

## ITE 타입의 소음 차폐기용 소형 음향 필터의 설계

이윤정 · 김필운 · 장용민\* · 이상훈\*\* · 조진호\*\*\* · 김명남\*\*\*\*†

### Design of Small Acoustic Filter for ITE Type Noise Protector

Yun Jung Lee, Pil Un Kim, Yongmin Chang\*, Sang Heun Lee\*\*,  
Jin Ho Cho\*\*\*, and Myoung Nam Kim\*\*\*\*†

#### Abstract

The prevention of noise induced hearing loss is very important, because there is no treatment for it. There are some kinds of devices for hearing protection, and those are effective in preventing a noise induced hearing loss. However, people often resist the use of hearing protection devices because it is difficult to have a conversation. Therefore, a hearing protection device is must effective not only in hearing protection but also in preserving communication ability. In this paper, we proposed a small acoustic filter for ITE type noise protector to solving the problem about the difficulties of conversation. That is applied a principle of acoustic filters that have been used for a muffler of automobiles, guns, and etc. To find out the sound transmission characteristic at the eardrum, we regarded an acoustic filter and external ear canal as a coupled system. So, we simulated the coupled system with OrCad, and experimented with a designed acoustic filter and a 2 cc coupler which has the same transmission characteristic as the external ear canal has. We confirmed that it is possible to adjustment acoustic transmission characteristics through simulation of electrical model for acoustic filter and external ear and experiments using designed small acoustic filters.

**Key Words :** noise induced hearing loss, noise protection, acoustic filter

#### 1. 서 론

소음은 공기오염, 수질오염과 함께 가장 심각한 환경문제 중의 하나로서 소음에 의한 피해는 지속적으로 일어나지만 직접적인 피해의 결과가 즉각적으로 나타나지 않기 때문에 쉽게 무시되어진다. 소음에 의해 나타나는 인체의 현상으로 흥분, 집중력 저하, 심장박동의 상승, 소화불량, 수면장애, 두통, 청각장애 등이 있으며 이러한 소음은 정신적 긴장에서 신체적 불균일로 파급되어 지기도 한다<sup>[1]</sup>. 일시적이고 강한 소음에 노출되어 발생하는 일시성 난청(TTS : temporary threshold

shift)은 소음이 소멸된 후 일정시간이 경과함에 따라 자연적으로 회복되지만, 지속적이고 강한 소음에 노출되면 영구성 난청(PTS : permanent threshold shift)이 되어 회복될 수 없는 상태에 이르게 되며 소음성 난청으로 진행된다<sup>[1]</sup>. 현대 사회에서 소음성 난청은 세계적으로 심각한 직업병으로서 미국의 경우 3천만 명이 이상 소음에 노출되어 있다고 보고되고 있으며<sup>[2]</sup> 우리나라의 직업병 유소견자 중 소음성 난청이 전체의 절반 이상을 차지하고 있다<sup>[3]</sup>. 강한 소음이 발생하는 장소에서 장시간 노출되었을 때 단계적으로 청력이 손상되어 일어나는 소음성 난청은 소음의 특성에 따라 그 정도가 달라질 수 있으며 일단 발생하면 효과적인 치료 방법이 없고 회복이 불가능하므로 예방을 통해서만 줄일 수 있다<sup>[3]</sup>. 따라서 이를 위한 각종 청각보호구는 청각 보호의 관점에서 큰 효과를 보이고 있지만, 사용상에서 많은 불편함이 따른다. 특히, 소음 환경에서 청각 보호구를 착용하였을 때 원활한 의사소통의 어려움과 착용시의 폐쇄감은 청각보호구 착용을 꺼리는 가장 큰 이유가 된다<sup>[2,4,5]</sup>. 그러므로 청각 보호구는 착용자를 소음

경북대학교 대학원 의용생체공학과(Dept. of Medical & Biological Eng., Graduate School, Kyungpook National University)  
\*경북대학교 의과대학 진단방사선과학교실(Dept. of Radiology, School of Medicine, Kyungpook National University)  
\*\*경북대학교 의과대학 이비인후과교실(Dept. of E.N.T., School of Medicine, Kyungpook National University)  
\*\*\*경북대학교 의과대학 의공학교실(Dept. of Biomedical Eng., School of Medicine, Kyungpook National University)

†Corresponding author: kimmn@knu.ac.kr  
(Received : July 30, 2004. Accepted : October 15, 2004)

환경으로부터 보호 할 뿐만 아니라 의사소통, 착용편의성, 미용 효과 등에 문제가 없어야 한다.

