

진동판의 재질에 따른 마이크로스피커의 음향특성연구

Studying Acoustical Properties of Micro-Speaker as a Function of Diaphragm Material

오 세 진*
(Sei-Jin Oh*)

*주성대학 음향공학과

(접수일자: 2006년 3월 24일; 수정일자: 2006년 5월17일; 채택일자: 2006년 5월 22일)

본 연구에서는 마이크로스피커에 사용되는 진동판의 재질에 따른 음향특성을 연구하였다. 진동판의 재료가 달라지면 영률과 밀도가 바뀌게 되고, 그로 인하여 재질에 따라서 음속과 스티프니스 값이 변하게 된다. 그 결과로써, 공명진동수는 PEI, PPS, PET, PEN의 순서로 점차 높게 나타났으며, 이는 이론적으로 예측된 결과와 정확히 일치하였다. 진동판의 재질은 저음으로부터 최저공명진동수 (f_s)까지 음압이 증가하는 변화율이나 최고한계공명진동수 (f_h)에는 영향을 주지 않았다. 그러나 임피던스 특성에서 얻어진 공명진동수가 낮은 재질의 순서대로 저음영역이 강하게 나타났다.

핵심용어: 마이크로스피커, 진동판, 임피던스, 공명진동수, 주파수특성

투고분야: 전기음향 분야 (3)

The acoustical property of micro-speaker had been investigated as a function of the diaphragm material in this study. Young's modulus and the density of material is deeply related to the determination of sound velocity and stiffness. As a result, it was appeared that the resonance frequency of micro-speaker was PEI < PPS < PET < PEN. This experimental result was in an excellent agreement with the theoretical one. The increasing ratio of sound pressure level to the frequency between 20Hz and the resonance frequency (f_s) and the high resonance frequency (f_h) were not affected by the diaphragm material.

Key words: Micro-speaker, diaphragm, Impedance, Resonance frequency, Frequency response

ASK subject classification: Electro-Acoustics (3)

I. 서론

일반 스피커와 매우 유사한 구조를 갖지만 크기와 두께면에서 매우 작은 마이크로스피커의 수요가 크게 증가하고 있다. 이는 정보통신 단말기의 음향재생장치로 가장 많이 사용되고 있는 가운데, MP3, PMP, 노트북과 같은 소형전자기에도 쓰이고 있다. 그러나 마이크로스피커의 작은 크기와 얇은 두께로 인하여 공명진동수가 높아지고 출력이 감소하는 등의 역효과가 발생하게 된다. 이러한 음질의 열화를 방지하기 위하여 많은 연구가 수행되고 있다 [1-5].

일반적으로 마이크로스피커의 품질을 규정하고 있는 공명진동수, 출력과 전체조화왜를 조정하기 위해서는 여

러 가지 요소들이 존재한다. 예를 들면, 진동판, 보이스 코일, 접착제 그리고 영구자석의 종류 및 특성들을 관련된 요소로 볼 수 있다. 특히 진동판의 경우에는 재질, 두께, 형상 그리고 패턴 등에 관련된 많은 요소들이 마이크로스피커의 특성에 깊이 관여하게 된다. 따라서 본 연구에서는 진동판의 재질에 따른 음향특성을 연구하여 마이크로스피커의 특성을 향상시킬 수 있는 중요한 자료를 얻고자 한다.

II. 실험방법

본 연구에서는 지름이 16mm이고 두께가 3.6mm이며 공칭 임피던스가 8Ω인 마이크로스피커의 진동판 재질을 PEN (PolyEthylene Naphthalate), PPS (Polyphenylene

책임저자: 오 세 진 (seijin@jsc.ac.kr)
363-794 충북 청원군 내수읍 덕암리 산4 주성대학 음향학과
(전화: 043-219-1201; 팩스: 043-219-1224)

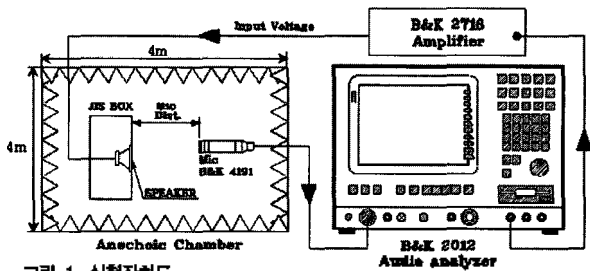


그림 1. 실험장치도
Fig. 1. Schematic of measuring system for impedance and sound pressure level.

