

마이크로스피커 그릴의 구멍크기에 따른 음향임피던스 특성연구

Studying the Acoustic Impedance as a Function of Hole Area of Grille for Micro-Speaker

오 세 진*
(Sei-Jin Oh*)

*주성대학 음향공학과

(접수일자: 2006년 3월 15일; 채택일자: 2006년 4월 4일)

본 연구에서는 그릴에 뚫려 있는 구멍이 마이크로스피커의 전체 임피던스에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 이들에 대한 영향을 이론적으로 접근하기 위하여 그릴의 구멍을 열린 짧은 길이를 갖는 파이프시스템의 일종인 올피스로 취급하였다. 이에 대한 결과는 실험적으로 얻어진 특성과 매우 잘 일치하였다. 다시 말하면, 이들의 구멍크기가 작아지게 되면 구멍에 의한 음향임피던스가 매우 커지게 된다. 그 결과로써, 마이크로스피커의 전체 음향임피던스에 미치는 영향이 커지는 것을 알 수 있었다. 이처럼 그릴의 구멍크기가 작을수록 전체 임피던스에 미치는 영향이 커져서 마이크로스피커 유닛에서 발생한 음향특성이 그릴의 사용으로 인하여 달라질 수 있게 된다.

핵심용어: 마이크로스피커, 그릴, 음향임피던스, 공명진동수, 올피스

투고분야: 전기음향 분야 (3)

In this study, the impedance behavior of micro-speaker had been investigated as a function of hole area existing on the grille. In order to theoretically study the change of acoustical property due to the different total hole area, the holes were treated as a short open pipe system, such as an orifice. This theoretical result was in an excellent agreement with the experimental one. In detail, the acoustic impedance to be caused by the hole could be greatly increased with the decrease of hole area. Therefore, it can be concluded that the acoustic property of micro-speaker could be greatly changed by increasing the acoustic impedance of hole with reducing hole area.

Keywords: Micro-Speaker, Grille, Acoustic Impedance, Resonance Frequency, Orifice

ASK subject classification: Electro-Acoustics (3)

I. 서론

마이크로스피커는 정보통신 단말기를 비롯하여 노트북, PDA, PMP 또는 MP3와 같은 전자기기 등에 사용되는 소형 음향재생장치이다. 특히 초창기의 정보통신 단말기에서는 대화소통용으로써 음성대역의 소리만을 단순히 재생하면 되었으나, 최근에는 DMB를 비롯하여 MP3와 같은 고급형 오디오 및 멀티미디어 기능들이 탑재되어 고품질이 요구되고 있다. 여기서 고품질이라 함

은 고음질, 고출력 그리고 고신뢰성 등을 일반적으로 의미한다. 그러나 정보통신 단말기의 크기가 지속적으로 감소됨에 의하여, 마이크로스피커의 크기 또는 두께의 감소는 이러한 특성들을 오히려 열악하게 만드는 원인이 되기도 한다. 지금까지 많은 연구자와 엔지니어들이 고품질의 스피커를 만들기 위하여 많은 노력을 경주해 오고 있다[1, 5]. 그러나 이들의 대부분은 일반 스피커에 관한 연구들이지, 마이크로스피커에 관련된 연구들이 아직까지는 상대적으로 많지 않은 실정이다[6-7].

일반적으로 마이크로스피커의 진동판은 수십 마이크로미터(μm) 정도의 두께를 갖는 매우 얇은 폴리머로 주로 제작되고 있다. 따라서 어떤 물리적 접촉이나 충격으로부터

얇은 진동판을 안전하게 보호하기 위하여 진동판의 앞부분에 얇은 금속판으로 제작된 그릴을 설치하게 된다. 이때 금속성 그릴에는 여러 개의 구멍들이 뚫려 있어서 진동판으로부터 발생된 소리가 원만하게 그릴을 통과할 수 있도록 하고 있다. 그러나 이들 구멍의 형태와 크기는 업체 또는 모델에 따라서 많은 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 마이크로스피커의 음향특성을 크게 바꾸어 놓는 원인이 되기도 한다. 왜냐하면, 진동판에서의 음향 임피던스가 그릴의 구멍에 의하여 변화될 수 있기 때문이다. 이러한 특성변화는 마이크로스피커 엔지니어들의 정성적 경험에 의해서만 취급되어 오고 있는 실정이다.

