending strength and inversely proportional to the radius of corrugation lines and inversely proportional to the square of the radius of curvature. We made a small loudspeaker using a modified damper which take the form of inner small curvature and outer large curvature of each corrugation. This loudspeaker have the increased sensitivity in high frequency and also in low frequency region.

**Keywords:** Loudspeaker, Damper, Strength of bending, Modulus of elasticity

**ASK subject classification:** Electro acoustics (3.1)

### I. 서론

스피커는 전기신호를 음향신호로 전환하는 변환기의 일종으로서 작동원리도 단순하고, 구조도 간단하지만 진동판의 진동이나, 음향 방사특성을 수학적으로 다루기는 쉽지 않다. 그러므로 스피커를 피스톤으로 간주하여 그 표면에서 소리가 방사되는 것으로 근사적인 처리를 하던가[1], 아니면 컴퓨터를 이용한 수치해석적으로 스피커의 진동판의 진동이나 방사되는 소리를 분석[2,3]하고 있다. 특히, 컴퓨터를 이용한 수치해석적인 접근법이 발전함에 따라 여러 종류의 컴퓨터 프로그램이 개발되는 바람에 스피커의 설계 및 제작이 용이해 졌다고 할 수 있으며, 실제로 제작

하기 이전에 시뮬레이션을 통하여 스피커의 음향 특성을 예측[4,5]할 수도 있게 되었다.

그러나 음향에 대한 평가는 청취자의 주관적인 취향에 따라 다르기 때문에 아무리 훌륭한 설계 프로그램에 따라 설계, 제작된 스피커일지라도 튜닝 (tuning)이 꼭 필요하다. 튜닝은 스피커 각 부품의 물리적 또는 소재 변화에 따라 스피커소리의 특성이 변하는 성질을 이용하는 것으로 스피커 제작에서 필수적인 과정이라 할 수 있다. 그러므로 튜닝을 하기 위해서는 스피커를 구성하는 각 구성부품의 동작특성과 부품들의 소재특성, 부품들간의 상호연관성을 제대로 파악해야만 한다.

스피커 유닛은 크게 세 가지 부분으로 나눌 수 있다. 하나는 톱 (top) 또는 보텀 (bottom) 플레이트 (plate), 마그네트 (magnet), 보이스 코일(voice coil) 등으로 이루어진 자기회로 부분이고, 다른 하나는 서라운드 (surround),

책임저자: 이 성 수 (sogog@motorjoy.com)  
449-860 경기도 용인시 백암면 고안리 633-2  
고등기술연구원 내 (주)모토조이 기술연구소  
(전화:031-330-7773; 팩스:031-330-7719)

댐퍼 (damper) 등으로 이루어진 탄성지지부분과 소리를 방사하는 진동판 (콘: cone)과 더스트 캡(dust cap) 부분이다. 이때 진동부분에서 가장 중요한 부품은 진동판으로 진동판의 소재나 기하학적 모양 또는 영률 (Young's modulus)과 같은 물리적 특성에 따라 발생하는 소리의 특성변화(6)가 심하기 때문에 튜닝에 가장 많이 이용된다. 심지어 진동판이 스피커 음질의 90%를 좌우한다는 주장도 있을 정도이다. 이런 이유 때문에 스피커 유닛에 대한 연구는 주로 진동판에 대한 것이며, 댐퍼에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 근래의 스피커가 소형이면서도 저음역이 강화된 유닛으로 변화해 가는 경향에 맞추어 댐퍼의 물리적 특성을 살펴보고, 댐퍼가 SPL 음압특성에 미치는 영향을 실험적으로 밝혀 스피커 유닛의 튜닝에 이용하고자 한다.