본 논문에서는 의사소통의 문제점 해결과 착용의 편의성 개선을 목적으로 하는 ITE(in the ear)형태의 청각보호구에 적용할 수 있는 소형의 음향필터를 설계 및 분석하였다. 이를 위하여 자동차 소음장치나 총 소음장치, 환기통의 소음장치의 설계에 사용되어 왔던 일반적인 음향필터의 이론을 도입하여 소형 필터의 설계에 적용하였다. 대화에 필요한 영역이 100~8,000 Hz 정도이고 대부분의 음성 전력(power)이 1,000 Hz 미만에 분포하며 음성의 명료도가 500~2,000 Hz 미만에서 결정되는 청각 특성과 일반적으로 약 4000 Hz 부근에서 가장 큰 청력손실을 가지는 소음성 난청의 특성 및 외이도(ear canal)의 물리적인 크기를 고려하여 소형의 필터를 설계하였다. 착용시 음향필터 부분이 외이도 입구에 위치하므로 외부의 음향이 고막에 이르는 전달특성을 분석하기 위해서는 필터와 외이도를 하나의 전체 시스템으로 보고 동시에 고려하여야 하기 때문에 설계된 음향필터와 외이도의 결합적인 전달 특성에 관한 실험을 수행하였다. 이 실험은 먼저, 필터와 외이도의 전기적인 모델을 이용하여 시뮬레이션하였고 그런 다음, 설계된 음향필터를 제작하여 실제적인 실험결과를 도출하였다. 실험 결과, 시뮬레이션 결과와 실제 실험 결과의 추세가 잘 일치함을 알 수 있었으며 소형의 음향필터에 대한 설계 조건에 따라 음향 전달특성을 조절할 수 있음을 확인하였다.

## 2. 소음 차폐용 소형 음향필터

소음차폐용 소형 음향필터는 음파가 전달되는 파이프의 단면적의 변화에 따라 음파의 전달 특성이 달라지게 하는 음향필터의 원리를 이용한 청각보호구의 중요한 부분으로서 대화에 필요한 음성대역을 전달대역으로 설정하여 소음으로 인한 난청예방과 동시에 청각보호구를 사용함으로써 나타날 수 있는 대화 장애를 해결할 수 있다. 청각 보호구에는 크게 일반적인 이어폰과 유사한 귓속(ITE)형과 귀바퀴를 모두 덮는 헤드폰 형태의 귀덮개(earmuff)형으로 분류되며, 그 중에서 착용자의 편의성, 미용효과, 휴대성, 대화 등의 측면에서 ITE형이 더욱 효과적이므로 귀 속에 삽입할 수 있는 형태의 음향필터를 설계하였다. 그림 1은 귀 속에 삽입한 음향필터를 통하여 소리가 고막으로 전달되는 경로를 나타낸 것이고, 그림 2는 음향필터를 장착하여 완성된 ITE형 청각 보호구의 가상도를 보여준다.

음향 필터의 통과대역을 결정하는 데 있어서 중요한

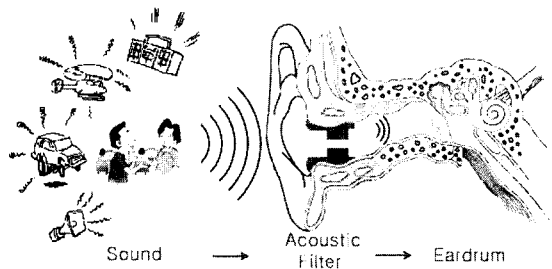


그림 1. 소형 음향필터를 통한 소리의 전달 경로

Fig. 1. Transmission path of sound through the small acoustic filter.

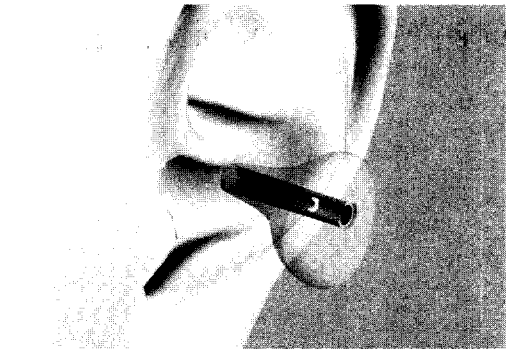


그림 2. 소형 음향필터를 이용한 ITE형 청각보호구의 가상도

Fig. 2. Virtual ITE type hearing protector using a small acoustic filter.

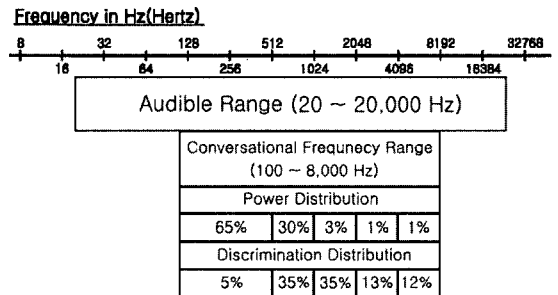


그림 3. 인간의 가청 음역과 발화 및 청취 음역<sup>[6]</sup>

Fig. 3. Audible, conversational, and hearing frequency range of human<sup>[6]</sup>.

가청음역은 그림 3에서 나타난 것처럼 통상 20 Hz부터 20,000 Hz이며, 20대 이후부터 노화와 관련하여 16,000 Hz 정도까지 낮아지게 되고, 이 중 의사소통에 관여하는 회화음역은 100 Hz부터 8,000 Hz까지로 알려지고 있다. 그러나 회화의 크기를 인지하는 데는 125 Hz부터 1,000 Hz 사이의 주파수 범위가 95% 정도 기여한다. 회화의 의미 파악에서 1,000 Hz 이하의 주파수 범

위는 단지 약 5% 정도만 기여하며 500 Hz부터 2,000 Hz 사이의 주파수 범위가 약 70%의 기여도를 갖는다. 그리고, 나머지 25%는 2,000 Hz부터 8,000 Hz 사이의 주파수 범위에 관련되어 있다<sup>[6]</sup>. 이러한 회화 음의 특성으로부터 대화의 문제점을 해결할 수 있는 소형의 음향필터를 설계하는데 있어서 고려해야할 전달대역이 2,000 Hz 미만임을 알 수 있다.