마이크로스피커의 음향특성에 영향을 미칠 수 있는 실질적인 요소들이 많이 존재한다. 그들 중에서 그릴에만 들어져 있는 구멍들의 크기와 형태에 의해서도 마이크로스피커의 음향특성이 변할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 그릴에 있는 구멍들의 크기에 따른 음향임피던스의 특성변화를 고찰하였다.

II. 이론적 고찰

그릴과 진동판 사이의 구조는 일종의 음향학적으로 열린 짧은 길이의 파이프시스템 (short open pipe system)으로 취급할 수 있다. 실효끝 보정치 (end correction)가 고려되고 테두리 (flange)가 있는 한 열린 짧은 파이프(short open pipe)의 예가 (그림1)에 보여지고 있다[8-9]. 방사저항이 무시되었을 경우에 스피커 진동판의 운동에 의한 입력임피던스 (Z_{in})를 아래의 (식1)과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_{in} = jZ_0 \tan k \ell' \quad (1)$$

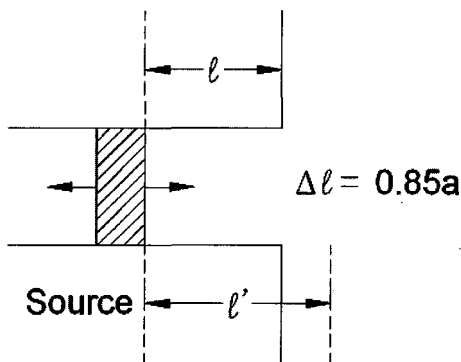


그림 1. 열린 짧은 길이의 파이프시스템의 개략도
Fig. 1. Schematic of flanged short open pipe.

여기서 k 와 ℓ' 은 파수와 파이프의 실효길이를 의미한다. 특히 파이프의 실효길이 (ℓ')는 파이프의 길이 (ℓ)와 보정을 위한 실효끝 보정치 ($\Delta \ell$)로 아래와 같이 구성된다 (그림1).

$$\ell' = \ell + \Delta \ell$$

테두리가 있는 파이프에 대한 실효끝 보정치 ($\Delta \ell$)를 $0.7854a$ 로 쓸 수 있는데, 여기서 a 는 파이프의 반경을 말한다. 만약 $k\ell' \ll 1$ 일 경우에, (식1)은 아래의 (식2)과 같이 다시 쓸 수 있게 된다.

$$Z_{in} = jZ_0 k \ell' = j\omega \rho_0 \ell' \quad (2)$$

여기서 ω 와 ρ_0 는 각진동수와 공기의 밀도를 각각 의미한다. (식2)로부터 음향 임피던스를 구해보면,

$$\begin{aligned} Z_{ac} &= Z_{in} / S \\ &= j\omega \rho_0 \ell' / S \\ &= j\omega(\rho_0 \ell' S) / S^2. \end{aligned} \quad (3)$$

(식3)에서 보면, 열린 짧은 길이의 파이프 (short open pipe)는 $\rho_0 \ell' S$ 의 질량(m)처럼 취급할 수 있고, 그것의 인얼턴스 (inertance, $=m/S^2$)는 확장된 파이프의 안에 있는 공기의 질량처럼 취급할 수 있다. 만약 파이프가 열려 있다면, (식3)에 방사저항에 관련된 항이 추가될 것이다. 그리고 (그림2)의 등가회로에서 보여지는 것처럼, 리액턴스와 방사저항이 서로 직렬의 형태로 연결될 것이다. 따라서 음향임피던스를 다시 쓰면 아래와 같다.

$$Z_{ac} = \rho_0 c_0 k^2 / 2\pi + j\omega \rho_0 \ell' / S, \quad (4)$$

여기서 c_0 와 S 는 공기 중에서의 음속과 파이프의 단면적을 의미한다.

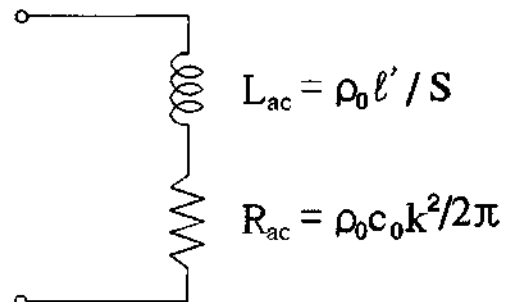


그림 2. 열린 파이프시스템에 대한 등가회로
Fig. 2. Equivalent electrical circuit for an open pipe.