Sulfide), PEI (Polyetherimide)와 PET (Polyethylene Terephthalate) 등으로 바꾸어 가며 제작하였다. 그리고 각각의 진동판 재질들에 대한 두께를 16 μ m, 19 μ m, 25 μ m, 30 μ m 그리고 38 μ m로 변화시켜 가면서 실험결과에 대한 일관성을 확인하였다.

마이크로스피커를 무향실 안에 설치된 1,000cc의 정사각형 배플박스 전면에 부착하였다 (그림1). 그리고 주파수가 20Hz부터 20kHz의 사인파를 신호발생기로부터 발생시켰다. 이 음향신호는 B&K 2716C의 파워앰프를 거치면서 0.1W로 증폭된 후에 마이크로스피커 샘플들로 입력되었다. 그 때 마이크로스피커와 마이크로폰 (1/2인치, B&K 4191) 사이의 거리는 10cm를 유지하도록 하였다. 마이크로폰으로부터 나온 음향신호는 IEC 60268-5의 규격에 따라 오디오 분석기 (B&K 2012)를 통해 분석되었다. 이와 같이 얻어진 데이터들의 실험적 결과들은 이론적으로 예상된 결과들과 서로 비교하여 분석되었다.

III. 연구결과 및 논의

(그림2)에서는 동일한 두께들에 대한 4가지 종류의 재질 (PEI, PEN, PET, PPS)에 따른 임피던스 특성들을 보여주고 있다. 대표적인 예로써, 재질의 두께가 16 μ m에 해당하는 임피던스 특성곡선을 살펴보면, 400Hz부터 700Hz까지의 대역에서 발생하는 피크와 1,400Hz부터 1,600Hz까지의 대역에서 생기는 피크들로 구성되어 있음을 볼 수 있다. 일반적으로 첫 번째 임피던스 피크는 각각의 마이크로스피커가 가지는 고유의 공명진동수 (f_0)에 해당하고, 두 번째 피크는 진동판의 분할진동에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다. 특히, 두 번째 임피던스 피크가 재질 또는 두께에 관계없이 모든 샘플에서 동일하게 나타는 점으로 미루어 볼 때에, 본 연구에 사용된 마이크로스피커 샘플이 가지는 고유의 구조적 설계특

표 1. 재료의 따른 공명진동수의 특성
Table 1. Property of the resonance frequency as a function of diaphragm material.

재질	공명진동수(f_0)				
	16 μ m	19 μ m	25 μ m	30 μ m	38 μ m
PEI	470Hz	550Hz	640Hz	760Hz	975Hz
PEN	630Hz	730Hz	925Hz	1,080Hz	1,400Hz
PET	485Hz	610Hz	780Hz	-	1,150Hz
PPS	430Hz	-	670Hz	790Hz	1,090Hz

성으로 인한 진동판의 분할진동으로 볼 수 있을 것이다 (그림2). 마이크로스피커의 설계 및 제작조건이 동일한 가운데, 첫 번째 임피던스 피크의 위치가 재질에 따라서 달라지는 것을 (표1)에서 볼 수 있다.

이처럼, 첫 번째 임피던스 피크의 위치가 달라지는 것은 마이크로스피커의 공명진동수가 재질에 의하여 영향을 받는다는 것을 의미하게 된다. 각각의 두께에 대하여, 재질에 따른 공명진동수의 변화를 살펴보면 아래와 같다.

- ① 16 μ m
PPS(430Hz) < PEI(470Hz) < PET(485Hz) < PEN(630Hz)
- ② 19 μ m
PEI(550Hz) < PET(610Hz) < PEN(730Hz)
- ③ 25 μ m
PEI(640Hz) < PPS(670Hz) < PET(780Hz) < PEN(925Hz)
- ④ 30 μ m
PEI(760Hz) < PPS(790Hz) < PEN(1,080Hz)
- ⑤ 38 μ m
PEI(975Hz) < PPS(1,090Hz) < PET(1,150Hz) < PEN(1,400Hz)

이들 진동판 재질에 따른 공명진동수의 변화를 (그림 3)에 나타내었다. 여기서, 30 μ m에 해당하는 PET와 19 μ m

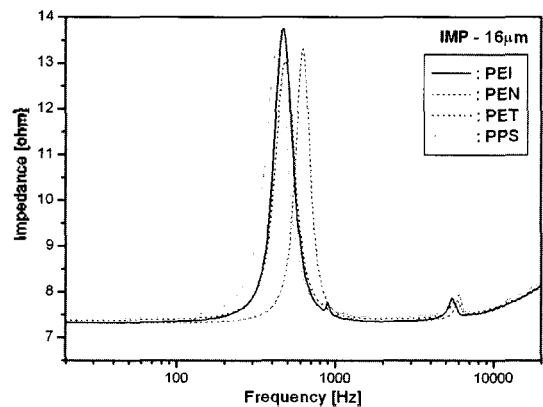


그림 2. 16 μ m의 두께를 갖는 4가지 종류의 재질에 따른 임피던스 특성
Fig. 2. Impedance curves for four diaphragm materials with 16 μ m thickness.