### 3. 소형 음향필터의 설계

음관의 모양이나 단면적의 급격한 변화로 인해 음관을 지나는 음향 에너지가 감쇄되는 것이 음향필터의 기초이다. 음관 형태의 급격한 변화가 시작되는 부분의 입력 임피던스에 따라서 시스템은 저역통과, 고역통과, 대역통과 필터로 동작한다. 소형 음향필터에 적용할 저역통과필터는 단면적을 급격하게 감소하거나 증가하는 두 가지의 형태가 있다<sup>[7,8]</sup>.

#### 3.1. 경계면을 통과하는 평면파 해석

그림 4에서 보이는 것처럼 일정한 두께  $l$ 의 layer가 두 개의 다른 유체 사이에 있다고 가정하고 각 유체의 특성 임피던스를 각각  $\rho_1c_1, \rho_2c_2, \rho_3c_3$ 로 두면 각 부분에서의 음압은 다음과 같다<sup>[8]</sup>.  $p_{i1}, p_{i2}$ 는 각각 매질 I, II에 입사하는 음압을,  $p_{r1}, p_{r2}$ 는 각각 매질 I, II에서 반사되는 음압을, 매질 III에  $p_{t3}$ 는 전달되는 음압을 나타낸다.  $A_1, A_2$ 는 각각 매질 I, II에 입사되는 음파의 진폭을 나타내고,  $B_1, B_2$ 는 각각 매질 I, II에서 반사되는 음파의 진폭을 나타내고,  $A_3$ 는 매질 III로 전달되는 음파의 진폭을 나타낸다.

$$p_{i1} = A_1 e^{j(\omega t - k_1 x)} \quad (1)$$

$$p_{r1} = B_1 e^{j(\omega t + k_1 x)} \quad (2)$$

$$p_{i2} = A_2 e^{j(\omega t - k_2 x)} \quad (3)$$

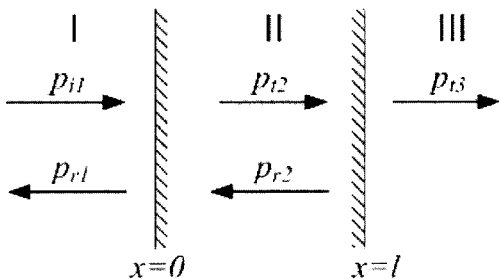


그림 4. 두 개의 경계면을 투과하는 평면파<sup>[8]</sup>  
Fig. 4. Transmission through a layer<sup>[8]</sup>.

$$p_{r2} = B_2 e^{j(\omega t + k_2 x)} \quad (4)$$

$$p_{t3} = A_3 e^{j(\omega t - k_3(x-l))} \quad (5)$$

여기서  $\rho$ 는 유체의 밀도를,  $c$ 는 음속을 나타내며,  $k$ 는 파수(wave number)이다.

$x=0$ 에서 음압 연속의 경계조건에 의하여,

$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2 \quad (6)$$

이며 입자속도의 연속성에 의하여,

$$\rho_2 c_2 (A_1 - B_1) = \rho_1 c_1 (A_2 - B_2) \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 비슷하게  $x=l$ 에서 음압 연속 조건에 의하여,

$$A_2 e^{-jk_2 l} + B_2 e^{jk_2 l} = A_3 \quad (8)$$

이며 입자 속도의 연속성에 의하여,

$$\rho_3 c_3 (A_2 e^{-jk_2 l} - B_2 e^{jk_2 l}) = \rho_2 c_2 A_3 \quad (9)$$

로 표현된다. 식(6)과 식(7)로부터  $B_1$ 을 소거하면,

$$A_1 = \frac{(\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1) A_2 + (\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1) B_2}{2 \rho_2 c_2} \quad (10)$$

이고, 식(8)과 식(9)로부터,

$$A_2 = \frac{(\rho_3 c_3 + \rho_2 c_2)}{2 \rho_3 c_2} A_3 e^{jk_2 l} \quad (11)$$

$$B_2 = \frac{(\rho_3 c_3 - \rho_2 c_2)}{2 \rho_3 c_3} A_3 e^{-jk_2 l} \quad (12)$$

이므로, 식(11)과 식(12)을 식(10)에 대입하면, 입사 파와 전달된 파의 음압진폭의 비는 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} \frac{A_1}{A_3} &= \frac{(\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1)(\rho_3 c_3 + \rho_2 c_2) e^{jk_2 l}}{4 \rho_3 c_3 \rho_2 c_2} \\ &\quad + \frac{(\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1)(\rho_3 c_3 + \rho_2 c_2) e^{-jk_2 l}}{4 \rho_3 c_3 \rho_2 c_2} \\ &= \frac{(\rho_3 c_3 + \rho_1 c_1) \cos k_2 l}{2 \rho_3 c_3} + j \frac{(\rho_2^2 c_2^2 + \rho_3 c_3 \rho_1 c_1) \sin k_2 l}{2 \rho_3 c_3 \rho_2 c_2} \end{aligned} \quad (13)$$

