

속삭임 통화를 위한 휴대 전화용 마이크로폰 시스템

The microphone system of the cellular phone for privately telephonic communication

최성준* · 문원규** · 이정현***

Choi, Sungjoon*, Moon, Wonkyu** and Lee, Jounghyun***

Key Words : Microphone(마이크로폰), Transmission loss(투과 손실), Reflection and transmission coefficient(반사 및 투과 계수), Absorption coefficient(흡음 계수), Micro-channel array(미세관 배열), Directivity(방향성)

ABSTRACT

The information technology brought us many kinds of conveniences to our life, but it also caused social problems such as privacy interference, unexpected personal information leaks, and noise generation by telephonic talks, etc. In this paper, the microphone system of the cellular phone is developed to prevent these problems caused by progress of information technology. The developed system was designed to detect only acoustic signals from a human being in the presence of various kinds of background noises. A windscreen was designed by use of micro-channels to eliminate the popping noise by the wind from the mouth of a speaker and four microphone array and signal processing techniques are applied to reduce background noise. The impact of the developed system was evaluated by experimental tests. The results show that the system can improve the required functions considerably.

1. 서론

산업 기술이 발달함에 따라 인간에게 풍요로운 것은 물론이고 여러 가지 생활양식에 많은 변화를 가져다 주었다. 원하는 정보의 습득 속도가 불과 몇 년 전과 비교를 하더라도 엄청나게 빨라졌다. 예를 들면 컴퓨터라는 매체를 통하여 인터넷(internet)을 이용할 경우 사용자는 단 몇 번의 마우스(mouse) 클릭을 통해 원하는 정보를 습득할 수 있다. 뿐만 아니라 메일, 화상 전화기와 같은 통신 장비 등을 사용하여 지구 반대편에 있는 사람과 보면서 이야기하고 원하는 정보를 얻을 수 있다. 그러나 정보 통신 기술의 발달이 인간의 생활에 항상 편리함만 제공하는 것은 아니다. 개인 정보의 유출이 그 만큼 쉬워져서 개인의 사생활을 침해하는 것이나 더 크게는 사회 범죄에 이용되는 사례가 있는 실정이기 때문이다. 일례로 휴대 전화는 현재 우리나라 인구의 절반 이상 정도가 소지하고 있어, 시간과 장소를 가리지 않고 정보 교환을 가능하게 해, 국민 생활 양식에 변화를 줄 만큼 편리함을 제공하고 있으나, 공공장소에서 울려대는 벨 소리와 전화 통화 소리로 인한 소음은 사회적인 문제로 인식 될 만큼 그 폐해도 심각하다. 이러한 휴대 전화의 폐해를 방지하기 위해 새

로운 기능을 추가함으로써 사용상의 제약을 가하지 않고 폐해를 일으키는 문제점을 해결하는 방안의 하나로 속삭임 통화를 가능케 하는 마이크로폰 시스템(Private Microphone System)이 고안되었다.

본 논문은 공공장소에서도 자신의 소리를 남에게 들리게 하지 않고 작은 소리로 통화할 수 있게 하는 마이크로폰 시스템 기술 개발을 위한 것이다. 목표 시스템은 현재 사용중인 휴대 전화에 새로운 기능을 부여하는 것으로서, 휴대 전화 사용자의 욕구를 더 많이 충족시켜 주면서도 공공질서에는 전혀 나쁜 영향을 주지 않는 개인적 욕구와 사회적 요구를 동시에 만족시킬 수 있는 시스템을 제작하는 것이다. 더욱이 휴대 전화 사용자가 나날이 늘어나고 있는 추세이기 때문에 이러한 시스템의 개발은 개인의 사생활 보장뿐만 아니라, 전화 통화 예절을 위해 절대적으로 필요한 것이다.

