

초소형 스피커 전면덮개에 의한 투과손실 영향

이 한량*, 윤 석왕**

*주성대학 스피커음향기술혁신센터

**성균관대학교 물리학과 음향학연구실

The Effect of Transmission Loss by Front Cover of Micro-speakers

Han-Ryang Yi*, Suk Wang Yoon**

*Ju-Seong College Speaker and Audio Technical Innovation Center

**Acoustics Research Laboratory, Department of Physics, Sung Kyun Kwan University

요약

휴대폰의 일반화와 이것의 음향변환기로 사용되는 초소형 스피커 (Micro-speaker) 수요의 증가에 따라 휴대폰의 다양한 기능 및 성능의 개발에 대한 초소형 스피커의 성능개선이 절실히 요구된다. 특히, 초소형 스피커에서 발생된 음의 명료도와 음의 방사효율에 관한 특성의 개선은 당면한 문제이다.

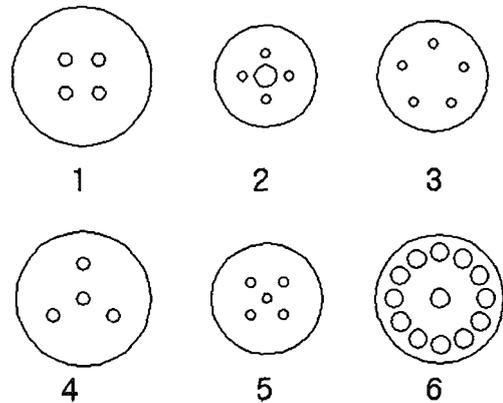
본 연구에서는 초소형 스피커 전면 진동판 보호를 위해 부착되어 있는 전면 덮개(Front Cover)를 스피커의 명료도와 효율에 관련된 음향적 기구로서 고려하여 일반 휴대폰에 사용되고 있는 초소형 스피커들을 대상으로 전면덮개에 가공된 기공의 면적에 따른 음파의 투과손실을 측정하였다.

또한, 전면덮개와 초소형 스피커 진동판 사이에 존재하는 체적과 전면 덮개의 기공에 대한 음향 임피던스 (Acoustic Impedance)를 이론적인 방법으로 구하여 이에 따른 투과손실(Transmission Loss) 및 공명특성을 예측하고 이를 스피커들에 대한 투과손실 측정 결과와 비교하였다.

본 연구의 결과는 초소형 스피커를 제조하는 기업들이 경험적인 방법을 벗어나, 이론적 근거를 바탕으로 제품설계를 수행하는데 기여할 것으로 사료된다.

서론

휴대폰에 장착되는 초소형 스피커들의 크기는 보통 직경 13mm, 두께 3mm 내외의 크기를 가지며, 이 스피커에 사용되는 전면 덮개는 직경 12mm 내외, 두께 0.2mm 정도의 크기로 제작된다. 그리고, 전면 덮개에는 스피커의 진동판에서 발생된 음파를 외부로 방출하기 위한 기공이 다양한 크기와 모양으로 형성되어 있다. 일반적인 초소형 스피커의 전면덮개에 형성된 기공은 직경이 약 1mm에서부터 2.5mm 내외로 가공되어 있고, 4개에서 5개 정도의 기공을 [그림 1]과 같은 형태로 배치하여 성형한다.



[그림 1] 측정에 사용된 초소형 스피커의 전면 덮개

그러나, 전면 덮개에 성형된 기공의 면적과 진동판의 면적과의 비를 살펴보면, 다음의 [표 1]과 같이, 시료 6을 제외한 나머지 시료 5개는 진동판의 면적에 대한 기공의 면적비가 10% 미만인 것을 알 수 있다.

시료 번호	기공면적 [mm ²]	진동판면적 [mm ²]	면적 비 [%]
1	6	177	3.4
2	8	95	8.4
3	4	113	3.5
4	6	165	3.6
5	3	113	2.7
6	41	154	26.6

[표 1] 전면덮개와 진동판의 면적 비
단, 진동판 면적 (S_v) = 전면덮개의 면적(S_f)

기공의 면적 : S_g 이고, 면적비 $S_r = \frac{S_g}{S_v} \times 100$ 이다.

여기에서, 시료 6은 이어폰용 스피커의 전면 덮개이다.

즉, 초소형 스피커의 경우, 진동판에서 발생된 음압이 갑자기 축소된 면적의 기공을 통해 방사(radiation)되므로 전면덮개가 음향필터로서 역할을 하게 된다.