## II. 댐퍼의 탄성

댐퍼는 스파이더 (spider)라고도 부르는 부품으로서 에지 (edge)와 함께 진동판과 보빈 (bobbin)의 평행위치를 잡아주며, 진동하는 경우에는 진동부가 평행위치로 되돌아 오도록 용수철처럼 탄성 복원력을 가하며, 필요 이상으로 진동부의 변위가 커지는 것을 방지하는 역할 즉, 심한 진동을 억제하는 역할을 하기 때문에 '댐퍼', 다시 말해 '제동기' 또는 '감쇠기'라는 이름이 붙여진 것으로 볼 수 있다. 댐퍼는 면이나 마 또는 코넥스 (conex) 등에 페놀을 입히고 주름을 만들어 탄성을 갖게 한다. 근래에는 다양한 수지계통의 댐퍼도 만들어지고 있다.

댐퍼에서 중요한 물리적 요소는 탄성이기 때문에 댐퍼의 규격을 말할 때 외양의 크기 외에 50g이나 25g의 분동 무게에 대한 변위값을 측정, 제시해야 한다. 이를 통하여 댐퍼의 스티프니스 (stiffness) 즉, 탄성계수  $S_d$ 를 알게

되고 따라서 서라운드와 탄성  $S_s$ 와 진동판의 질량  $m_c$ 와 보이스 코일부분의 질량  $m_v$ 를 측정하면 제작된 스피커의 저역공진주파수  $f_s$ 를 다음 공식으로 알 수 있다.

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(S_d + S_s)}{(m_c + m_v)}} \quad (1)$$

댐퍼의 탄성을 지배하는 요소는 댐퍼의 재질과 코팅물질, 주름 크기와 주름의 수, 전체 폭 등을 들 수 있다. 이 중에서 재질과 코팅물질, 두께에 의한 탄성은 휨 강도계수로 나타낼 수 있다.

그림 1에서와 같이 단위 길이 당 작용하는 힘을 장력  $T$ 라고 할 경우, 길이  $l$ 에 작용하는 힘은  $F = Tl$ 이 되고, 주름의 마루에  $l$  방향으로 고정된 댐퍼의 일부분에 작용하는 토크 (torque)는 근사적으로  $Fh$ 이고, 변위각  $\delta$ 를 래디안 (radian)각으로 나타내면 변형  $x = h\delta$ 가 되기 때문에 그림1에서 댐퍼의 휨 강도계수인  $k$ 를  $Fh = kx$ 로 부터 구할 수 있다. 여기서 주름의 호길이  $h$ 는 주름을 원형으로 간주할 때  $\frac{\pi r}{2}$ 로 볼 수 있으므로

$$k = \frac{Tl h^2}{x} = \frac{\pi^2 Tl r^2}{4x} \quad (2)$$

이 된다. 또, 휨 강도계수  $k$ 는 댐퍼의 두께와 재료에 따라 결정되는 물리량임을 알 수 있다.

댐퍼의 반쪽 중 단면도가 그림2에 주어져 있다. 그림2에서 질량이  $m$ 인 분동을 댐퍼의 내경부분에 올려놓으면 중력가속도가  $g$ 일 때 무게  $mg$ 인 힘에 의해  $\Delta d$ 만큼 댐퍼가 아래쪽으로 변위 된다. 그러므로 후크의 법칙에 따라

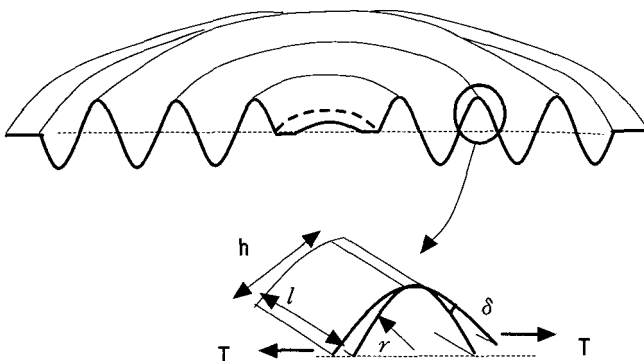


그림 1. 댐퍼의 휨변형  
Fig. 1. The bending deformation of a damper.

