

음향학적 접근에 의한 휴대 전화의 속삭임 통화 기능 향상

최성준*, 문원규**, 이정현***

*포항공과대학교 기계공학과, **포항공과대학교 기계공학과, ***아이큐리랩

The Improvement of privately telephonic communication for cellular phone by acoustic approach

(Choi, Sungjoon*, Moon, Wonkyu**, Lee, Jounghyun***)

* Mechanical engineering, POSTECH, ** Mechanical engineering, POSTECH, *** iCurie-Lab

요약문

정보 통신 기술의 발달이 인간 생활에 많은 편리함을 가져다 주었지만 개인의 정보 유출이나 소음 공해 등의 여러 가지 문제점도 야기시켰다. 특히 휴대 전화 통화시 사용자의 개인적인 정보들이 공공 장소에서 그대로 노출이 되고, 또 그러한 통화로 인해서 타인에게 소음 피해를 주기도 한다. 이러한 병폐를 막기 위해서 휴대 전화 사용자는 최대한 작은 소리로 통화를 하되, 상대방에게 의도하고자 하는 바를 확실히 전달하여야 한다. 그러기 위해서는 휴대 전화에 근접 통화가 가능해야 하며, 일정한 방향의 방향성을 가져서 주위의 잡음에 대해 독립적으로 작동하도록 해야한다. 본 논문에서는 이러한 기능을 향상시키기 위하여 음향학적 이론을 바탕으로 휴대 전화에 사용되어지는 마이크로폰을 새로 설계, 제작하고 그 성능을 시험하였다. 아주 작은 소리로 근접 통화를 할 때 발생하는 팝핑(popping) 현상이 최소한이 되도록 미세관 배열을 적용하였으며, 외부 소음 영향을 줄이기 위하여 방향성을 증폭시키고자 음원의 위치에 초점을 맞추는 기술을 적용하였다. 방향성 증폭은 4개의 마이크로폰 사용과 근거리 음원의 방향성 증가를 위한 신호 처리 기술을 적용하였다. 이 기술의 적용 효과를 실험을 통하여 검증할 수 있었다.

1. 서론

정보 통신 기술의 발달은 인간에게 편리함과 생활 양식에 많은 변화를 가져다 주었다. 원하는 정보의 습득 속

도가 불과 몇 년 전과 비교를 하더라도 엄청나게 빨라졌다. 예를 들면 인터넷(internet)을 이용할 경우 사용자는 단 몇 번의 마우스(mouse)클릭을 통해 원하는 정보를 언제든지 습득할 수 있다. 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. 일례로 휴대 전화는 소음을 발생시키고 개인정보를 유출시킬 수 있다. 이러한 휴대 전화의 폐해를 방지하기 위해 새로운 기능을 추가함으로써 사용상의 제약없이 문제점을 해결하는 방안의 하나로 속삭임 통화를 가능케 하는 마이크로폰 시스템(Private Microphone System)이 고안되었다. 근접 거리에서의 속삭임 통화를 위해서 휴대 전화에 근접 통화가 가능해야 하며, 주위의 잡음에 대해 독립적으로 작동되기 위해서 방향성도 가져야 한다.

본 논문에서는 기존의 휴대 전화에 이러한 기능들을 향상시키기 위하여 음향학적인 이론들을 바탕으로 마이크로폰을 설계 및 제작하였다. 근접 통화시 발생하는 팝핑 현상을 최소한으로 하고자 윈드 스크린을 미세관 배열로 적용하였고, 방향성을 증폭시키고자 4개의 마이크로폰을 사용하고 각각의 마이크로폰에서 출력되는 신호를 처리하여 음원의 위치에 초점을 맞추게 하였다. 그리고 이들의 기능이 제대로 동작하는가를 모형 제작 후 성능 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

II. 시스템의 개요

기존의 휴대 전화의 마이크로폰은 크게 두 가지의 맹점을 가지고 있다. 첫째는 마이크로폰의 근접 부위

책임저자: 최성준 (csjangel@postech.ac.kr)
790-784 경북 포항시 남구 효자동 산 31번지 포항공과대학교 기계공학과 음향 진동 실험실
(전화: 054-279-8217; 팩스: 054-279-5899)