얇은 판에 한 개의 구멍만을 가지고 있는 올피스(orifice)를 음향학적으로 양쪽이 모두 열려 있고 매우 짧은 길이의 파이프시스템으로 간주할 수 있다(그림3). 올피스에서의 방사저항은 테두리가 있고 열린 짧은 길이의 파이프시스템에 대한 그것의 2배가 될 것이다. 그 이유는 올피스의 양쪽 면이 모두 열려 있기 때문이다. 그러므로(식4)로부터 음향임피던스를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$Z_{ac} = \rho_0 c_0 K^2 / \pi + j\omega \rho_0 l' / S_{orifice} \quad (5)$$

그러나 올피스에서는 파이프의 개구로부터 소리가 방사되지 않기 때문에(식5)에 있는 방사저항(=ρ₀c₀K²/π)을 생략할 수 있다. 만약 파이프 벽면에서의 점성(viscous)에 의한 댐핑효과도 고려하지 않는다면, (식5)은 아래와 같이 리액턴스 항만을 갖는 간단한 형태로 다시 쓸 수 있게 된다[8].

$$Z_{ac} = j\omega \rho_0 l' / S_{orifice} \quad (6)$$

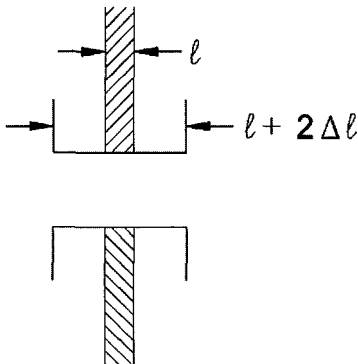


그림 3. 올피스의 개략도와 실험용 보정치
Fig. 3. Schematic of orifice and its end correction.

본 연구에서는 마이크로스피커의 그릴에 있는 구멍들을 하나의 올피스로 간주한 이론적 결과를 실험적 데이터에 적용하여 그릴구멍의 크기에 따른 음향특성의 변화를 연구하였다. 실제적으로 그릴에는 여러 개의 구멍들이 존재하고 있다. 따라서 이들 구멍의 면적들을 모두 더한 후에, 이들의 전체면적을 올피스에 있는 한 개의 구멍면적으로 간주하였다.

III. 실험방법

본 연구를 위하여, 지름이 17mm이고, 두께가 3.6mm이며 공칭 임피던스가 8Ω인 마이크로스피커를 사용하였

표 1. 각 샘플에 대한 구멍면적
Table 1. Hole area of each sample.

Sample Identification	Hole Combination	Hole Area
Sample A-type	No Grille	200.0mm ²
	all open	47.3 mm ²
	φ3.5 & φ2.9	36.0 mm ²
	φ3.5 & φ1.9	17.9 mm ²
	φ3.5	9.6 mm ²
Sample B-type	No Grille	200.0 mm ²
	all open	36.4 mm ²
	φ2.9 & φ2.5	26.2 mm ²
	φ2.9 & φ1.8	16.8 mm ²
	φ2.9	6.6 mm ²

다. 이 때(그림4)에서 보여지는 것처럼, 두 가지 종류의 그릴이 사용되었다. 각각의 종류에 대한 그릴은 3가지의 크기를 갖는 구멍들로 구성되어 있었다(그림4). 그리고 본 연구의 분석결과에 대한 신뢰도를 높이기 위하여, 동일한 종류의 그릴이 장착된 샘플들을 4개씩 제작하여 실험하였다(그림5). (표1)에서 보여주는 것처럼, 구멍의 크기는 세 종류의 구멍들을 서로 다르게 조합하여 만들어졌다.

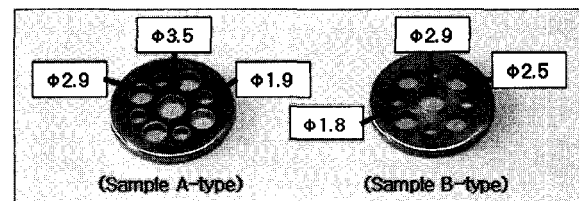


그림 4. 두 가지 형태의 그릴
Fig. 4. Two types of grille.

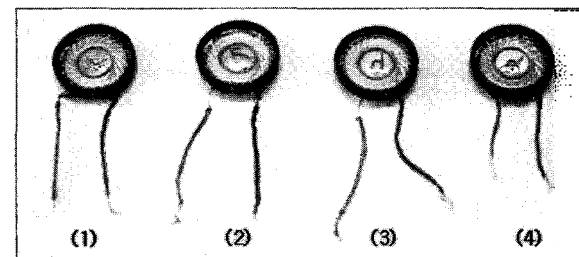


그림 5. 각 그릴 형태에 대한 4개의 마이크로스피커 샘플
Fig. 5. Four samples for each type of grilles.