m에 해당하는 PPS의 경우는, 이들 두께에 해당하는 진동판 재료가 존재하지 않는 이유로 인하여 데이터를 얻을 수 없었다. 이들에 대한 결과들을 살펴보게 되면, 16μm의 경우에는 PPS에서의 공명진동수가 가장 낮고 PEI가 그 다음 순서로 낮게 나타나고 있다. 그러나 25μm과 38μm 경우에서의 공명진동수는 PEI가 PPS보다 오히려 더 낮게 나타나고 있다. 따라서 두께가 16μm인 경우에서 PPS와 PEI에 대한 재질특성과 공명진동수 사이의 관계를 명확하게 설명할 수는 없지만, 실험적 오차에 의한 결과로 예상된다. 왜냐하면, PEI와 PPS 사이에서의 공명진동수에 대해 이론적으로 예상되는 결과와 상반되게 나오고 있음을 바로 뒤에서 보여주게 될 것이다. 이들에 대한 차이를 제외하고는, 모든 두께들에서 재질과 공명진동수 사이에 아래와 같은 동일한 결과를 실험적으로 얻게 되었다.

$$PEI < PPS < PET < PEN$$

뿐만 아니라, 공명진동수는 재질의 두께에도 상관관계를 가지고 있음을 (그림3)에서 볼 수 있다. 이에 대한 자세한 논의는 별도의 논문에서 취급될 것이다 [6].

일반적으로 공명진동수 (f_s)는 스피커의 구조나 형상에 관련된 여러 가지 요소들에 의하여 달라질 수 있다. 특히 진동판의 형상이나 재료특성에 크게 의존한다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다 [7]. 진동판의 재료에 대한 특성변수들에 의하여 스피커의 공명진동수를 이론적으로 아래와 같이 쓸 수 있다 [8].

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \times \frac{h}{2a^2} \times \mu_n \left[\frac{E}{3\rho(1-\sigma^2)} \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서, h , a , μ_n , E , ρ 와 σ 는 진동판의 두께, 진동판의

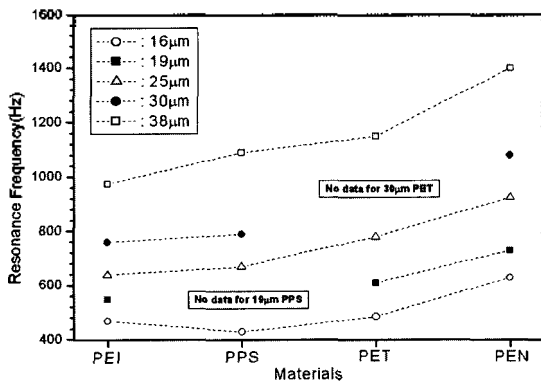


그림 3. 재질에 따른 공명진동수의 변화특성
Fig. 3. Property of resonance frequency as a function of diaphragm materials.

표 2. 25μm의 두께를 갖는 4가지 재질들에 대한 재료특성
Table 2. Material properties about four types of diaphragm.

재료적 특성	PEI	PPS	PET	PEN
밀도(g/cm^3)	1.27	1.35	1.40	1.36
인장강도(kg/cm^3)	1,060	-	1,970	2,250
영률($E, \times 10^{10}N/m^2$)	0.31	4.41	5.17	5.97
내부손실($\tan\delta$)	3.22	0.99	1.22	5.61
음속($= (E/\rho)^{1/2}, \times 10^3 m/s^2$)	0.49	1.81	1.92	2.10
스티프니스($= E/\rho^3$)	0.15	1.79	1.88	2.37

반경, 주파수식의 루트 (roots of frequency equation), 영률 (N/m^2), 밀도 (kg/m^3)와 포아송 비율을 의미한다. 만약 각 재료들에 대한 진동판의 두께와 반경 그리고 포아송 비율을 일정하게 하면, 스피커의 공명진동수가 영률과 밀도에만 의존하게 되는 것을 (식1)로부터 알 수 있다. 따라서 영률과 밀도를 제외한 다른 변수들을 일정하게 고정시켰을 경우에 대한 공명진동수를 아래와 같이 다시 쓸 수 있게 된다.

$$f_s \propto \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/2} \quad (2)$$