음향 에너지 전달 계수,  $T_\pi$ 는

$$T_\pi = \frac{\rho_3^2 c_3^2 / 2 \rho_3 c_3}{\rho_1^2 c_1^2 / 2 \rho_1 c_1} = \frac{\rho_1 c_1 A_3^2}{\rho_3 c_3 A_1^2} \quad (14)$$

이므로 만약 I, III이 같은 매질이라면 음향 에너지 전달 계수  $T_\pi$ 는

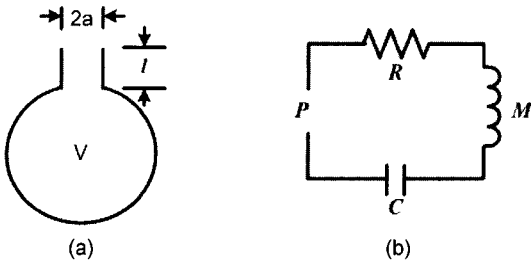


그림 5. (a) 헬름홀츠 공명기, (b) 헬름홀츠 공명기의 전기 모델<sup>[8]</sup>  
Fig. 5. (a) A Helmholtz resonator and (b) Electrical model of Helmholtz resonator<sup>[8]</sup>.

$$T_{\pi} = \left| \frac{A_3}{A_1} \right|^2 = \frac{4}{4\cos^2 k_2 l + \left( \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} + \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} \right)^2 \sin^2 k_2 l} \quad (15)$$

로 된다<sup>[8]</sup>.

3.2. 음향과 전기의 상사 관계

단순한 음향 시스템은 전기 시스템으로 전환시킬 수 있으며, 음향계와 전기계의 상호관계는 그림 5에 보이는 것과 같은 헬름홀츠 공명기(Helmholtz resonator)로부터 구할 수 있다. 헬름홀츠 공명기의 음향계의 방정식은 식(16)과 같이 RLC 직렬회로의 방정식의 형태로 나타낼 수 있다<sup>[7,8]</sup>.

$$M \frac{d^2 X}{dt^2} + R \frac{dX}{dt} + \frac{X}{C} = P e^{j\omega t} \quad (16)$$

음향계와 전기계의 상사관계를 그림 6과 표 1에서 보였다. 여기서  $l$ 는 공명기의 출구에서 기체가 압축 신장함에 따라 나타나는  $l$ 의 유효길이를 나타내고  $S$ 는 출구의 단면적을,  $V$ 는 공명기의 부피를 나타낸다. 또,  $X$ 는 음향계 내 유체의 체적변위를 나타낸다. 본 논문에서는 설계된 소형 음향필터와 외이도의 특성을 분석하기 위하여 이러한 상사관계를 이용하여 이들 음향계를 전기계로 변환하여 시뮬레이션하였다.

3.3. 소형 음향 필터의 설계

가. Type I

단면적이  $S_1$ 인 음관에 길이  $l$ , 단면적으로 넓어지는 부분을 삽입하여 저역통과 특성을 갖는 음향 필터를 설계할 수 있다.  $kl \ll 1$ 을 만족하는 저주파 영역에서 단면적이 넓어지는 것은 음향 컴플라이언스(compli-

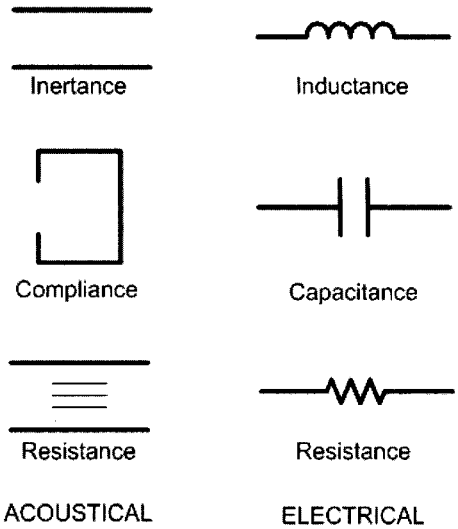


그림 6. 음향계와 전기계의 상사점<sup>[7,8]</sup>  
Fig. 6. Acoustical and electrical analogues<sup>[7,8]</sup>.

표 1. 음향계와 전기계의 상사관계<sup>[7,8]</sup>

Table 1. Analogous relation between acoustic and electric<sup>[7,8]</sup>

Electric	Acoustic
Inductance $L$	$\rho_0 l / S$
Capacitance $C$	$\rho_0 c^2 V$
Resistance $R$	$\rho_0 c k^2 / 2\pi$

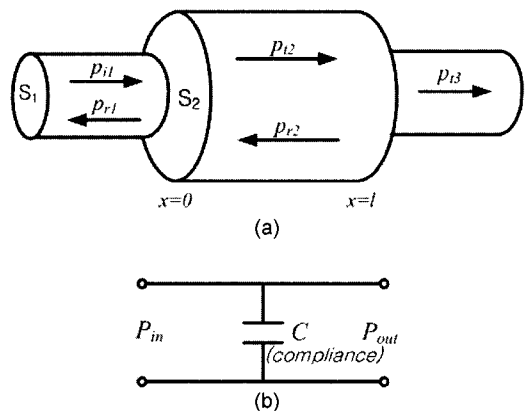


그림 7. (a) 음관이 넓어지는 형태의 음향필터, (b) (a)의 전기적 상사모델<sup>[7,8]</sup>

Fig. 7. (a) Acoustic filter including an enlarged section of pipe and (b) Electrical Analogue of (a)<sup>[7,8]</sup>.

ance)를 포함하는 것과 같이 보인다( $k = \omega/c$ )<sup>[7,8]</sup>.