2. 설계 시스템의 개요

우선 시스템이 가져야 될 가장 중요한 기능은 입의 근접 거리에서 발생하는 바람의 영향을 최대한으로 줄이고, 음파만을 감지해야 한다는 것이다. 왜냐하면 입의 근접 부위에서는 아무리 조용하게 이야기를 하더라도 'ㅂ'이나 'ㅍ'과 같은 파열음이 생기고, 이러한 음의 작용으로 입 밖으로 갑작스런 강한 바람이 발생되어 음파와 함께 마이크로폰에 작용하기 때문이다. 그래서 바람은 시스템을 통해서 빠져나가고 음파만이 마이크로폰의 신호로 입력되도록 하기 위해 윈드 스크린(wind screen)을

* 포항공과대학교 기계공학과
E-mail : csjangel@postech.ac.kr
Tel : (054) 279-8217, Fax : (054) 279-5899

** 포항공과대학교

*** iCurie-Lab

미세관 배열 (micro-channel array)로 고려하였고, 마이크로폰은 윈드 스크린의 바깥쪽에 위치하게 하여 바람에 대한 잡음을 최소한으로 하였다.

시스템이 다음으로 갖추어야 할 기능은 음의 집중 효과이다. 바꾸어 말하자면 시스템이 방향성을 가져야 한다는 것이다. 왜냐하면 시스템이 일정한 방향의 음파만을 감지하여 주위의 잡음을 최대한으로 줄여 휴대전화 사용자의 소리만을 시스템의 입력신호로 처리되게 하기 위함이다. 음의 집중 효과를 높이기 위해서는 최소한 2 개 이상의 마이크로폰을 배열하여 사용하여야 한다. 그리하여, 시스템 중심부의 미세관 배열을 고려했을 경우에 대칭이 되게 4 개의 마이크로폰을 사용하여 시스템을 구성함으로써 음원을 집중시키는 효과와 각각의 신호를 합하여 4 배 증폭시킴으로써 아주 작은 소리에도 반응할 수 있게 한다.

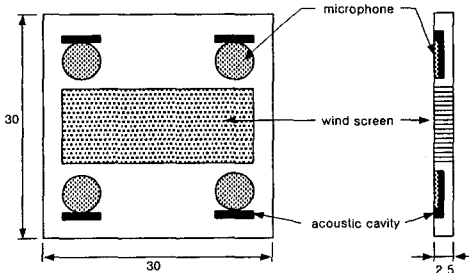


Fig. 1. Schematic of the whole system

설계된 시스템의 도식적인 형태는 Fig. 1 에 나타내었다. 우선 전체적인 크기는 휴대 전화기의 마이크로폰 대신에 사용이 되는 것이므로 크기의 제한이 있다. 왜냐하면 Fig. 2 에서 보면 알 수 있듯이 시스템이 휴대 전화기의 아래 부분에 장착이 되어 휴대 전화기의 크기에 따라 시스템의 크기가 결정되어야 하기 때문이다. 그리하여 전체 시스템의 크기를 최소한의 크기인 가로 세로 30mm 의 정사각형으로 결정하였다.

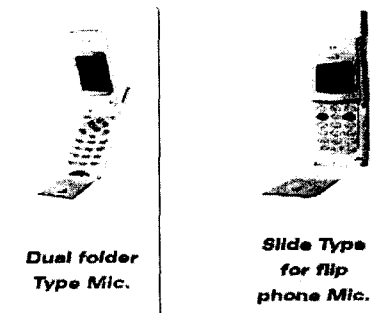


Fig. 2. The examples for the usage of system

시스템의 구성 요소들을 본다면 크게 4 가지로 구성이 된다. Fig. 1 에 나타낸 것과 같이 음파를 전기적인 신호로 변환 시켜주는 마이크로폰 (microphone), 입 앞의 바람의 영향, 즉 팝핑 (popping)이나 시빌란스(sivillance)등을 차단하는 윈드 스크린 (wind screen), 그리고 음파가 유입되어 마이크로폰까지 웨이브 가이드(wave guide)역할을 하는 음향학적 동공(acoustic cavity)이 있고, 마지막으로 4 개의 마이크로폰의 신호를 하나의 신호로 합하는 파워 증폭 회로 (power amplifier circuit)가 시스템 내부에 있다.

3. 설계 및 제작

3.1 윈드 스크린 (Wind Screen)

윈드 스크린은 마이크로폰으로 유입되는 바람의 영향을 최대한으로 줄이고, 타인에게 자기 자신의 말소리를 듣지 못하게 하는 것을 주목적으로 한다. 그래서 윈드 스크린을 미세관의 배열 (micro-channel array)로 제작하여 바람은 직진성 때문에 시스템을 그대로 통과하게 만들고, 음파는 가급적 통과하지 못하게 하여 최대한 음향학적 동공을 통해 유입 되도록 한다. 그리하여 본 시스템을 이용하면 최소한의 소리라도 상대방과 전화 통화를 할 수 있어, 개인의 사생활을 보호할 수 있게 된다.