본 논문에서는 초소형 스피커의 전면 덮개가 스피커의 주파수 응답특성에 미치는 영향을 면적이 다른 도파관(waveguide) 내에서 음파의 투과손실특성을 통해 조사하고자 한다.

측정방법

일반적으로 도파관 내에서 음파를 이용한 음향소재의 특성분석은 정재파법을 이용한다.

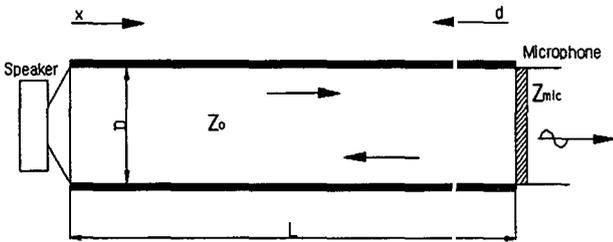
특히, Microphone과 반대쪽에 위치한 시료에 의해 반사되는 음파에 의한 반사계수(Reflection Coefficient)를 측정하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.[1]

그러나 본 논문에서 측정하고자 하는 것은 초소형 스피커의 전면 기공을 통한 전면 덮개의 흡음효과가 아닌 음파의 투과효율을 측정하는 것이 목적이다.

1. Microphone의 Acoustic Impedance

시료에 대한 음파의 투과 특성을 알기 위해서는 측정 환경인 관 내부에서의 음파의 음압특성을 알아야 한다.

다음의 [그림 2]는 관 내부에서 음파의 측정을 위한 시료가 없는 나관 상태의 측정 개념도이다. 한쪽 끝에 음원이 있고, 관의 다른 쪽 끝에 microphone이 있다. 즉, 본 개념도에서는 음원의 반대쪽에 설치되어 있는 microphone의 음향 임피던스를 측정하여 시료들의 투과 특성 측정 시, 미치는 영향을 알고자 한다.



[그림 2] 시료가 없는 나관상태의 측정 개념도

음원인 스피커가 사인(sine)함수 형태로 진동하는 음파를 발생시킬 때, 관(tube) 내부에 있는 임의의 점에서 음향 임피던스는 다음과 같이 쓸 수 있다[2]

$$Z_j = P(d)/U(d) = Z_o \frac{e^{jkd} + R e^{-jkd}}{e^{jkd} - R e^{-jkd}} \quad (1)$$

여기에서, d는 관의 임피던스 종단(terminal)인 microphone에서 음원인 스피커로 향하는 이동거리이고, j는 허수, k는 파수(wavenumber)이다. 그리고, R은 압력반사계수(pressure reflection coefficient)로서 입사파의 음압에 대한 반사파의 음압의 비로 주어진다. Zo는 매질인 공기에 대한 고유 음향 임피던스 (Characteristic Acoustic Impedance)이고, 1기압 섭씨 20도에

서 415 rayls의 값을 갖는다.

또한, 압력반사계수와 압력투과계수(pressure transmission coefficient) T는 다음과 같은 관계를 가진다.[2]

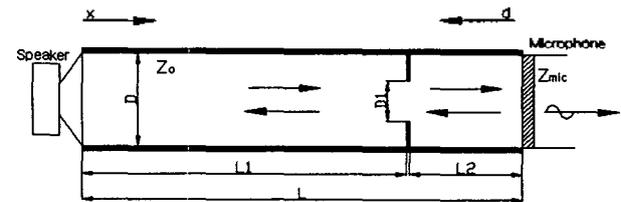
$$1 + R = T \quad (2)$$

여기에서, T는 입사파의 음압에 대한 투과파의 음압의 비로 주어진다.

식(1)과 식(2)에 의해 microphone 종단에 의해 나타나는 고유음향임피던스를 구할 수 있다.

$$Z_{mic} = Z_o \frac{1+R}{1-R} = Z_o \frac{T}{2-T} \quad (3)$$

다음으로 시료를 부착한 상태에서 압력투과계수를 구하기 위한 개념도를 [그림 3]에 그려 놓았다.