어떤 재료의 영률과 밀도는 공명진동수만이 아니고 음속과도 깊은 관계를 갖는다. 즉, 재료 내부에서의 음속 (c)을 영률과 밀도에 의하여 아래와 같이 구할 수 있다.

$$c = \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/2} \quad (3)$$

따라서 동일한 두께를 갖는 서로 다른 재료의 경우에 있어서, 스피커의 공명진동수가 재료 내부에서의 음속에 직접적으로 비례하게 됨을 (식2)과 (식3)로부터 알 수 있다. 본 연구에 사용된 4가지 종류의 재료에 대한 음속을 (표2)로부터 얻어서 (그림4)에 나타내었다. 각각의 재질

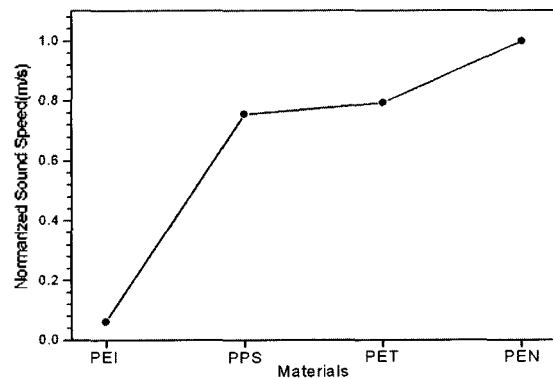


그림 4. 재질에 따른 음속의 이론적 변화특성
Fig. 4. Property of theoretical sound speed for four different types of diaphragm materials.

들에 관련한 음속을 PEN에서의 음속에 대하여 상대적으로 나타내었다. 이처럼 음속에 대한 이론적 결과는 음속과 공명진동수 사이의 관계를 이용하여 재질에 따른 공명진동수의 거동을 살펴볼 수 있게 한다. (그림4)를 살펴보면, PEN에서의 음속을 기준으로 하였을 때에 PET, PPS 그리고 PEI의 순서로 공명진동수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 PET와 PPS 사이의 음속이 크게 차이가 나지 않는 점으로 보아 이들 사이의 공명진동수도 커다란 차이가 없을 것으로 예측된다.

(그림5)는 (그림3)에서 재료의 두께가 38 μ m인 경우의 실험적 결과와 (그림4)에 주어진 이론적 예측을 동시에 보여준다. PEI, PPS와 PET에서의 공명진동수를 PEN에서의 공명진동수에 상대적으로 비교한 결과이다. PPS, PET와 PEN의 경우에는 이론적 예측과 실험적 결과가 매우 잘 일치하고 있다. 그러나 PEI의 경우에는 이론적으로 예측된 공명진동수와 실험적으로 얻어진 결과들 사이에 약간의 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 다시 말하면, 이론적으로 예측된 결과가 실험적으로 얻어진 공명진동수에 비하여 낮게 나타나고 있다. 그 이유를 살펴보면, PEI의 밀도는 다른 재질들과 유사한 반면에, 영률이 0.31x10¹⁰N/m²로서 다른 재질들의 4.41x10¹⁰ - 5.97x10¹⁰N/m²에 비하여 매우 낮기 때문에 이론적으로 낮은 공명진동수가 결정되었다 (표2). 그러나 PEI에 유리섬유 (fiber glass)와 같은 다른 물질들이 첨가되면 재질의 특성이 변하게 될 것이고, 이로 인하여 실험적으로 얻어진 공명진동수가 순수한 PEI에 비하여 높게 나타날 수도 있을 것으로 판단된다.

본 연구에 사용된 동일한 두께의 4가지 재질에 대해 살펴보면, PEI, PPS, PET 그리고 PEN의 순서로 공명진동수가 높아지는 현상이 이론과 실험에서 동시에 나타나고 있다. 그 이유는 각 재료의 영률과 밀도의 향으로 정

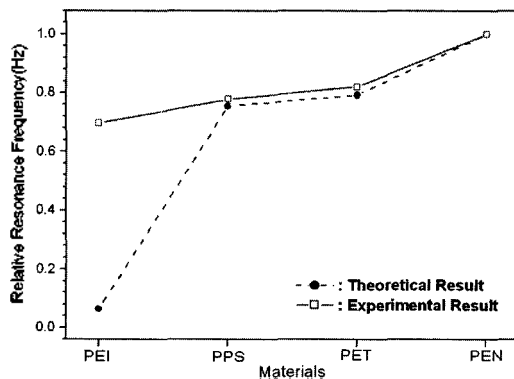


그림 5. 공명진동수에 대한 이론적인 예측과 실험적인 결과들의 비교
Fig. 5. Comparing the theoretical and experimental resonance frequencies.