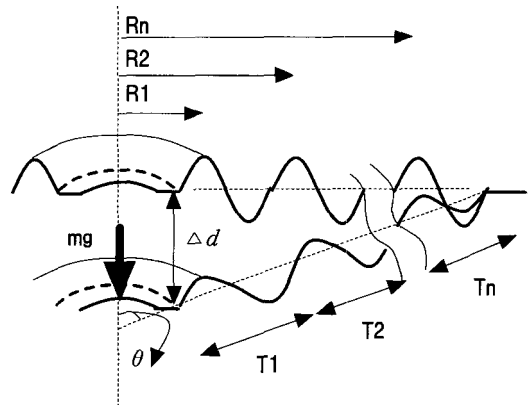


그림 2. 댐퍼 변형의 단면도  
Fig. 2. The cross sectional view of damper deformation.

$$mg = S_d \Delta d \quad (3)$$

가 성립하기 때문에 실험적으로 댐퍼의 탄성계수인  $S_d$ 를 구할 수 있다.

그러나 실제로는 댐퍼에 주름을 만들어 탄성한계가 넓어지도록 하고, 주름의 크기 즉, 그림1과 그림2의  $r$ , 즉 주름의 곡률반지름  $r$ 을 변화시켜 전체 탄성계수를 조절할 수 있다. 만일 무게  $mg$ 인 분동을 댐퍼의 안쪽에 걸리게 하면 댐퍼가  $\Delta d$  만큼 변위하고, 이때 두 개의 판이 한 개의 주름을 구성하는 것으로 보고, 중심부에서의 반경이  $R_1, R_2, \dots, R_n$ 인 주름의 각 부분에 단위 길이 당  $T_1, T_2, \dots, T_n$ 의 장력이 작용한다면 각각의 주름마다 종방향의 힘이  $mg$ 와 같게 나타날 것이며, 따라서 그림 2와 (2)식에서 각 주름에 걸리는 힘이  $Tl = (4kx_i)/(\pi^2 r^2)$ ,  $l_i = 2\pi R_i$  이므로

$$mg = 2\pi R_i T_i \cos \theta = \frac{k \cdot 8 x_i}{\pi^2 r^2} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

식이 성립하기 때문에 반경이 큰 바깥쪽 주름 부분의 장력이 안쪽 보다 작고 따라서 변위도 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

그림3에서와 같이  $i$  번째 주름의 한쪽 부분의 변형  $x_i$ 와 종변형  $\Delta d_i$  사이에  $\Delta d_i \cos \theta = x_i$ 의 관계가 성립하기 때문에 (4)식은 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$mg = 2\pi R_i T_i = \frac{k \cdot 8 (\Delta d_i)}{\pi^2 r^2} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

그러므로  $n$  개의 주름에 대하여 (5)식을  $n$ 번 변 변 더 하고 (3)식을 이용하면

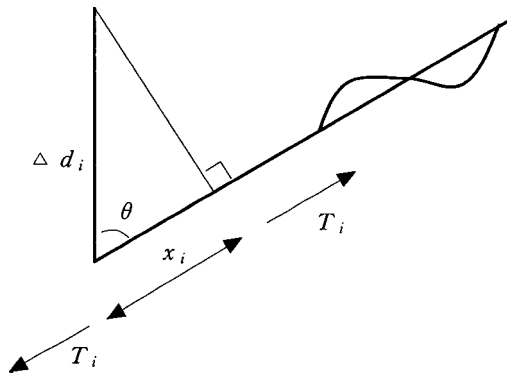


그림 3.  $i$  번째 주름의 변형량  
Fig 3. The deformation of  $i$ -th corrugations.

표 1. 실험에 사용된 댐퍼의 규격

Table 1. The configuration of damper used in experiment.