[그림 3] 시료 특성측정을 위한 측정 개념도

이때, 면적변화에 따른 체적속도와 음향임피던스(acoustic impedance)[3]를 고려한 매질 문제로 고려하면 다음과 같은 압력투과계수를 구할 수 있다. [2]

$$T = \frac{8}{\Delta + \Gamma \exp(-2jk l_1) + \Theta \exp(-2jkt) + \Psi \exp(-2jk(l_1 + t))} \quad (4)$$

여기에서,

$$\Delta = [2 + Z_{ac1}/Z_{ac2} + 2(Z_{ac1}/Z_{ac1}) + Z_{ac2}/Z_{ac1} + (Z_{ac1}Z_{ac1})/(Z_{ac2}Z_{ac1}) + Z_{ac2}/Z_{ac1}]$$

$$\Gamma = [Z_{ac1}/Z_{ac2} + Z_{ac2}/Z_{ac1} + Z_{ac1}/Z_{ac1} - Z_{ac2}/Z_{ac1} - (Z_{ac1}Z_{ac1})/(Z_{ac2}Z_{ac1})]$$

$$\Theta = [2 - Z_{ac1}/Z_{ac2} + 2(Z_{ac1}/Z_{ac1}) - Z_{ac2}/Z_{ac1} - Z_{ac2}/Z_{ac1} - (Z_{ac1}Z_{ac1})/(Z_{ac2}Z_{ac1})]$$

$$\Psi = [Z_{ac1}/Z_{ac2} + Z_{ac2}/Z_{ac1} - Z_{ac2}/Z_{ac1} + (Z_{ac1}Z_{ac1})/(Z_{ac2}Z_{ac1})] \text{ 이고,}$$

$$Z_{ac1} = Z_o/S_o : L1영역에서의 음향(acoustic)임피던스$$

$$S_o = \pi D^2/4 : \text{관의 단면적}$$

$$Z_{ac2} = Z_o/S_1 : \text{기공의 음향임피던스}$$

$$S_1 = \pi D_1^2/4 : \text{기공의 단면적}$$

$$Z_{ac4} = Z_{mic}/S_o : \text{microphone 노출면의 음향임피던스}$$

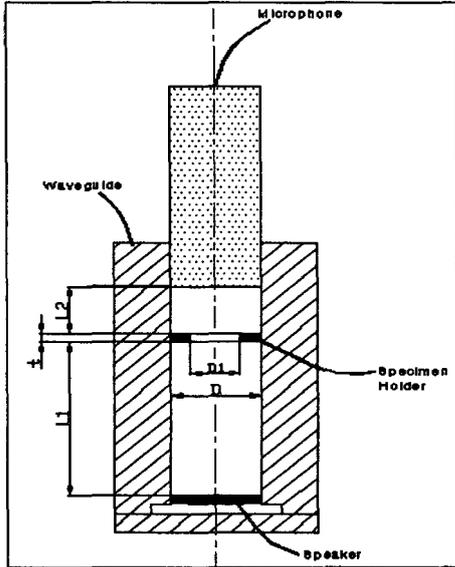
압력투과계수를 구한 후, 투과손실(Transmission Loss) TL은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$TL = -10 \log |T|^2 \quad (5)$$

측정결과

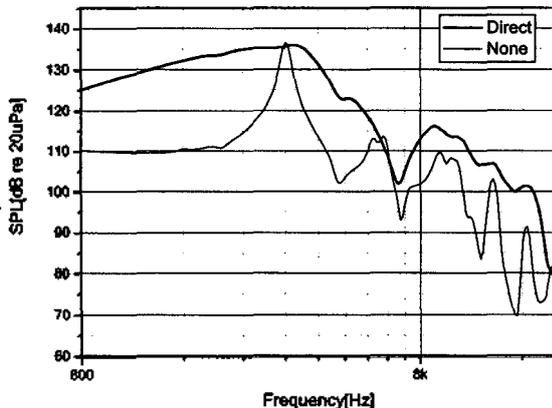
다음의 그림 [4]는 측정에 사용된 chamber이다. Chamber의 모양은 관형이며, 진동의 영향으로 관이 공진하는 것을 방지하기 위해 12mm 두께의 스테인레스

로 제작하였다. 측정 및 분석용 기기는 실시간 오디오 분석기인 "ASA-II"를 사용하였고, 음원으로 사용된 스피커는 직경 20mm, 두께 2.5mm의 초소형 스피커를 사용하였다. 스피커의 임피던스는 32ohm으로 0.1W의 정현파를 20Hz-20kHz 까지 ISO R40 방식으로 sweep 하여 입력하였다.