그림 7의 음향 필터의 구조상에서 단면적이 급격히 변화하는 경계에서의 체적속도(volume velocity)  $U$ 는 연속이므로,

$$U_{i1} + U_{r1} = U_{i2} + U_{r2} \quad (17)$$

이다. 즉,

$$\frac{p_{i1}/p_{r1}}{\rho_1 c_1/S_1} = \frac{p_{i2}/p_{r2}}{\rho_2 c_2/S_2} \quad (18)$$

이므로, 매질의 특성 임피던스의 비는 각 부분의 면적 비로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} = \frac{S_2 p_{i2} + p_{r2}}{S_1 p_{i1} + p_{r2}} = \frac{S_2}{S_1} \quad (19)$$

따라서, 식(15)로부터, 음향 필터의 전달 특성을 구할 수 있다.

$$T = \frac{4}{4\cos^2 kl + \left(\frac{S_2}{S_1} + \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \sin^2 kl} \quad (20)$$

만약,  $kl \ll 1$  이라면  $\frac{S_2}{S_1} + \frac{S_1}{S_2} \approx \frac{S_2}{S_1}$ ,  $\cos^2 kl \approx 1$ , 그리고  $\sin^2 kl \approx (kl)^2$  이므로, 전달특성은

$$T = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{2} \frac{S_2}{S_1} kl\right)^2} \quad (21)$$

이다.<sup>17,81</sup>

나. Type II

저역통과 특성을 갖는 음향 필터의 다른 형태로는 단면적이 좁아지는 형태이다. 이것은 음관에 직렬로 음향 이너턴스(inertia)가 연결된 것과 같다. 따라서, 이러한 형태의 음향 필터의 전달계수는 식(20)에서의 결과와 동일하다.<sup>17,81</sup>

### 4. 음향 필터의 전기적 모델링

#### 4.1. 외이모델

그림 9에 보이는 외이모델은 외이를 컷바퀴와 갑개 그리고 외이도로 구분하여 각각을 전기 음향적인 모델로 구성한 것이다. 외부의 소리가 귀로 방사될 경우 머리카나 나머지 흉부에 의한 장애물구조를 반경  $a_s$ 를 가지고 있는 구의 형태로 가정하였을 때,  $L_h, R_h$  등은 소리의 회절을 나타내며 다음과 같이 표현된다.

$$L_h = \frac{0.5 \rho_a}{\pi a_s} \quad (22)$$

$$R_h = \frac{\rho_a c}{\pi a_s^2} \quad (23)$$

여기서  $\rho_a$ 는 공기밀도를  $c$ 는 소리의 속도를 나타내며, 병렬로 연결된  $L, R$ 은 음향방사 임피던스를 나타낸다.

$$L_r = \frac{0.7 \rho_a}{\pi a_{ch}} \quad (24)$$

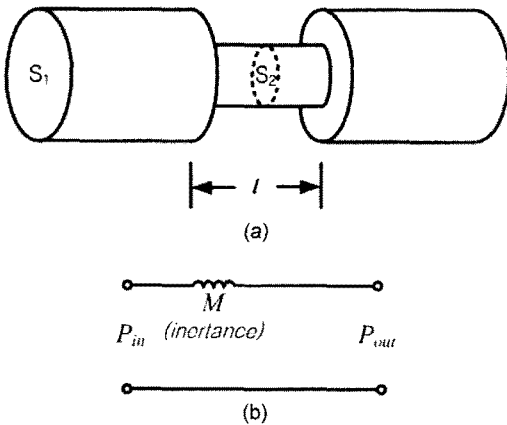


그림 8. (a) 음관의 단면적이 좁아진 형태의 음향필터, (b) (a)의 전기적 상사모델<sup>17,81</sup>

Fig. 8. (a) Acoustic filter including a constricted section of a pipe and (b) Electrical analogue of (a)<sup>17,81</sup>.

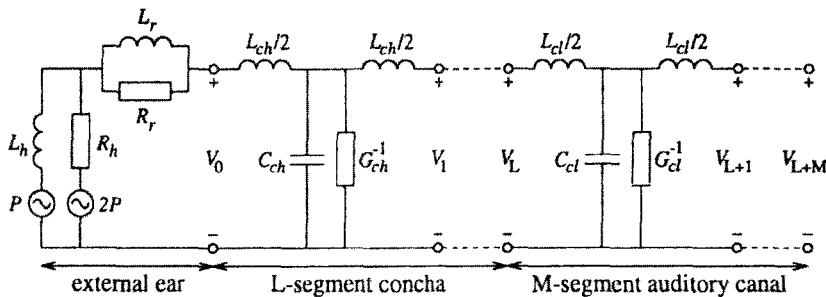


그림 9. 외이의 전기모델<sup>19)</sup>  
Fig. 9. Electrical model of outer ear<sup>19)</sup>.