에서 아무리 조용하게 이야기를 하더라도 'ㅂ'이나 'ㄱ'과 같은 파열음이 생기고, 이러한 음의 작용으로 인해 입 밖으로 갑작스런 강한 바람이 발생되어 음파와 함께 마이크로폰에 작용하게 된다. 즉, 음성 신호가 바람에 의한 잡음과 같이 마이크로폰의 신호로 입력이 된다. 따라서 바람에 의한 잡음을 없애어 주어야 할 필요가 있기 때문에 바람은 시스템을 통해서 빠져나가고 음파만이 마이크로폰의 신호로 입력되도록 하여야 한다. 이를 위해 윈드 스크린(Wind screen)을 미세관 배열(Micro-channel array)로 고려하였고, 마이크로폰은 윈드 스크린의 바깥쪽에 위치하게 하여 바람에 대한 잡음을 최소화하였다.

둘째로, 기존의 마이크로폰은 방향성을 가지지 않는다는 것이다. 즉 음원 집중 효과를 가지지 않아서 모든 방향의 음원에 대해 반응하여 주위의 잡음에 대해 독립적이지 못하다. 그러므로 마이크로폰은 일정한 방향의 음파만을 감지하는 방향성을 가진으로서 주위의 잡음을 최대한으로 줄여 휴대 전화 사용자의 소리만을 시스템에 입력 신호로 처리되게 하여야 한다. 이를 위해 시스템은 최소한 2개 이상의 마이크로폰을 배열하여야 하고, 시스템 중심부의 미세관 배열을 고려했을 경우에 대칭이 되게 4개의 마이크로폰을 사용하여 시스템을 구성함으로써 음원을 집중시키는 효과와 각각의 신호를 합하여 4배 증폭시킴으로써 아주 작은 소리에도 반응할 수 있게 한다.

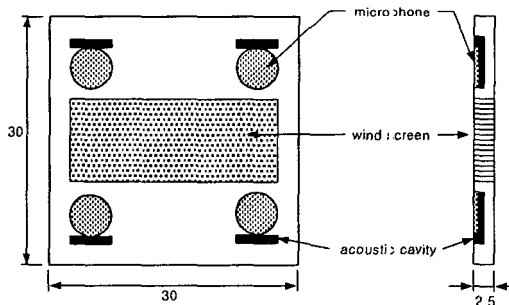


그림. 1. 전체 시스템의 개략도

설계된 시스템의 도식적인 형태는 그림. 1에 나타내었다. 우선 전체적인 크기는 휴대 전화기의 마이크로폰 대신에 사용이 되는 것이므로 크기의 제한이 있다. 왜냐하면 그림. 2에서 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 30mm의 정사각형으로 결정하였다.

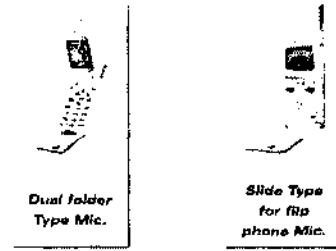


그림. 2. 시스템 사용의 예

시스템의 구성 요소들을 본다면 크게 4가지로 구성이 된다. 그림. 1에 나타낸 것과 같이 음파를 전기적인 신호로 변환 시켜주는 마이크로폰(Microphone), 입 앞의 바람의 영향, 즉 팝핑(Popping)이나 시빌런스(Sibilance)등을 차단하는 윈드 스크린(Wind screen), 그리고 음파가 유입되어 마이크로폰까지 웨이브 가이드(Wave guide) 역할을 하는 음향학적 동공(Acoustic cavity)이 있고, 마지막으로 4개의 마이크로폰의 신호를 하나의 신호로 합하는 파워 증폭 회로(Power amplifier circuit)⁽¹⁾가 시스템 내부에 있다.