	재료	외경	내경	두께	주름의 곡률반경	주름수
D1	cotton	81	18	0.3	1.5	6
D2	cotton+conex(50%)	81	19	0.3	1	6

$$n S_d \Delta d = 2\pi \sum_{i=1}^n R_i T_i \quad (6)$$

이므로

$$S_d = \frac{8k}{n \pi^2 r^2} \quad (7)$$

이 된다. (7)식에 의하면 댐퍼 재료의 휨 탄성계수가 클수록 댐퍼의 전체 탄성도 커지고, 주름수가 많아지던가, 주름의 곡률반지름이 클수록 전체 탄성은 작아지는 것을 알 수가 있다.

### III. 측정 및 결과

#### 3.1 시료댐퍼와 탄성계수

실험에 사용된 댐퍼의 규격을 표1에 주었다. D1과 D2가 전체적인 외양은 유사하지만 재료가 다르기 때문에 탄성계수는 서로 크게 다르다. 측정된 D1의 탄성계수는 710N/m이고, D2의 탄성계수는 340N/m이다. 그러나 이 차이는 면과 코넥스(conex)만의 차이라기보다는 면과 코넥스를 코팅하는 코팅제의 차이 즉, 페놀과 다른 첨가제의 차이에 의한 영향도 함께 고려 되어야 한다.

(7)식에서 보는 바와 같이 주름수와 탄성계수 사이에 반비례 관계가 성립하는데 이를 확인하기 위하여 D2 댐퍼의 주름을 안쪽에서 하나씩 차례로 제거하면서 탄성계수를 측정함 값

을 그림4에 나타내었다. 실제로 그림4를 보면 주름수와 탄성계수 사이에 반비례성이 성립함을 알 수 있다. 다만 댐퍼 폭의 중심부를 중심으로 주름수가 주어져야 하지만 안쪽에서 바깥쪽으로 나가면서 주름을 제거하였기 때문에 정확한 반비례를 보이지는 않는다.

#### 3.2 서라운드들의 탄성계수

서라운드의 탄성은 댐퍼와 병렬로 진동 시스템에 작용하기 때문에 스피커의 진동시스템의 탄성계수는 그 합으로 처리된다. 따라서 이미 탄성계수를 측정한 댐퍼를 이용하여 스피커를 제작한 후 공진주파수를 측정하면 (1)식에 의

해 서라운드의 탄성을 알아낼 수 있다.

스피커 제작현장에서는 흔히 서라운드의 탄성을 대략 댐퍼탄성의 반으로 간주하여 경험적으로 스피커를 제작할 뿐 실제 측정은 게으르게 하는 편이다. 본 실험에서는 접착제에 phenol 16%를 섞어 만든 코팅제를 면 60수에 코팅을 한 서라운드를 1.4g 짜리, 직경 90mm 콘에 접착하고, 4Ω 저항을 갖는 4g의 알루미늄 보이스코일을 사용하여 제작한 스피커의 공진주파수를 측정하여 계산한 서라운드의 탄성계수는 평균 200N/m 가 되었다. 이는 D1, D2의 댐퍼없이 앞에서 사용한 보이스코일과 콘으로만 만든 스피커의 공진주파수로부터 (1)식에 따라 계산한 값이다. 일반적으로 서라운드의 탄성이 댐퍼의 탄성보다는 작다는 것을 알 수가 있다.

(4)식에서 보면 전류 시그널에 따라 전자기력으로 부하가 걸려도 댐퍼의 바깥쪽 주름에는 장력  $T$ 가 작게 나타나고 안쪽은 크게 나타남을 알 수 있다. 또, 고진동은 진동주기가 짧고, 저진동은 진동주기가 길기 때문에 댐퍼에 영향을 미치는 부분이 달라진다. 즉, 댐퍼의 변위는 안쪽 주름에서 크게 나타나고 바깥쪽에서는 적게 나타난다는 의미로서 고진동에 영향을 주는 부분은 반경  $R$ 이 작은 안쪽 주름이고, 반경이 큰 바깥쪽 주름 부위는 저진동에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 이와같은 이유에서 서라운드의 경우는 특히 댐퍼 보다 반경이 크기 때문에 탄성이 강할수록 고진동의 경우 보다 저진동에 대한 진동억제를 심하게 한다는 의미가 된다. 따라서 진동폭을 크게하여 저진동을 강화하고자 하는 경우에 서라운드의 탄성을 적절한 선에서 약하게 하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