미세관의 크기를 결정하기 위하여 두 가지 관점에서 고려하였다. 첫째로 미세관내의 유체 유동이다. 우선 바람은 미세관을 통하여 잘 통과해서 마이크로폰의 입력 신호로서 작용하지 말아야 한다. 둘째로는 미세관내의 음파 전달 현상이다. 음파는 미세관을 잘 통과하지 못하게 하여 시스템의 반대편으로 소리가 전달되지 못하게 해야 한다. 우선 유체의 유동에 대해서는 다음의 식을 적용하였다.

$$\Delta p = 32\rho V^2 \frac{L}{D \cdot Re} = 32\rho V \nu \frac{L}{D^2} \quad (1)$$

여기서 미세관의 길이(L)는 2.5mm 로 정하였다. 그래서 공기 압력의 변화량을 미세관의 직경의 함수로서 나타내면 Fig. 3 과 같이 나타난다.

다음으로 미세관내의 음파 유동에 대해서 고려를 하기 위해 흡음 계수를 나타내자면 다음과 같다. ⁽¹⁾⁽²⁾

$$\alpha_s = \frac{2}{Dc} \left(\frac{\eta\omega}{2\rho_0} \right)^{1/2} \left(1 + \frac{\gamma-1}{\sqrt{Pr}} \right) \quad (2)$$

따라서 미세관을 통과시 음압의 변화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = P_0 e^{-\alpha_s L} = P_0 e^{-149.3 \times 10^{-9} \times \frac{\sqrt{f}}{D}} \quad (3)$$

마찬가지로 음압을 미세관의 직경의 함수로 나타내기 위해서 주파수를 1500Hz 로, 미세관내의 입구 압력은 $P_0 = 1$ 로 한다. 나타낸 결과는 Fig.4. 에 나타내었다.

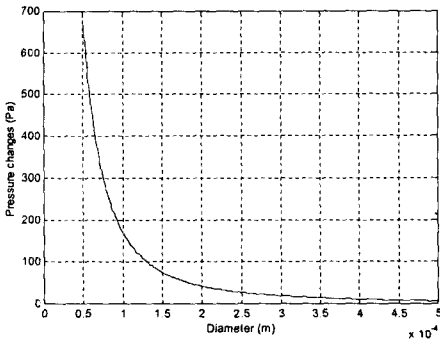


Fig. 3. Pressure changes for variable diameters

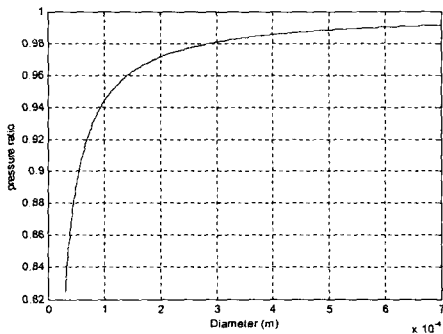


Fig. 4. Acoustic pressure ratio for variable diameters

공기의 유동은 잘 되어야 하므로 Fig. 3 의 경우를 보면 압력의 변화량이 적은 부분의 직경으로 결정하여야 한다. 동시에 Fig. 4 의 음파 전파에 대해서도 고려를 해야 한다. 그래서 Fig. 4 에서 음파가 미세관을 통해 잘 통과하지 못하게 하기 위해서는 음압의 변화량이 많아야 한다. 즉, Fig. 3 에서는 그래프가 급격히 상승하기 전이고, Fig. 4 에서는 급격히 하강하기 전의 점을 택해서 관의 직경을 결정하면 된다. 그래서 위의 두 가지 경우를 종합해보면 미세관의 직경은 약 $100 \mu\text{m}$ 로 결정