$$R_r = \frac{\rho_a C}{\pi a_{ch}^2} \quad (25)$$

외이강은 원통형으로 표현할 수 있고  $a_{ch}$ 의 반경을 가지는 음향공진기와 같으며,  $l_{ch}$ 의 길이를 가지고 있다. 회로망 성분  $L_{ch}$ 와  $C_{ch}$ 는 음향질량과 탄성성분을 나타낸다.  $G_{ch}$ 의 경우는 에너지손실에 관련된 값을 점성마찰, 열전도, 막의 진동 등을 나타내는 값이다. 외이의 기하학적 구조는 불규칙적인 음향 도파관의 모양을 나타내지만, 주파수 범위 8,000 Hz까지는 반경  $a_{ch}$ , 길이  $l_d$ 를 가지는 곧은 관으로 근사할 수 있다.

$$L_{ch} = \frac{\rho_a}{\pi a_{ch}^2} \Delta x \quad (26)$$

$$L_{cl} = \frac{\rho_a}{\pi a_{cl}^2} \Delta x \quad (27)$$

$$C_{ch} = \frac{\pi a_{ch}^2}{\rho_a C^2} \Delta x \quad (28)$$

$$C_{cl} = \frac{\pi a_{cl}^2}{\rho_a C^2} \Delta x \quad (29)$$

$$G_{ch} = \frac{2a_{ch}}{Z_{ch}} \Delta x \quad (30)$$

$$G_{cl} = \frac{2a_{cl}}{Z_{cl}} \Delta x \quad (31)$$

$\Delta x = l_{ch}/L$ 가 각 분절의 길이일 때,  $a_{cl}$ 은 각 단위 길이 당 청각로의 효과적인 감쇠상수이다.  $Z_{ch} = \sqrt{L_{ch}/C_{ch}}$ 은 이 선에서 특성화된 임피던스이며 이도(acoustic meatus)의 끝에 나타난 전압  $V_{L+M}$ 은 고막에 들어가는 음압과 동일하다<sup>9,10,11</sup>.

4.2. 음향필터와 외이의 전기적 모델의 결합

음향필터를 전기적인 모델로 나타낼 수 있음을 이용하여 필터를 통과하여 고막까지 이르는 경로를 그림 10과 같은 하나의 시스템으로 고려하였다. 외이에 삽입된 소형 음향필터를 통하여 소리가 전달되므로, 그림 9

에서 보인 외이모델에서 컷바퀴 부분의 모델을 제거하고 소형 음향필터의 전기적 모델로 대체하였다.

5. 실험 및 결과

5.1. 소형 음향필터와 외이의 전기적 모델링 시뮬레이션

음향필터의 구조적인 변화를 전기시스템으로 변환시킬 수 있음을 이용하여, 필터와 외이의 전기적 모델링을 통해 고막에 도달하는 전달특성을 OrCad 9.2 버전을 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 외이모델은 1994년 C. Giguere와 C. W. Philip이 제안한 모델을 사용하였다. 실험에 적용할 필터의 형태는 필터를 제작할 때, Type I을 사용하였을 경우 외이도와이 면적차이로 인해 또 다른 필터가 삽입된 것과 같은 효과를 보일 것으로 예상되어, 외이에 삽입하였을 때 외이도와의 면적차이를 줄이기 위하여 Type II를 사용하였다. 표 1에서 보인 음향계와 전자계의 상사관계에 대한 수식에 따라 이너턴스값을 결정하고 변화시키면서 시뮬레이션하였다.

그림 11은 그림 10에서 보인 전기적 모델의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 필터의 특성을 나타내는 이너턴스 값을 10 mH에서 120 mH까지 9단계로 거쳐 변화시키면서 얻은 시뮬레이션 결과로부터 필터와 외이의 특성을 이용하면 고막으로 전달되는 소리의 전달 대역을 2,000 Hz 미만으로 조절할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 필터의 특성을 변화시키는 것을 통하여 음성 전력(power)의 대부분을 차지하고 있는 500~2,000 Hz 대역 중 주위 환경에 따라 필요한 전달대역으로 필터의 특성을 바꾸어줄 수 있음을 알 수 있다.

5.2. 설계한 소형 음향필터의 특성 실험

설계 및 제작한 소형 음향 필터의 주파수 특성을 측정 및 분석하기 위하여 그림 12에서와 같은 구도로 실험을 수행하였다. 측정은 Audio precision사의 System

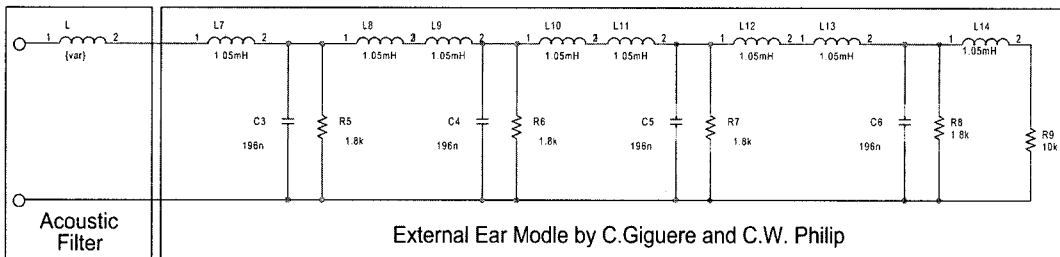


그림 10. 소형 음향필터와 외이의 전기 모델  
Fig. 10. Electrical model of small acoustic filter and external ear.