[그림 4] 음파투과특성 측정을 위한 Chamber
 L1 : 스피커와 시료고정을 위한 Holder 사이의 거리 (42.5mm)
 T : 시료 고정을 위한 Holder의 두께 (2mm)
 L2 : Holder와 Microphone 사이의 거리 (13mm)
 D : Waveguide 실린더의 내경 (20mm)
 D1 : Holder 시료 삽입 Hole의 직경 (11mm)

다음의 [그림 5]는 나관상태의 음압레벨 특성이다. 식(3)과 [그림 5]의 결과를 사용하여 Zmic를 구한다. 즉, [그림 5]의 결과에서 굵은 실선은 스피커에서



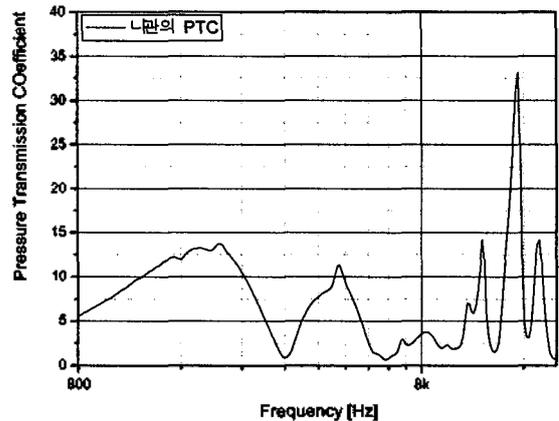
[그림 5] 직접음과 나관의 주파수 응답특성

발생된 직접음의 주파수응답특성이고, 가는 실선은 나

관상태에서 측정된 주파수 응답특성이다. 압력투과계수에 대한 정의를 사용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

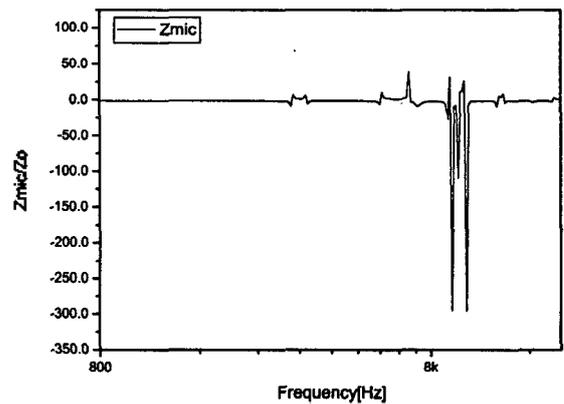
$$T = \frac{P'}{P''} = 10^{(SPL' - SPL'')/20} \quad (6)$$

여기에서 P' 는 입력파의 진폭을, P'' 은 투과파의 진폭을 나타내며, SPL' 은 스피커에서 발생된 음압을 microphone으로 직접 수신한 경우의 음압레벨이고, SPL'' 은 나관상태에서 측정된 음압레벨이다. 다음의 [그림 6]은 [그림 5]에서 측정된 나관의 주파수응답특성에 대해 압력투과계수 T를 식(6)을 사용해 구한 결과이다.



[그림 6] 나관의 주파수별 압력투과계수

다음의 [그림 7]은 [그림 6]의 결과와 식(3)을 이용해 구한 microphone에 의한 종단 임피던스이다.

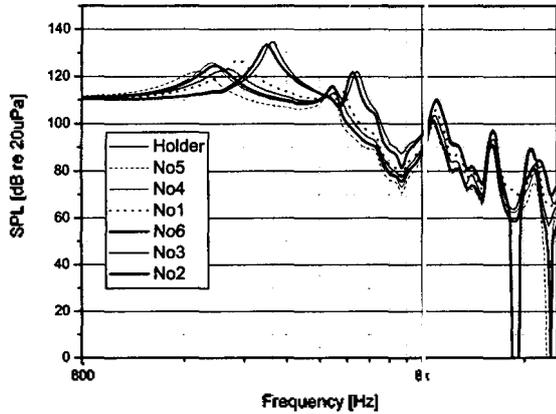


[그림 7] Microphone 종단의 주파수별 음향 임피던스 응답특성

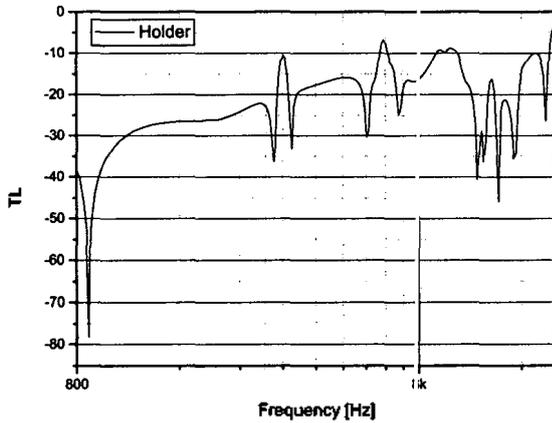
[다음의 [그림 8]은 시료 6개 외에 시료 고정용 holder를 추가하여 주파수 응답특성을 측정된 결과이다.