해야 한다. 왜냐하면 위에서도 언급을 했듯이 공기의 유동은 쉽고, 음파의 전달은 어렵게 하기 위함이다. 그래서 미세관의 길이는 이론 적용 시 2.5mm 로 했기 때문에 길이는 그대로 하고 직경은 약 $100 \mu\text{m}$ 으로 하여야 한다. 그러나 미세관의 직경 $100 \mu\text{m}$, 길이 2.5mm 인 미세관 배열은 제작하기가 곤란하다. 왜냐하면 시스템 자체가 MEMS 기술을 이용하여 제작되는 것이 현재 불가능해서 기계적인 가공을 통해 제작해야 되기 때문이다. 그래서 본 연구에서는 현재 쉽게 기계적인 가공으로 만들 수 있는 최소 크기는 길이 2.5mm 에 직경이 약 $500 \mu\text{m}$ 정도 되는 미세관을 만들어 그것의 배열을 제작한 뒤, 실험을 통해 어느 정도의 경향성을 파악하였다.

3.2 음향학적 동공 (Acoustic cavity)

위에서도 언급을 했지만 음향학적 동공은 음파가 시스템 내에 있는 마이크로폰으로 유입되는 곳을 말한다. 이렇게 유입된 음파는 웨이브 가이드를 통해 마이크로폰으로 전달된다. 설계 시 중요하게 고려되어야 할 사항은 음향학적 동공을 사용할 경우에 얼마나 많은 투과 손실이 일어나는지를 확인을 하여 설계해야 한다는 것이다. 예를 들면 투과 손실이 너무 크면 마이크로폰으로 유입되는 음파의 파워(acoustic power)가 줄어들게 되어 마이크로폰의 출력을 작게 하고, 반대로 투과 손실이 너무 작다면 시스템 자체의 한정된 크기에서 동공의 크기가 커야 되므로 바람이 동공을 통해 유입될 확률이 그 만큼 커진다는 것이다.⁽¹⁾ 그러므로 음향학적 동공의 설계 시 투과 손실을 고려하여 최적의 동공 면적을 구해야 한다.

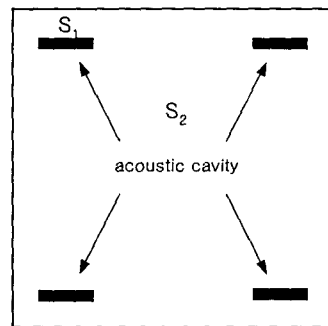


Fig. 5. Acoustic cavity

Fig. 5 는 음향학적 동공의 모습을 나타낸 정면도이다. 여기서 일단 윈드 스크린의 영향은 배제

하고 오직 동공의 영향만을 보기로 하자.

$$\begin{aligned}
 TL &= 10 \log \left(\frac{\Pi_i}{\Pi_o} \right) = 10 \log \left(\frac{I_i \sum S_i}{\sum S_i I_i} \right) \\
 &= 10 \log \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_i T_i} \right) = 10 \log \left(\frac{S_1 + S_2}{S_1 T_1 + S_2 T_2} \right) \quad (4)
 \end{aligned}$$

(4)식은 투과 손실을 나타내는 식으로 동공의 면적(S_1)에 대한 투과 손실을 나타내면 Fig. 6 과 같이 나타난다.

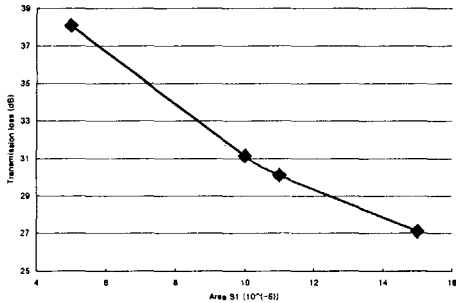


Fig. 6. Transmission loss for acoustic cavity area

처음에는 대략적으로 S_1 이 5, 10, $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ 일 경우에 대해서 투과 손실을 알아보았다. 그 결과 투과 손실이 약 30dB 일 경우로 선택하는 것이 어느 정도로 크지도 않고 작지도 않는 중간의 경우로 나타났다. 그리하여 S_1 의 넓이를 약 $11 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ 로 결정하고, 투과 손실을 다시 계산한 결과 약 30.18dB의 값을 얻을 수가 있었다.