해지는 음속과 마이크로스피커의 공명진동수 사이에 밀접한 관계가 있기 때문이다. 다시 말하면, 만약 각 재료들에 대한 다른 조건들이 서로 동일할 경우에, 그 재료에 대한 영률과 밀도로 결정되는 음속이 클수록 공명진동수가 높아진다고 말할 수 있을 것이다.

스피커의 공명진동수 (f_s)는 (식1)과 다른 형태로써 진동판의 질량과 스티프니스의 향으로 아래와 같이 다시 쓸 수 있다[7].

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \times \left[\frac{S}{M} \right]^{1/2} \quad (4)$$

여기서, S와 M은 스피커의 스티프니스와 진동계의 질량을 의미한다. 스피커의 스티프니스 (S)는 댐퍼 (S_d)와 에지 (S_e)에 의한 스티프니스 항들의 합으로써 아래와 같이 구해진다.

$$S = S_d + S_e$$

마이크로스피커의 경우에는 댐퍼를 사용하지 않기 때문에, 댐퍼에 의한 스티프니스를 고려할 필요가 없게 된다. 그러나 에지의 경우에는 일반적으로 트위터에서 사용되는 고정형 에지 (fixed edge)로 취급해야 할 것으로 판단된다. 왜냐하면 자유형 에지 (free edge)에서와 같이 진동판과 다른 재질로 제작된 별도의 에지를 사용하지는 않지만, 고정형 에지처럼 진동판의 가장자리는 에지의 기능이 크게 존재하기 때문이다. 진동계의 질량 (M)은 진동판의 전면에 존재하는 공기의 실효질량을 포함하여 진동판, 보이스 코일, 첩착제등의 질량들이 모두 합쳐진 것을 말한다.

본 연구에서 진동판의 재질이 변하게 되면, (표2)에서 보여주는 밀도의 차이에 의하여 진동계의 질량이 변할 수 있다. 그리고 재질에 따른 영률과 밀도의 차이에 의하여 스티프니스도 아래의 식에 따라서 달라질 수 있다.

$$S = \frac{E}{\rho^3} \quad (5)$$

(식4)에 의하면, 스티프니스가 커지거나 진동계의 질량이 작아지게 되면 공명진동수가 높아지게 된다. 그러나 스티프니스와 진동계의 질량들 사이에 공명진동수에 미치는 영향이 어느 것이 더 클 것이냐가 관건이 될 것이다. 이들 각각에 대한 영향을 살펴보기 위하여 진동계의 질량을 우선적으로 고려하여 보자. 진동판 자체의 질

량을 제외한 다른 모든 질량들은 동일하다고 가정할 수 있다. 따라서 재료에 따른 진동계의 질량차이는 단지 각 재질에 대한 밀도차이에 의해서만 만들어지게 될 것이다. 이 재질들 사이의 실질적인 밀도차이는 크지 않고 (표2), 진동판의 지름이 15mm이고 두께가 수십 마이크로미터 (μm) 정도에 불과하기 때문에 재료에 따른 진동판 자체의 질량차이가 매우 적을 것으로 판단된다. 그 이유는, 진동판의 면적과 두께가 동일하기 때문에 진동판의 질량차이는 단순히 재료의 밀도에만 비례하기 때문이다. 그리고 진동계의 전체질량에 대한 진동판 자체의 질량이 차지하는 비중이 약 20% 정도에 불과하기 때문에, 진동판 재질의 종류에 따른 진동계의 질량차이는 매우 적을 것으로 판단된다. 그러나 (식5)에 의하여 재료에 따른 스티프니스 값의 차이 (표2)에서 볼 수 있다. 이들에 대한 차이를 재질에 따른 음속의 특성과 함께 (그림6)에 나타내었다. PEN에서의 스티프니스 값이 가장 크며, PET, PPS 그리고 PEI의 순으로 나타나고 있다. 이러한 순서는 실험적으로 얻어진 공명진동수의 거동과 정확하게 일치하게 된다 (그림3). 따라서 매우 얇은 폴리머 진동판으로 제작된 마이크로스피커의 공명진동수는 진동계의 질량보다는 에지부의 스티프니스에 의해 더 큰 영향을 받는다고 말할 수 있다.

재질에 따른 스티프니스와 음속을 서로 비교하여 보면, 그들에 대한 특성들이 매우 유사하다는 것을 (그림6)에서 쉽게 볼 수 있다. 따라서 에지부의 스티프니스를 음속과 같이 취급할 수 있으며, 그 결과로써 스티프니스와 공명진동수 사이의 특성이 이미 앞에서 논의한 음속과 공명진동수 사이의 관계와 거의 동일하다고 말할 수 있다.