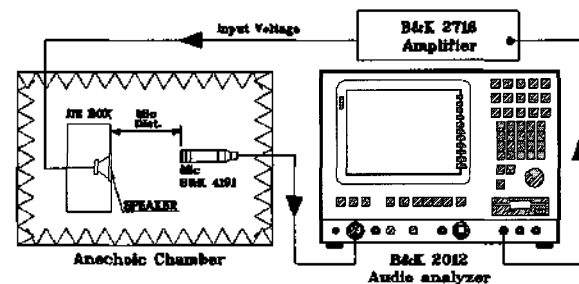


그림 6. 실험장치도
Fig. 6. Schematic of measuring system for impedance and sound pressure level.

그릴이 부착된 마이크로스피커를 무향실 안에 설치된 1,000cc의 정사각형 배플박스 전면에 부착하였다 (그림 6). 주파수가 20Hz부터 20kHz의 정현파를 신호발생기로부터 발생시켰다. 이 음향신호는 B&K 2716C의 파워 앰프를 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.

IV. 결과 및 논의

본 연구에서는 마이크로스피커 그릴에 있는 구멍을 일종의 올피스처럼 취급하겠다 하는 것은 이미 앞에서 지적한 바 있다. 따라서 그릴의 구멍에 대한 음향임피던스 (Z_{hole}) 특성을 (식6)으로부터 이론적으로 구할 수 있었다. (그림4)에서 보여지는 것처럼, 그릴에 있는 구멍들은 실제적으로 한 개가 아닌 여러 개로 구성되어 있다. 따라서 열려있는 구멍들의 면적을 모두 더한 후에, 이들 열린구멍의 전체면적을 마치 올피스에 있는 하나의 구멍 면적처럼 간주하여 (식6)의 이론적 계산에 사용하였다. 그리고 (식6)에서 진동판과 그릴 사이의 높이와 진동수는 본 연구에 사용된 마이크로스피커 샘플에서의 높이 (=1mm)와 공명진동수 (=623Hz)로 사용하였다.

실제적인 마이크로스피커의 샘플들로부터 실험적으로 측정되는 임피던스는 전체 음향임피던스 (Z_{total})처럼 규정할 수 있다. 이는 마이크로스피커 유닛에 의한 음향임피던스 (Z_{unit})와 그릴의 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})들의 합으로 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$Z_{total} = Z_{unit} + Z_{hole} \quad (7)$$

그릴의 구멍크기에 따른 전체 음향임피던스 (Z_{total})와 그릴의 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole}) 특성들에 대한 규격화 (normalization)된 이론적 결과들을 (그림7)에 나타내었다. 구멍의 크기가 매우 작을 경우에 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})가 매우 높게 나타나는 것을 (그림7)에서 볼 수 있다. 그러나 그릴구멍의 크기가 점차적

으로 증가하게 됨에 따라서 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})는 지수함수적으로 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 구멍의 면적이 그릴의 전체면적에 대해 10%와 20%에 이르게 되었을 경우의 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})는 구멍이 매우 작을 경우에 대한 음향임피던스 (Z_{hole})에 불과 5%와 2% 정도의 수준에 머무르게 된다. 그리고 구멍의 크기가 그릴면적의 20%를 넘었을 경우의 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})는 거의 0Ω에 가까워진다. 이러한 결과는 그릴의 구멍이 전체면적의 10% 또는 20% 이상이 되면, 그릴의 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})가 5% 또는 2% 이하로 매우 작아지는 것을 의미한다. 따라서 마이크로스피커의 전면에 설치된 그릴의 구멍크기가 어느 정도 이상이 되면, 마이크로스피커의 음향특성에 전반적으로 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

그릴의 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})는 마이크로스피커 유닛에 의한 음향임피던스 (Z_{unit})와 서로 반대방향의 부호(-)를 갖게 될 것이다. 그리고 유닛에 대한 어떤 조건도 변하지 않는다고 가정하게 되면, 특정한 주파수에서의 마이크로스피커 유닛에 의한 음향임피던스 (Z_{unit})는 대체로 일정하다고 말할 수 있다. 따라서 유닛에 의한 음향임피던스 (Z_{unit})를 1이라고 가정하게 되면 (식7)은 아래와 같이 다시 쓸 수 있게 된다.