3.3 파워 증폭 회로(Power-Amplifier circuit)

시스템 구성의 마지막으로 파워 증폭 회로⁽³⁾가 쓰이는데, 이것은 각각 4개의 마이크로폰으로부터 나오는 출력 신호를 합하는 역할을 하여 최종 출력 신호에 대한 증폭 효과를 가져 다 준다. 처음에는 각각의 마이크로폰으로 들어간 음파의 위상

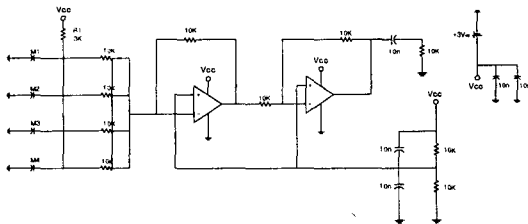


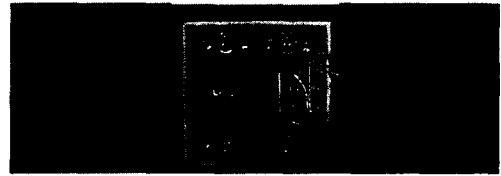
Fig. 7. Power-Amplifier circuit

차이를 생각해서 타임 딜레이(time delay)를 고려했

으나 마이크로폰 둘 간의 거리가 관심 음파의 파장보다 너무 작아 위상 차이가 거의 없어서 타임 딜레이를 생략하고 단순한 OP-AMP 만 사용하기로 하였다. Fig. 7 은 시스템 내로 들어간 파워 증폭 회로를 나타낸 것이다.

3.4 제작

위의 설계 사항을 토대로 제작한 시스템을 Fig.8 에 나타내었다.



(a) front (b) interior (c) backside

Fig. 8. A finished product

Fig. 8의 (b)는 내부의 파워 증폭 회로와 그것과 연결된 마이크로폰을 보여주고 있다.

4. 실험 결과

제작되어진 시스템에 대한 성능을 평가하기 위해서 몇 가지 실험을 행하였다. 열거하자면 첫째로 시스템의 방향성 실험, 둘째로 입 앞에서 발생하는 바람의 영향 실험, 마지막으로 음파의 반사 계수 측정 실험 등이다. 각각에 대한 자세한 사항을 다음에 나타내었다.

4.1 방향성(Directivity)

Fig. 9 는 방향성 실험의 개략도를 나타낸다. 이 실험의 목적은 시스템의 유효 작동 가능 각도를 알고, 사용자의 소리에 대한 민감도를 개선하기 위함이다.

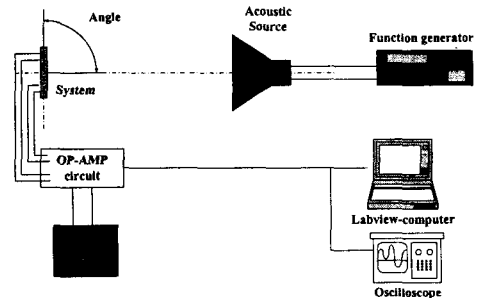


Fig. 9. Schematic for measuring Directivity

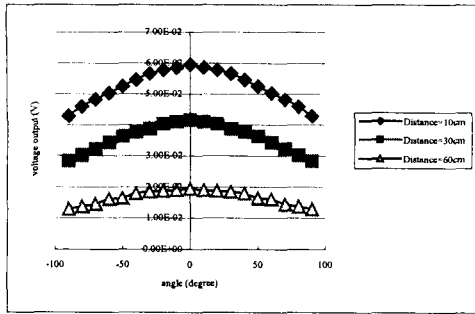


Fig. 10. Voltage output for the variable distances

위의 실험은 시스템과 음원(Acoustic Source)⁽⁴⁾ 사이에 일정한 거리를 두고, 시스템을 0 도에서 90 도까지 회전시켜 가면서 그 때의 출력되는 신호를 측정하였다. Fig. 10 은 거리에 따른 방향성 실험의 결과를 나타낸다. Fig. 10 을 보면 우선 거리와 각도가 커질수록 전체적으로 출력 전압이 감소되는 것을 보이고 있다. 그리고 거리가 멀어질수록 각도에 따른 출력 전압의 변화율도 감소한다는 것도 확인할 수가 있었다. 즉, 시스템에 가까운 곳일수록 방향성을 크게 가지면서 전체적인 출력 전압도 크다고 볼 수 있다.