② 주파수 특성

스피커의 재생주파수대역은 음질을 결정하는 가장 중

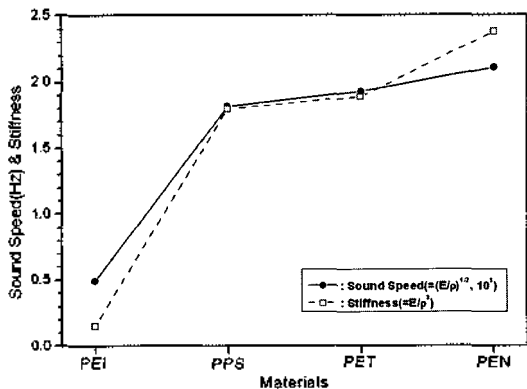
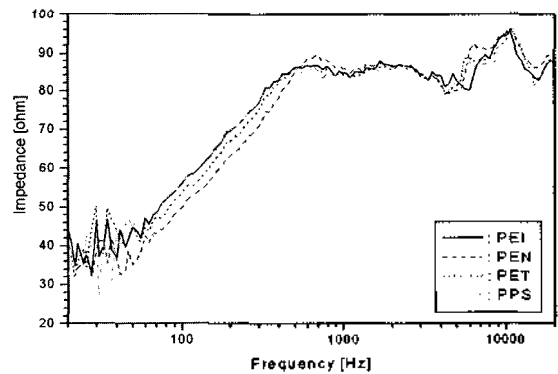


그림 6. 4가지 재질에 대한 스티프니스와 음속의 특성
Fig. 6. Relationship between the stiffness and sound speed as a function of diaphragm materials.

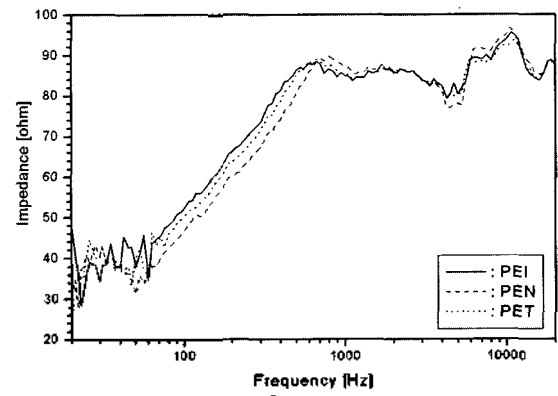
요한 요소 중에 하나이다. 일반적으로 주파수특성은 최저한계공명진동수 (f_s , 일반적으로 "공명진동수"라 칭함)와 최고한계공명진동수 (f_h) 그리고 스피커의 출력등의 정보들을 제공하게 된다. 진동판의 두께별로 재질에 따른 주파수특성을 (그림7)에 나타내었다. 모든 진동판의 재질과 두께에서 저음 ($\approx 100\text{Hz}$)으로부터 공명진동수 (f_s)까지 음압이 상승하는 기울기 (12dB/Oct.)가 거의 동일한 것을 (그림7)에서 쉽게 볼 수 있다. 만약 공명진동수가 동일하다고 하여도 주파수에 따른 음압의 증가율이 다르게 되면, 스피커의 저음특성이 매우 달라질 수 있다. 따라서 이들 진동판의 재질이나 두께만을 변화시켰을 때에는 저음으로부터 공명진동수 (f_s)까지의 주파수에 따른 음압의 증가율 (12dB/Oct.)이 거의 변하지 않는다고 말할 수 있다.

진동판의 재질을 PEI와 PPS로 사용할 경우에 마이크로스피커의 저음영역이 가장 강할 것으로 판단된다. 그러나 PEN의 경우에는 저음영역이 가장 약해지고, PET가 그 다음 순서로 나타나고 있다. 이처럼 진동판의 재질이 달라짐에 의하여 아래와 같은 순서로 저음영역이 강해지는 것으로 나타났다.