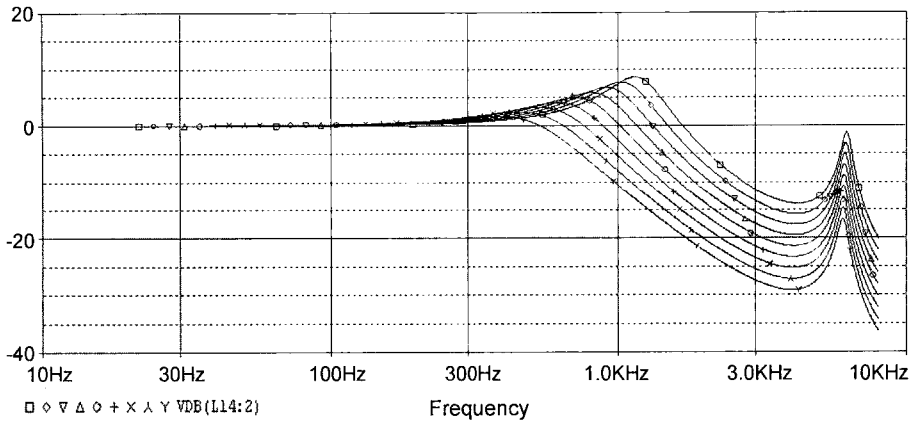


그림 11. 전기 모델의 전달 특성  
Fig. 11. The transfer characteristic of electrical model.

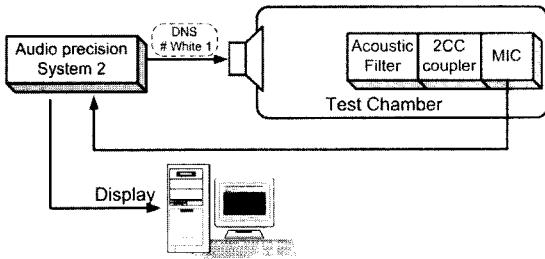


그림 12. 실험 구성도  
Fig. 12. Experimental composition.

2를 이용하였고, 측정용 마이크는 Audio precision사의 MMK-1 system으로 주파수 응답(frequency response)이 5~40,000 Hz이다. 실험에 사용된 스피커는 (주)삼미 스피커사의 12인치의 low frequency loud 스피커(모델명 : CX-12AW200G)이며 이 스피커는 55~15,000 Hz 영역에서 주파수 응답이 평탄한 특성을 가진다. 스피커를 통해 Audio precision에서 제공하는 백색(white)신호를 보내어 음향필터와 커플러(coupler)를 통과한 소리의 특성을 측정하였다. 측정 중 외부 소리의 차단을 위해 챔버를 제작하고, 필터와 마이크 사이에 2 cc 커플러를 부착하였다. 2 cc 커플러는 ANSI 표준규정을 따르며, 2 cc 커플러를 통해 외이의 특성을 포함한 음향전달특성을 측정하였다.

실험에 사용한 소형 음향필터는 2 cc 커플러의 입구 직경이 6 mm이므로, 단면적이 인 부분의 직경은 6 mm로 고정시키고, 단면적의 변화에 따른 특성을 측정하기 위해 인 부분의 직경을 1 mm, 1.2 mm, 1.5 mm 바꾸어서 실험하였다. 또, 단면적이 좁아지는 부분의 길이에 따른 특성을 측정하기 위해  $l$ 을 2 mm, 6 mm, 12 mm

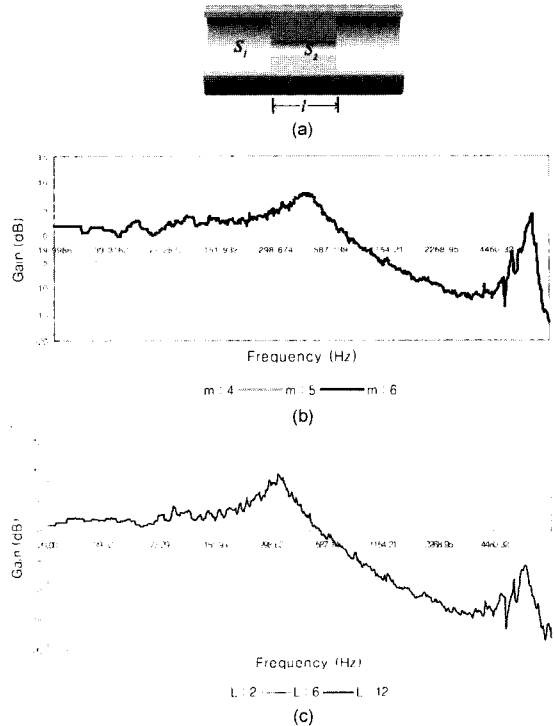


그림 13. (a) 실험에 사용한 필터의 형태 (b)  $l = 2$  mm일 때,  $m$ 의 변화에 따른 실험결과( $m = S_1/S_2$ ) (c)  $m = 4$ 일 때,  $l$ 의 변화에 따른 실험결과

Fig. 13. (a) A shape of a small acoustic filter, (b) When  $l = 2$  mm, experimental result from changes of  $m$  ( $m = S_1/S_2$ ), and (c) When  $m = 4$ , experimental result from changes of  $l$ .

로 바꾸어가며 실험하였다.