4.2 바람의 영향(Wind effect)

이 실험의 목적은 윈드 스크린 즉, 미세관의 배열이 입 앞에서 발생하는 바람의 영향을 줄여 마이크로폰으로 순수한 음파만을 입력 신호로 전달하는지를 확인하기 위한 실험이다. Fig. 11 은 바람의 영향에 대한 실험의 전체적인 개략도를 나타낸 것이다.

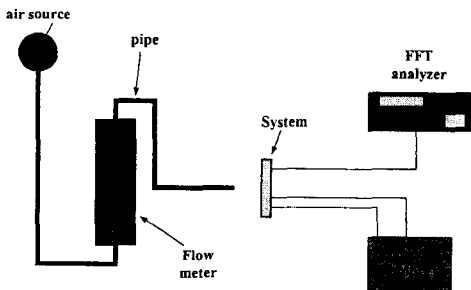


Fig. 11. Schematic for measuring wind effect

실제적으로 말을 할 경우 사람의 입에서 발생하는 바람의 강도는 굉장히 불규칙적이고, 예측하기도 불가능하다. 그리하여 사람의 입에서 발생되

는 바람을 대신하여 압축기의 공기를 사용하고,

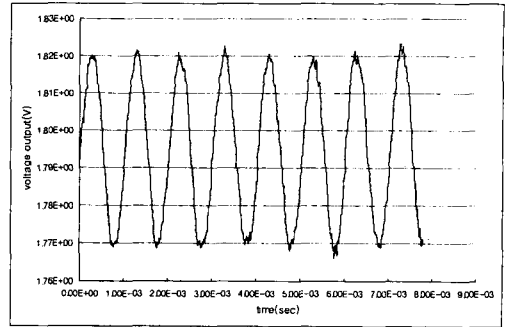


Fig. 12. Voltage output in time domain when micro-channel is open

유속은 유량계를 이용하여 측정하였다. 실험 시 측정된 유속은 4.6 m/s 이고, 음원의 주파수는 1kHz 로 하여 실험을 진행하였다.

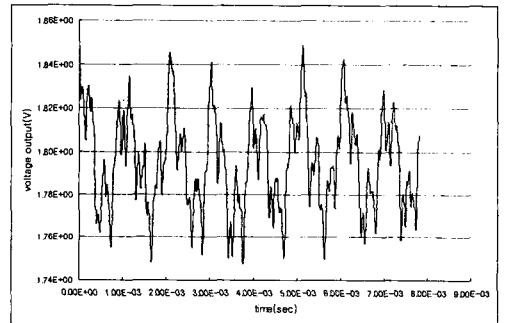


Fig. 13. Voltage output in time domain when micro-channel is closed

Fig. 12 과 Fig. 13 은 시스템과 바람 출구와의 거리가 0.3cm 일 경우일 때 각각 미세관 배열을 열어둔 상태와 막은 상태에 대해 시간영역에서의 출력 전압을 나타낸 것이다.

위의 결과 그래프를 보면 윈드 스크린이 대체적으로 바람의 영향을 많이 없애어 주어 마이크로폰의 출력 신호에 잡음을 제거하는 것을 볼 수 있었다. 다양한 거리에 대한 결과 그래프는 나타내지 않았지만, 특히 2cm 내의 근접 거리에서 윈드 스크린이 가장 큰 역할을 하였다. 즉, 가까운 곳에서는 바람의 직진성으로 인해 미세관을 통해서 많은 유량이 지나가고 거리가 멀어질수록 그 효과는 어느 정도 감소한다는 것을 알 수가 있었다. 결론적으로, 미세관의 배열로 제작한 윈드 스크린은 마이크로폰에 대해서 바람이 주는 영향을 크게 줄일 수 있다는 것이다.

4.3 반사 및 투과 계수 측정(Reflection and Transmission coefficient)⁽¹⁾⁽⁵⁾

미세관 배열을 가진 시스템의 반사 및 투과 계수를 측정하는 실험의 개략도를 Fig. 14 에 나타내었다.