$$\text{PEN} < \text{PET} < \text{PPS} < \text{PEI}$$



① 16 μm



② 19 μm

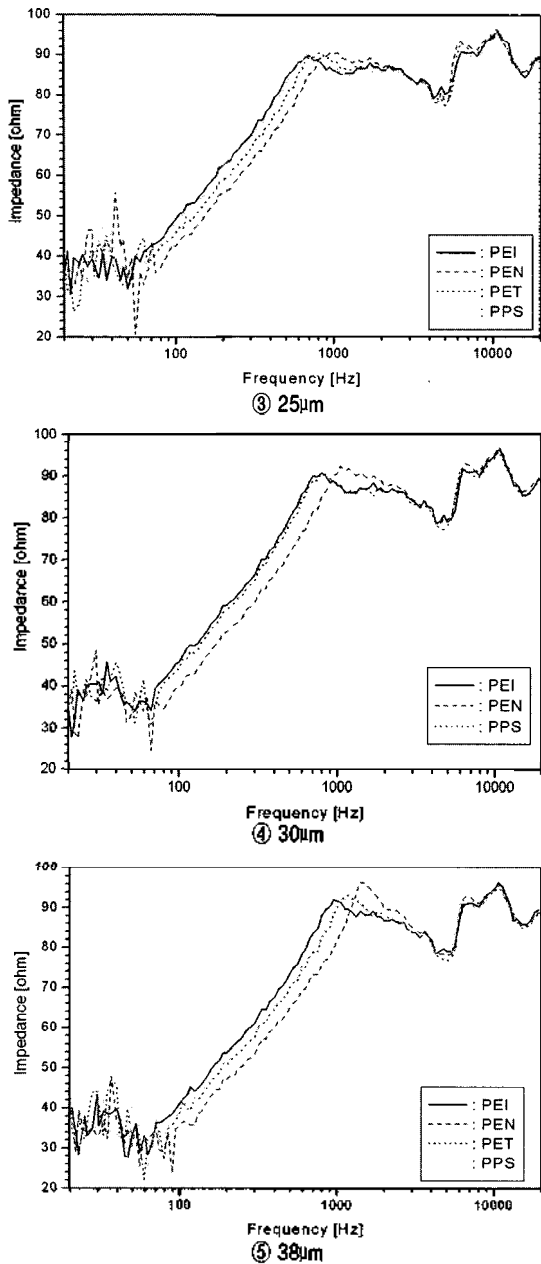


그림 7. 4가지 종류의 재질에 따른 주파수 응답특성
 Fig. 7. Property of frequency response as a function of diaphragm materials.

이처럼 재질에 따라서 저음영역이 강화되는 순서는 (표1)에서 설명한 공명진동수의 순서와 정확하게 일치한다. 그 이유는 (그림7)에서 공명진동수를 정확히 결정할 수 없는 대신에 (그림2)의 임피던스 특성으로부터 정확하게 얻을 수 있기 때문이다. 실질적으로 (그림7)에서의 저음영역에 대한 특성과 (그림2)에서 결정되는 공명진동수와는 동일한 결과라고 할 수 있다. 따라서 주파수특성에서 보여주는 저음특성과 임피던스특성에서 나타난 결과들이 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

최저공명진동수를 지난 중음대역에서의 주파수특성은

대체로 재질에 관계없이 서로 매우 유사함을 (그림7)에서 보여준다. 이러한 특성은 진동판의 재질이 달라진다고 하여도 중음대역에서의 특성에는 큰 영향이 미치지 못한다는 것을 의미한다. 그러나 공명진동수에서의 음향출력이 공명진동수가 높을수록 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서 아래의 순서대로 마이크로스피커의 공명진동수가 높게 나타나는 재질일수록 재생 주파수대역에서의 평균음압이 다소간 높아질 수 있음을 보여 주는 것이다.

$$PEI < PPS < PET < PEN$$

일반 스피커에서 최고한계공명진동수 (f_h)는 스피커 정각 (θ), 진동판의 실효반경 및 재료의 특성들에 의하여 이론적으로 아래와 같이 결정될 수 있다 [8].

$$f_h \propto \frac{\cos \theta}{2\pi a} \times \left[\frac{E}{\rho(1-\sigma^2)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