### 3.3 댐퍼 탄성에 따른 SPL 특성

근래에는 스피커 유닛을 경량화, 소형화하려는 추세가 두드러지지만 그러면서도 음역만은 넓고 풍부하기를 요구

하며 특히, 저음부가 강화되기를 바라는 경향이 강하다. 지금까지의 스피커에 대한 음향학적인 관점에서 보면 저음은 반경이 큰 스피커로 발생시킬 수 있는 것으로 믿어져서 소형 스피커로 저음을 강화한다는 것은 도저히 받아들일 수 없는 요구조건이었지만 부단한 노력의 결과, 소형에서도 저음이 강화된 소리를 발생시킬 수 있도록 개선되고 있다.

본 연구에서는 댐퍼의 탄성계수를 크게하여 공진주파수는 높게 나타나지만 저음역은 강화되도록 댐퍼를 변형시켰다. 즉, 그림2를 참조할 때 반경  $R$ 이 작은 안쪽 부분은 주름의 곡률반경을  $r=0.5\text{mm}$ 로 작게 만들고, 반경  $R$ 이 큰 바깥쪽 부분은 D2와 똑같이 주름의 곡률반경  $r=1\text{mm}$ 로 크게 만들었다. 이 변형댐퍼를 적용하여 만든 스피커의 SPL (sound pressure level) 특성을 1m 위치에 마이크를 놓고, 1W 입력하여 측정하였다.

그림5를 보면 D1, D2 댐퍼와 변형댐퍼를 사용하여 만든 스피커의 SPL곡선이 주어져 있다. 이 스피커들의 콘이나 보이스코일, 마그네트는 동일한 것을 사용하여 만든 것이다. 실제로 D1 댐퍼, 변형댐퍼, D2 댐퍼의 순서로 강도가 크기 때문에 100Hz 이상의 고음부분의 음압은 댐퍼의 강도와 같은 순서로 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 변형댐퍼를 사용하면 탄성계수는 410N/m로서 D2 보다 크고, D1보다는 작지만 100Hz 이하에서는 음압이 가장 높게 나타나 저음역이 강화된 것을 알 수 있다. 실제로 음압이 3dB 이상 변화하면 귀로서 그 효과를 느낄 수 있는데 90~100Hz 사이에서 변형댐퍼가 D2보다 3dB 이상 음압이 상승하고 있으며, 탄성이 D2 보다 크기 때문에 고음역도 강화된 것을 볼 수 있다. 이는 저음의 진동주기가 길어서 저음역 진동에 영향을 주는 부분이 주름의 곡률반경  $r$ 이 커서 탄성이 작은 댐퍼의 가장자리 ( $R$ 이 큰 위치)가 되지만, 고음의 진동주기는 짧기 때문에 고음의 진동에 영향을 주는 부분은 주름의 곡률반경  $r$ 이 작은 댐퍼의 안

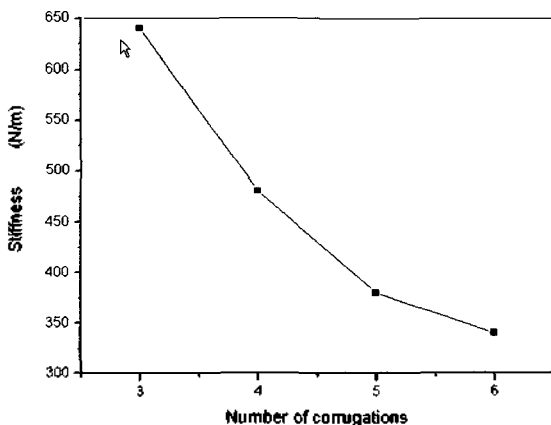


그림4. 주름수에 따른 댐퍼의 탄성  
Fig.4. Stiffness of the damper as the number of corrugations.