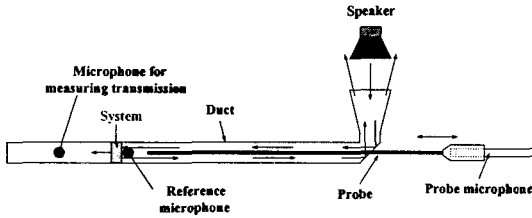


Fig. 14. Schematic for measuring Reflection and Transmission coefficient

덕트는 한 변의 길이가 30mm 인 정사각형의 단면을 가지고 길이는 860mm 로 제작하였다. 왜냐하면 500Hz 에서 약 5kHz 사이의 주파수 영역대에서 반사계수를 측정하기 위하여 덕트의 임계 주파수(cut-off frequency)를 6kHz 이상으로 해야 되기 때문이다.

이 실험으로 인하여 휴대 전화 통화 시 발생하는 소리가 시스템에서 얼마나 반사되어 타인에게 개인의 정보를 노출시키지 않는 것을 확인했다. Fig. 15 는 위 실험의 결과를 나타낸다.

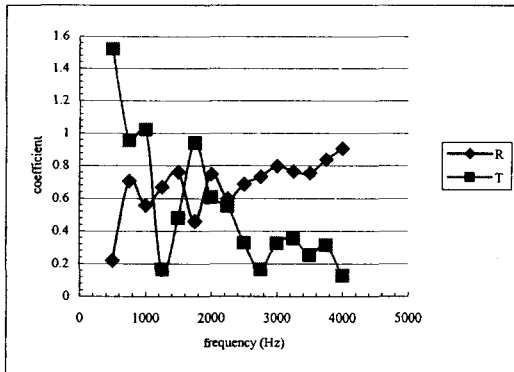


Fig. 15. Reflection and Transmission coefficient

여기서 R 은 반사 계수, T 는 투과 계수를 각각 뜻한다. Fig. 15 를 보면 반사계수가 500Hz 인 경우를 제외하고 거의 0.5 이상이고 주파수가 증가할수록 거의 1 에 가까워진다는 사실을 알 수 있다. 그리고 투과 계수도 주파수가 증가할수록 급격하게 낮아져서 음파의 투과율이 4kHz 부근에는 거의 0 에 가까운 것을 확인할 수 있다. 따라서, 이러한 결과로부터 본 시스템은 휴대 전화 통화 시 자기

자신의 말이 주위의 타인에게 전달되는 것을 막아주는 역할을 충분히 수행한다고 할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 속삭임 통화를 위한 휴대 전화용 마이크로폰 시스템의 개발과 성능 평가에 대한 실험을 행하였다. 실험한 결과 본 시스템은 입의 근접 거리에서 발생하는 바람에 의한 잡음을 많이 없애어 주고 방향성도 가진다는 것을 알 수 있었다. 그리고 반사 계수는 대체적으로 크게 나오고, 투과 계수는 작게 나와서 휴대 전화 통화 시 주위 사람들에게 자기 자신의 사생활에 대한 정보를 덜 노출 시킬 수가 있다. 또, 출력 신호가 마이크로폰 4 개의 합으로 나타나기 때문에 증폭 효과도 가지고 있어서 아주 작은 소리로도 충분히 통화를 할 수 있게 한다.

결론적으로 본 연구에서 개발한 시스템은 휴대 전화 통화 시 여러 가지 외부의 잡음으로부터 독립적으로 작동하여, 아주 작은 소리로도 통화를 가능하게 하여 개인의 사생활 보호와 타인에게 소음에 대한 피해를 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

후기

본 연구는 iCurie-Lab 의 "Slim and Silent Microphone System" 과제의 연구비 지원으로 진행되었으며 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Lawrence E. Kinsler , Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders, 2000 Fundamentals of Acoustics, 4th, John Wiley & Sons, Inc., New York
- (2) Keith S. Pear and Ray Kirby, 1999, Acoustic wave motion along a narrow cylindrical duct in the presence of an axial mean flow and temperature gradient, J. Acoust. Soc. Am. 107(4), pp. 1859-1867
- (3) Ralph J. Smith, Richard C. Dorf, 1992, Circuits, Devices and systems, 4th, 566-583
- (4) Leo L. Beranek, 1988, Acoustical measurements, Acoustical Society of America by the America Institute of Physics, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 374-431
- (5) Y,J,Kang and I.H.Jung, 2001, Sound Propagation in circular ducts lined with noise control foams, Journal of Sound and Vibration, 239(2), 255-273