최고한계공명진동수와 공명진동수를 나타내는 (식6)과 (식1)를 비교하여 보면, 공명진동수는 이론적으로 진동판의 두께에 의해 영향을 받을 수 있으나 최고한계공명진동수에서는 그렇지 않다. 그러나 진동판의 정각은 공명진동수가 아닌 최고한계공명진동수에만 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 영률과 밀도와 같은 진동판 재료의 특성은 공명진동수와 최고한계공명진동수 모두에게 동일한 영향을 주게 된다. 그러나 마이크로스피커 샘플들로부터 실험적으로 측정된 최고한계공명진동수 (f_h)는 10,600Hz 정도으로써 모든 샘플에서 거의 동일하게 나타나고 있다. 이러한 결과는 진동판의 재질과 두께의 변화가 최고한계공명진동수의 결정에 영향을 주지 않았다는 것을 의미한다. (식6)에서 보면, 진동판의 두께와 최고한계공명진동수 사이에는 어떠한 관계도 없기 때문에, 진동판의 두께가 달라져도 최고한계공명진동수가 변하지 않는 것은 당연한 결과라고 할 수 있다. 그러나 영률과 밀도는 진동판의 재질에 따라서 달라지기 때문에 각 재료의 E/ρ 의 값은 변하게 된다. 만약 스피커 정각과 진동판의 크기를 비롯한 포아송 비율이 일정하다고 가정할 때에, 최고한계공명진동수는 재료에 따른 E/ρ 의 값에 의한 변화가 이론적으로 예측된다. 그러나 샘플들로부터 실험적으로 측정된 최고한계공명진동수는 재질에 따라서 변하지 않게 되는데, 이는 고음의 재생을 담당하게 되는 진동판의 실효반경이 매우 작아서 각 재료에 따른 E/ρ 의 값의 실질적인 차이가 크게 없었던 것으로 판단된

다. 스피커의 최고한계공명진동수는 진동판의 재료특성보다 진동판의 정각 (θ)에 의하여 더 큰 영향을 실질적으로 받을 수 있음을 (식1)로부터 알 수 있다. 이처럼 스피커 정각에 대한 특성은 마이크로스피커의 진동판에서 고음의 재생을 담당하는 돔부의 높이와 곡률에 의하여 큰 영향을 받을 수 있음을 의미하는 것이다. 본 연구에서는 진동판의 재질이외에 돔부의 형상을 비롯한 다른 모든 조건들을 동일하게 고정시켰기 때문에 최고한계공명진동수의 변화가 거의 없었던 것으로 판단된다.

IV. 결 론

진동판의 재질에 따라서 공명진동수 달라지는데, 그 이유는 진동판의 두께가 일정할 경우에, 진동판 재료의 영률과 밀도에 관계되는 음속과 스티프니스가 마이크로스피커의 공명진동수에 직접적인 영향을 주기 때문이다. 그 결과로써, 재료의 영률과 밀도에 의한 음속 또는 스티프니스 값이 커질수록 공명진동수가 높은 것으로 나타났다. 진동판의 재질에 따라서 공명진동수가 높은 순서는 아래와 같으며, 이는 이론적으로 예측된 결과와 정확히 일치하였다.

PEI < PPS < PET < PEN

진동판의 재질은 저음으로부터 최저공명진동수 (f_b)까지 음압이 증가하는 변화율 (12dB/Oct.)이나 마이크로스피커의 최고한계공명진동수 (f_h)에는 영향을 주지 않았다. 그러나 임피던스 특성에서 얻어진 공명진동수가 낮은 재질의 순서대로 저음영역이 강하게 나타났다.

참 고 문 헌

1. Sei-Jin Oh, Han-Ryang Lee, Suk Wang Yoon, Jin-Soo Park, "STUDY OF THE ACOUSTICAL PROPERTIES AS A FUNCTION OF BACK CAVITY FOR LOUDSPEAKER", Inter-noise 2003, 2003.
2. 이현량, 오세진, 윤석왕, "스피커 댐퍼의 음향방사", 한국음향학회 추계학술발표대회, 127-130, 2004.
3. 정경일, 이현량, 오세진, 윤석왕, "마이크로스피커 그릴의 가공률에 따른 음향특성", Proc. 한국음향학회 추계학술발표대회, 3-6, 2005.
4. Sang-Moon Hwang, Hong-Joo Lee, Ji-Hoon Kim, Gun-Yong Hwang, Won-Yeoul Lee and Beom-Soo Kang, "New Development of Integrated Microspeaker and Dynamic Receiver Used for Cellular Phones." IEEE Trans. on

Magnetics, 39 (5) 2003.

5. Gun-Yong Hwang, Han-Gyoo Kim, Sang-Moon Hwang, and Beom-Soo Kang, "Analysis of Harmonic Distortion Due to Uneven Magnetic Field in a Microspeaker Used for Mobile Phone," IEEE Trans. on Magnetics, 38 (5) 2002.
6. 오세진, "폴리머 진동판의 두께에 따른 스피커특성연구", 새물리, 게재승인 2006.
7. Naraji Sakamoto, Katsuaki Satoh, Kazue Satoh and Nobuhisa Atoji, "Loudspeaker with Honeycomb Disk Diaphragm", Proc. AES 64th Convention, 263-171, New York, 1979.
8. 오세진, 스피커 개론 (스피커음향기술혁신센터, 2004), Chap. 4, 38-49.

저자 약력

• 오 세 진 (Sei-Jin Oh)

한국음향학회 제25권 3호 참조