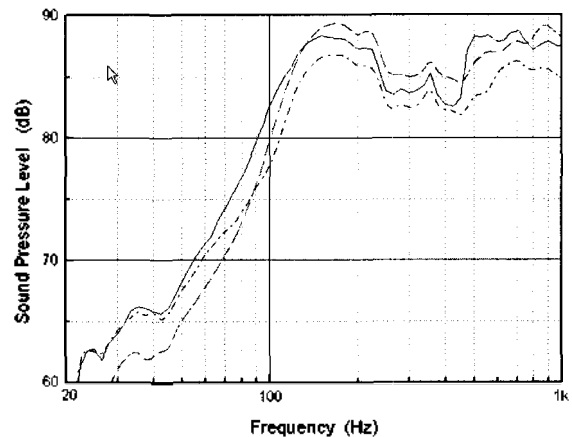


그림5. SPL 특성곡선(대위선: D1, 쇄선: D2, 실선: 변형댐퍼)  
Fig.5. Characteristic curves of SPL(dash line: D1, dash-dot line: D2, solid line: Modified damper).

쪽 ( $R$ 이 작은 위치)이 되기 때문이다.

## IV. 결론

스피커에서 원형 댐퍼의 탄성을 재질과 코팅치리에 따라 다른 값을 갖는 휨강도와 주름의 원반경, 각 주름의 곡률 반경에 기초하여 해석하고 이를 바탕으로 저음역을 강화하는 방법을 모색하여 변형댐퍼를 만들었다. 변형댐퍼의 안쪽은 각 주름의 곡률반경을 작게하여 고진동에 부합하도록 하고, 바깥쪽은 각 주름의 곡률반경을 크게하여 탄성강도를 작게 함으로서 고음역과 저음역이 모두 강화되도록 설계하였다. 측정 결과, 변형댐퍼를 사용한 스피커가 탄성계수는 크지만 저음역이 강화되는 것을 확인할 수 있었다.

## 참고 문헌

1. L. E. Kinsler and A. R. Frey, *Fundamentals of Acoustics* (JOHN WILEY & SONS, INC., New York, 1962), Chap.7, 166-183.
2. K. Suzuki and I. Nomoto, "Computerized analysis and observation of the vibration modes of a loudspeaker cone", *J. Audio Eng. Soc.*, **30**(3), 98-106, 1982.
3. T. Shindo, O. Yashima and H. Suzuki, "Effect of voice-coil and surround on vibration and sound pressure response of loudspeaker cones", *J. Audio Eng. Soc.*, **28**(7), 490-498, 1980.
4. A. J. M. Kaizer and A. Leeuwestein, "Calculation of the sound radiation of a nonrigid loudspeaker diaphragm using the finite-element method", *J. Audio Eng. Soc.*, **36**(7), 539-551, 1988.
5. 김준태, 김정호, 김진오, "직접방사형 스피커의 음향특성 해석 및 설계", *한국소음진동공학회지* **8**(2), 274-282, 1998.
6. F. J. M. Frankort, "Vibration and sound radiation of loudspeaker cones", *Philips Res. Repts Suppl.* **2**(4), 1975, 22-58.

---

## 저자 약력

---

### • 최 도 성 (Do - Sung Choi)



1. 1987년 인하대학교 전기공학과 졸업
2. 1987~1994: 이원 산업 주식회사 스피커 개발
3. 1994~현재: 모토조이(구 북두) 스피커 기술 연구소

### • 이 성 수 (Sung - Soo Lee)

한국음향학회지 제20권 제6호 참조  
현재: (주)모토조이 기술연구소 소장