$$Z_{total} = 1 - Z_{hole} \quad (8)$$

(식8)에 의해 이론적으로 얻어진 전체 음향임피던스 (Z_{total})에 대한 결과가 (그림7)에 나타나고 있다. 이는 그릴의 구멍에 의한 음향임피던스 (Z_{hole})의 특성과 정반대로 나타나고 있음을 볼 수 있다. 다시 말하면, 구멍의 크기가 커질수록 전체 음향임피던스의 변화가 감소하게 된

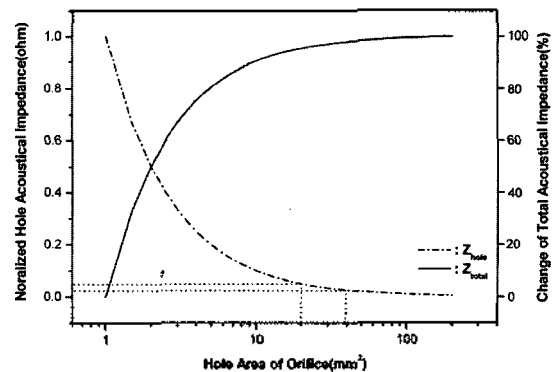


그림 7. 올피스 구멍의 크기에 따른 음향임피던스의 이론적 특성
Fig. 7. Theoretical acoustic impedance for the orifice as a function of hole area.

다. 이는 그릴의 구멍이 커질수록 구멍에 의한 음향임피던스가 전체 음향임피던스에 주는 영향이 매우 작아지기 때문일 것이다. 특히 구멍의 크기가 그릴의 20% 이상이 되면, 전체 음향임피던스의 변화가 매우 감소하여 큰 차이가 나타나지 않게 된다. 이는 마이크로스피커의 음향 특성이 그릴의 존재에 의해 영향을 거의 받지 않는 것을 의미한다.

마이크로스피커 샘플들로부터 실험적으로 측정된 전체 음향임피던스 데이터들을 (그림8)에 나타내었다. 이때 (그림8)에서 나타나고 있는 전체 음향임피던스 값들은 각각 4개씩 제작된 마이크로스피커 샘플들로부터 측정된 평균값이다. 두 가지 종류의 그릴에 대한 전체 음향임피던스의 전반적인 특성들을 살펴보면, 서로간에 큰 차이가 없음을 쉽게 알 수 있다. 다시 말하면, 구멍의 크기가 지속적으로 감소하게 되면, 그릴이 없는 상태에서의 전체 음향임피던스 값으로부터 변화되는 정도가 점차적으로 커지는 현상이 이들 모두에서 동일하게 나타나고 있다 (그림8). 그릴구멍의 면적이 50mm²에서 200mm²

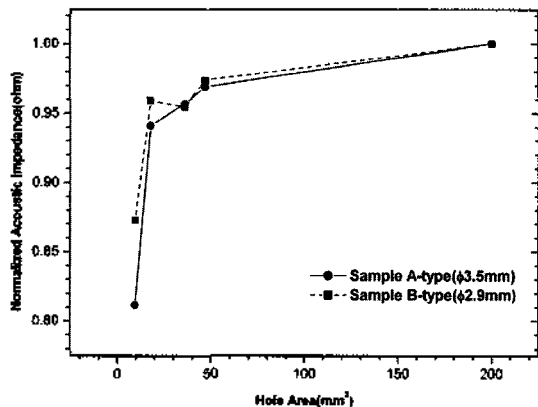


그림 8. 두 가지 그릴형태에 따른 실험적 음향임피던스 특성
Fig. 8. The experimental acoustic impedance curves of two sample types.

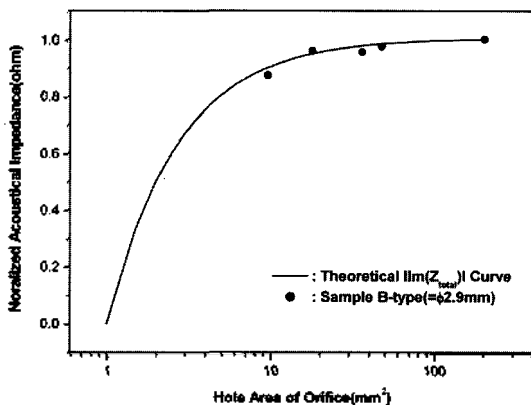


그림 9. 실험과 이론적 음향임피던스 특성의 비교
Fig. 9. The comparison between the experimental data and theoretical curve.