다음의 [그림 9]은 시료를 고정하기 위한 holder 만을 관내에 장착한 경우의 TL값 계산한 것이다. 이 결과는 [그림 8]의 주파수 응답특성을 가지고 계산한 결과로

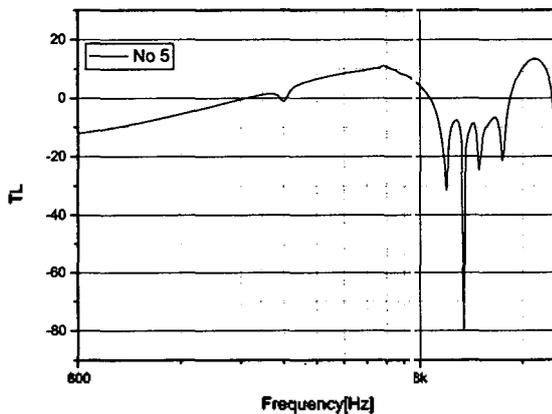
서 도파관의 면적이 변함으로써 나타나는 투과손실량이 20dB 이상임을 보여주고 있다.



[그림 8] 시료 장착 한 주파수 응답특성



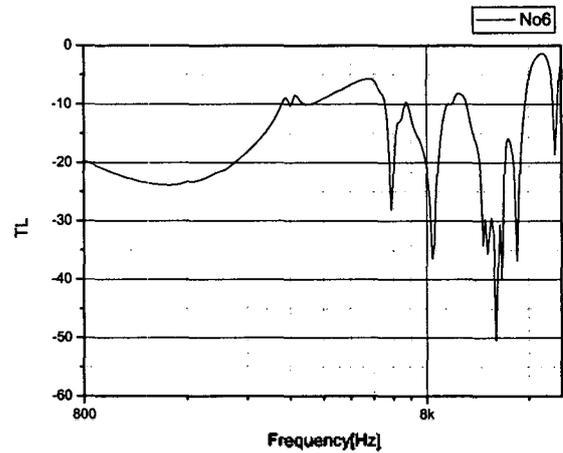
[그림 9] 시료 고정 holder 삽입한 경우의 TL



[그림 10] 시료 No 5를 삽입한 경우의 TL

진동판과 기공의 면적비가 10% 미만인 경우, 투과손실이 오히려 양의 값으로 나오는 것을 확인할 수 있었다.

이것은 투과에 의한 현상이라기 보다는 전면덮개와 도파관 사이에 형성된 공간에서 공진에 의한 효과로 예측된다. 즉, 전면덮개의 기공이 너무 작아 음파의 진동에너지가 소모되지 못하고, 진동에너지로 전환되는 현상으로 예측된다. 이러한 경우는, 초소형 스피커에 적정 이상의 출력이 가해질 때 전면덮개의 진동음이 발생하는 것으로 예상할 수 있다.



[그림 11] 시료 No 6을 삽입한 경우의 tl.

결론

본 실험을 통해 조사된 결과는 초소형 스피커의 전면 에 장착된 전면덮개에 의한 투과손실이 상당히 큼을 알 수 있다.

즉, 음압레벨을 높이기 위해, 강력한 잔류자기를 갖는 희토류계 자석을 사용하는 등의 많은 노력이 실제로는 단순히 전면 덮개의 기공도 만 개선시켜도 상당한 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다

향후, [그림 10]과 같은 현상이 발생하는 원인에 대한 규명과 파생되는 현상을 조사하고, 본 실험의 정밀도를 높이기 위한 추가적인 실험과 반사계수 측정을 통해 보다 엄밀하고, 규격화된 자료를 확보할 예정이다.

참고문헌

- [1] KS F 2814 “관내법에 의한 건축재료의 수직입사 흡음률 측정방법” 1996
- [2] David T. Blackstock *Fundamentals of Physical Acoustics*, pp.163-167. A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 2000
- [3] Lawrence E. Kinsler et, *Fundamentals of Acoustics*, pp.231-234. Wiely 3rd Ed.