III. 기능 설계 방안

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 소리로도 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. 미세관의 직경과 길이를 결정하기 위해서 점성과 열전도에 의한 손실을 고려하여 설계를 하였다. 그러나 이런 알려진 이론들을 미세관내의 음파 유동에 직접적으로 적용할 수는 없다. 왜냐하면 미세관의 반경이 음향 경계층 두께와 비슷하거나, 또는 그 이하일 경우에는 음파의 전파는 거의 음향 경계층

내부에서 일어나서 기존의 이론들을 그대로 적용할 수 없기 때문이다. 그러나 음향 경계층으로 인해 발생하는 손실을 흡음(absorption)과 연관지어 나타낼 수 있을 것임에는 틀림없다. 따라서 기존의 이론이 적용될 수 없는 이론임에도 불구하고, 그 이론적 계산 결과를 실험으로 구한 흡음과 연관시켜 비교, 분석하여 계속적인 연구가 진행된다면 그 타당성을 검증할 수 있을 것이다. 또, 미세관일지라도 직경이 충분히 커서 음향 경계층보다 꽤 큰 경우에는 어느 정도 기존의 이론이 유효한가를 검토할 수 있는 기회가 될 것이다.

우선 유체의 유동에 대해서는 Hagen-Poiseuille 식을 적용하였다. (2)

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

여기서, 미세관의 길이(L)는 2.5mm로 정하였다. 그래서 공기 압력의 변화량을 미세관의 직경의 함수로서 나타내면 그림. 3과 같이 나타난다.

다음으로 미세관 내의 음파 전달에 대해서 고려를 하자. 음파가 관을 통과하면 경계층으로 인해 발생하는 점성 손실에 대한 흡음 계수와 열적 전도 손실(Thermal conduction loss)에 대한 흡음 계수의 합으로 나타난다. (3)-(5)

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

따라서 음압이 미세관을 통과하면서 거리에 따라 얼마만큼 감소하는지를 나타내면 다음과 같다.

$$P = P_0 \exp[-\alpha L] \quad (3)$$

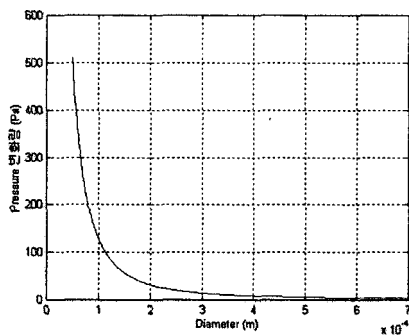


그림. 3. 미세관내의 공기 유동에 대한 압력 변화

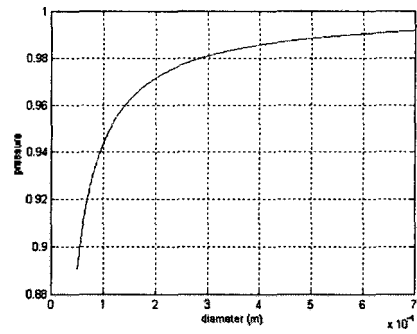


그림. 4. 미세관 통과시 직경에 따른 음압의 변화

공기의 유동은 잘 되어야 하므로 그림. 3의 경우를 보면 압력의 변화량이 적은 부분의 직경으로 결정하여야 한다. 동시에 그림. 4의 음파 전파에 대해서도 고려를 해야한다. 그래서 그림. 4에서는 음파가 미세관을 통해 잘 통과하지 못하게 하기 위해서는 음압의 변화량이 많아야 한다. 즉, 그림. 3에서는 그래프가 급격히 상승하기 전이고, 그림. 4에서는 급격히 하강하기 전의 점을 택해서 관의 직경을 결정하면 된다. 그래서 위의 두 가지 경우를 종합해보면 미세관의 직경은 약 100 μm 로 결정해야 한다. 왜냐하면 공기의 유동은 쉽고, 음파의 전달은 어렵게 하기 위함이다. 그래서 미세관의 길이는 이론 적용시 2.5mm로 했기 때문에 그대로 하고 직경은 약 100 μm 으로 하여야 한다. 그러나, 미세관의 직경 100 μm , 길이 2.5mm인 미세관 배열은 제작하기가 곤란하다. 왜냐하면 시스템 자체가 MEMS 기술을 이용하여 제작되는 것이 현재 불가능해서 기계적인 가공을 통해 제작해야 되기 때문이다. 그래서 현재 기계적인 가공으로 만들 수 있는 미세관의 최소 크기는 길이 2.5mm에 직경이 500 μm 정도 되는 미세관을 만들어 그것의 배열을 제작한 뒤, 실험을 통해 어느 정도의 경향성을 파악하였다.