사이인 경우에 대한 전체 음향임피던스는 구멍면적이 큰 폭으로 감소된다고 하여도 매우 서서히 감소하는 특성을 보여준다. 즉 구멍의 면적이 그릴의 전체면 (=200mm²)에 대해 25%인 50mm²까지 감소된다고 하여도 전체 음향임피던스는 약 3%만이 변화되는 것으로 나타나고 있다. 그러나 구멍의 면적이 25%이하로 지속적으로 감소하게 되면, 전체 음향임피던스 값에 대한 변화가 지수함수적으로 매우 커지는 것을 알 수 있었다.

(그림9)는 (그림7)에서 이론적으로 구해진 전체 음향임피던스 (Z_{total})와 (그림8)의 B-type ($\phi 2.9\text{mm}$)에 대해 실험적으로 측정된 전체 음향임피던스 특성들의 비교를 보여주고 있다. 이들의 특성을 살펴보면, 이론적인 예측과 실험적으로 측정된 데이터들이 매우 잘 일치하고 있음을 쉽게 알 수 있다. 이러한 결과는 마이크로스피커의 그릴에 있는 구멍들을 열린 짧은 길이의 파이프시스템에 일종인 율피스처럼 음향학적으로 해석이 가능함을 보여주는 것이라 할 수 있다. 뿐만 아니라, 그릴의 구멍이 작을수록 구멍에 의한 음향임피던스가 커져서 그릴이 없는 상태에 비하여 전체 음향임피던스의 변화가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

V. 결론

마이크로스피커의 전면부에는 진동판을 보호하기 위하여 얇은 금속판으로 제작된 그릴을 사용하게 된다. 이 그릴에는 마이크로스피커의 유닛으로부터 발생된 소리가 잘 통과할 수 있도록 구멍이 뚫려있다. 이 구멍들의 크기가 작을수록 구멍에 의한 음향임피던스가 커져서 마이크로스피커의 전체 음향임피던스에 미치는 영향이 커지는 것을 알 수 있었다. 이는 구멍의 크기가 작을수록 마이크로스피커 유닛으로부터 발생된 음향특성이 그릴로 인하여 크게 변화될 수 있음을 의미한다. 이러한 구멍들에 대해 이론적으로 음향학적인 해석을 열린 짧은 길이를 갖는 파이프시스템의 일종인 율피스처럼 취급할 수 있었다.

감사의 글

본 연구과제는 2005년도 산업자원부의 지역협력연구센터육성사업과 중기거점개발사업에 의해 연구되었습니다.

참고 문헌

1. 이한량, 오세진, 윤석왕, "스피커 댐퍼의 음향방사," 한국음향학회 춘계학술 발표대회, 127-130, 2004.
2. 장경일, 이한량, 오세진, 윤석왕, "마이크로스피커 그리프의 기공률에 따른 음향특성," Proc. 한국음향학회 추계학술발표대회, 3-6, 2005.
3. W. Klippel, "Assessment of Voice-Coil Peak Displacement X_{max} ," J. of the Audio Eng. Soc., 51(5), 307-323, 2003.
4. B. E. Anderson and T. W. Leishman, "An Acoustical Measurement Method for the Derivation of Loudspeaker Parameters," Proc. AES 115th Convention, 1-13, New York, 2003.
5. M.R. Gander, "Moving-Coil Loudspeaker Topology as an Indicator of Linear Excursion Capability," Proc. AES 64th Convention, 204-220, New York, 1979.
6. 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.
7. 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.
8. D. T. Blackstock, Fundamentals of physical acoustics (Wiley-Interscience, New York, 2000), Chap. 4, 153-170.
9. L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens and J. V. Sanders, Fundamentals of Acoustics (John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000), Chap. 10, 284-286.

저자 약력

• 오 세 진 (Sei-Jin Oh)

1981년 : 성균관대학교 이과대학 입학
 1985년 : 성균관대학교 물리학과 졸업
 1991년 : 미국, Old Dominion University (물리학과) 입학
 1996년 : 미국, Old Dominion University (물리학과) 이학석사
 1997년 : 미국, Old Dominion University (물리학과) 졸업, 이학박사
 1998년~2000년: 포항공과대학교, 재료금속공학과 Post-doctor
 2000년~현재: 주성대학교 음향공학과 교수