그림 13은 실험에 사용한 필터의 형태와 실험 결과

를 나타내고 있다. 그림 13의 (b)로부터 일정한 길이일 때, 단면적의 변화가 클수록 전달대역이 좁아지는 것을 알 수 있다. 여기서  $m$ 은 단면적 변화의 비를 나타내는 것으로  $S_1/S_2$ 이다. 또, 그림 13의 (c)로부터 단면적의 변화가 일정할 때, 길이  $l$ 이 길어질수록, 전달대역이 좁아진다는 것을 알 수 있다. 그래프에서 보이는 것처럼 설계한 소형 음향필터는 음성의 이해도를 높이는데 중요한 2,000 Hz 미만의 전달대역을 가진다. 이 결과들로부터 전기적 시뮬레이션에서 인덕턴스의 값을 변화 시키면서 나타났던 전달대역의 변화를 소형 음향필터의 단면적변화율과 길이의 변화를 이용해 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 청각보호구들이 가지는 의사소통의 불편함을 해결하기 위하여 ITE형 청각보호구에 적용할 수 있는 소형 음향필터를 제안하였다. 청각보호구가 외이에 삽입되는 것을 고려하여 외이의 특성과 필터를 하나의 시스템으로 간주한 전기적 모델링과 실험을 통해 설계한 소형 음향 필터로부터 원하는 전달특성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 청각보호구에 음향필터를 도입함으로써, 청각보호구가 가지는 의사소통의 문제점을 해결할 수 있음을 나타내는 것이다. 의사소통의 문제점을 해결한 청각보호구의 개발로 소음성 난청 예방에 효과가 있을 것으로 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원(02-PJ3-PG6-EV10-0001)에 의하여 이루어진 것임

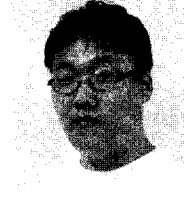
## 참고 문헌

- [1] 이동호, 소음진동학, 교우사, 서울, 2000
- [2] Joao Candido Fernandes, "Effects of Hearing Protector Devices on Speech Intelligibility", *Applied Acoustics*, Vol. 64, Issue 6, pp. 581-590, 2003.
- [3] 김규상, "소음성 난청의 청각학적 평가 (1)", *산업보건*, Vol. 181, pp. 12-21, 2003.
- [4] Jennifer B. Tufts and Tom Frank, "Speech Production in Noise with and without Hearing Protection", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 114, no. 2, pp.1069-1080, 2003.
- [5] A. Sergio S. R. Miguel, "Personal Hearing Protection", *Safety Science*, vol. 23, no. 2/3, pp. 183-184, 1996.
- [6] 허승덕, 김리석, "청각학 Audiology, 2nd Edition", 동아대학교 출판부, 2000.
- [7] Lawrence E. Kinsler *et al.*, "Fundamentals of Acoustics", 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, 1982.
- [8] 차일환, 음향공학개론, 진영사, 서울, 1996.
- [9] C. Gigure and C. W. Philip, "A Computational Model of the Auditory Periphery for Speech and Hearing Research. I. Ascending Path", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 95, no. 1, pp. 331-342, 1994.
- [10] 이규동, "청각 모델을 이용한 이명 재훈련 치료용 잡음 발생기의 설계", 경북대학교, 대구, 2004.
- [11] 이영주외, "이명 현상의 해석을 위한 와우의 전기적 모델", *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 22, no. 1, pp. 91-99, 2001.



이 윤 정

- 2003년 경북대학교 전자전기공학부 졸업 (공학사)
- 2002년 ~ 현재 경북대학교 대학원 의용생체공학과 석사과정
- 주관심분야 : 생체신호처리, 의용전자기기



김 필 운

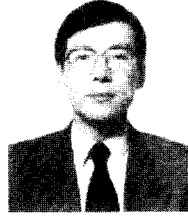
- 2001년 경운대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학사)
- 2003년 경북대학교 대학원 의용생체공학과 졸업(공학석사)
- 2004년 ~ 현재 경북대학교 대학원 의용생체공학과 박사과정
- 주관심분야 : 의학영상처리, 의용전자기기, 생체신호처리





**장 용 민**

- 1985년 고려대 물리학과 졸업(이학사)
- 1987년 고려대 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
- 1994년 노틀담 대학(이학박사)
- 1994년 ~ 1997년 일리노이 대학 BMR(박사후 연구)
- 1997년 ~ 현재 경북대학교 의과대학 진단방사선과학교실 부교수
- 주관심분야 : 방사선 물리학, MRI



**이 상 훈**

- 1973년 경북대학교(의학사)
- 1977년 경북대학교 의학과(의학석사)
- 1986년 전북대학교 의학과(의학박사)
- 1982년 ~ 현재 경북대학교 의대 이비인후과학교실 교수
- 경북대학교병원 이비인후과 과장
- 주관심분야 : 이명, 인공와우이식, 인공중이, 소아난청



**조 진 호**

- 1977년 경북대학교(공학사)
- 1979년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1988년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1986년 ~ 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수
- 경북대학교병원 의공학과장
- 주관심분야 : 생체신호처리, 센서 및 의용전자기기



**김 명 남**

- 1988년 경북대학교(공학사)
- 1990년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1995년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1996년 ~ 현재 경북대학교 의대 의공학 교실 부교수
- 주관심분야 : 생체신호처리시스템, 의학영상처리