3.2 방향성 기능 강화 방안 (Directivity)

방향성을 파악하기 위해서 우선 그림. 5와 같이 시스템과 음원을 고려해서 마이크로폰과 음원간의 거리를 $r_1 \sim r_4$ 라고 하고, 음원은 점 음원(point source)이라고 가정한다. 그리고 아래 위쪽이 대칭이므로 계산의 단순화를 위해서 그림. 6과 같이 위쪽에서 본 마이크로폰의 궤적을 고려하였다.

그리고, 음원이 점 음원이기 때문에 각각의 마이크로폰에서의 음압(acoustic pressure)은 다음과 같다.

$$P = \frac{P_0}{r} \exp[j(\omega t - kr)] \quad (4)$$

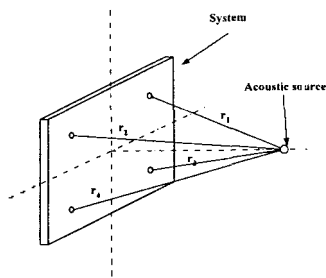


그림. 5. 음원과 마이크로폰과의 거리

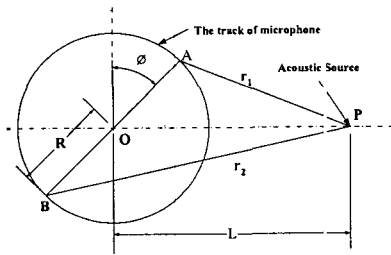


그림. 6. 마이크로폰 궤적에 따른 단순화
Fig. 6. Simplification for the track of microphone

여기서, P_0 는 표준화시키기 위해서 1로 두고 계산한다. 시스템 각도(θ)에 따른 마이크로폰의 신호는 거리를 각도의 함수로 나타낸 뒤 (4)식에 대입하면 된다. 그리고 난 뒤 각각의 신호를 단순히 합한 신호가 출력신호이다.

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (5)$$

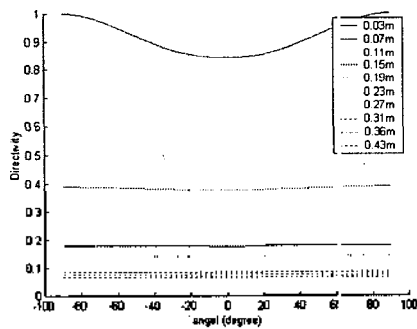


그림. 7. 단순한 출력 신호 합인 방향성

(5)식에 대한 이론적인 결과는 그림. 7에 나타내었다. 그림. 7을 보면 시스템과 음원과의 거리는 가까울수록, 각도는 클수록 출력 전압이 크고 방향성을 가진다는 것을 알 수 있다. 그러나 0도 부근에서 방향성을 크게 하기 위해서 마이크로폰의 출력 신호를 단순히 합하는 것만으로는 안되기 때문에 다른 처리 과정을 거쳐야 한다. 그리하여, 0도 부근에서 큰 방향성을 가지게 하기 위해서 (6)식과 같이 신호를 처리하였다.

$$P_{total} = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) - (|P_1 - P_2| + |P_2 - P_3| + |P_3 - P_4| + |P_4 - P_1|) \quad (6)$$

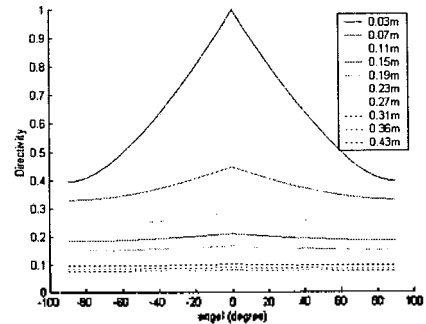


그림. 8. 신호 처리한 후의 방향성

그림. 8은 (6)식에 대한 결과이다. 거리가 가까울수록 0도에 대해 큰 방향성을 가지고 멀어질수록 그 효과가 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 시스템의 마이크로폰 각각의 신호를 (6)식과 같이 신호 처리를 한다면 큰 방향성을 가질 수가 있다.

IV. 실험 및 결과 고찰

4.1 제작

위의 설계 사항을 토대로 제작된 시스템을 그림. 9에 나타내었다.

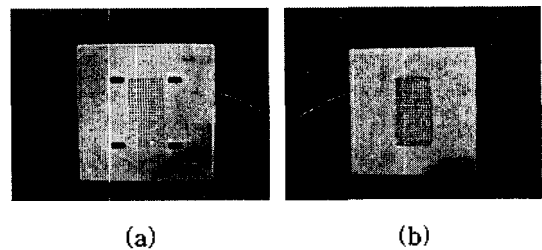


그림. 9 제작된 시스템 : (a) 정면, (b) 후면

그림. 9에서 보면 가운데 부분에 윈드 스크린 역할을 하는 미세관 배열이 있고 그 바깥쪽으로 음파가 마이크로폰으로 들어가는 음향학적 동공이 있다.

제작되어진 시스템에 대한 성능을 평가하기 위해서 두 가지 실험을 행하였다. 첫째로 입 앞에서 발생하는 바람의 영향 실험, 둘째로 시스템의 방향성 실험이다. 각각에 대한 자세한 사항을 다음에 나타내었다.

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. 그림. 10은 바람의 영향에 대한 실험의 전체적인 개략도를 나타낸 것이다.

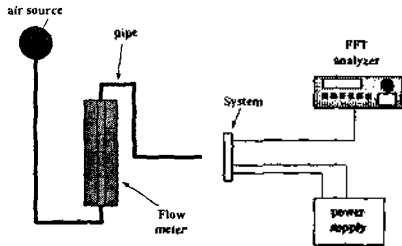


그림. 10. 바람의 영향을 측정하기 위한 실험의 개략도

실제적으로 말을 할 경우 사람의 입에서 발생하는 바람의 강도는 굉장히 불규칙적이고, 예측하기도 불가능하다. 그리하여 사람의 입에서 발생하는 바람을 대신하여 압축기의 공기를 사용하였고 유속은 유량계를 이용하여 측정하였다. 실험시 측정된 유속은 4.6m/s이고 음원의 주파수는 1kHz로 하여 실험을 행하였다.

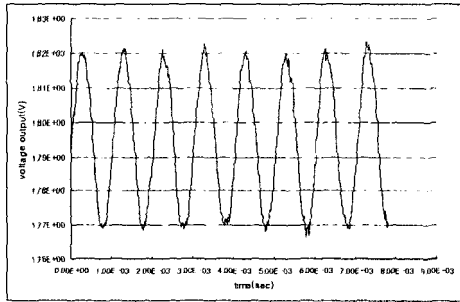


그림. 11. 미세관을 열어둘 경우 출력 전압

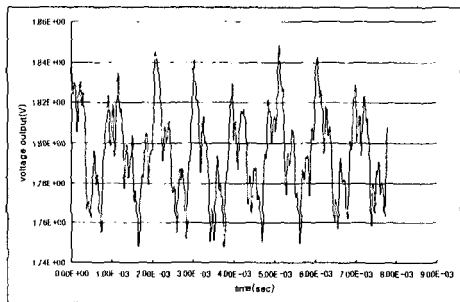


그림. 12. 미세관을 닫았을 경우 출력 전압

그림. 11와 12는 시스템과 바람 출구와의 거리가 3mm일 경우일 때 각각 미세관 배열을 열어둔 상태와 닫은 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 2cm내의 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 수 있었다. 결론적으로, 미세관의 배열로 제작한 윈드 스크린은 마이크로폰에 대해서 바람이 주는 영향을 크게 줄일 수 있다는 것이다.

4.3 방향성

그림. 13은 방향성 실험의 개략도를 나타낸 것이다. 이 실험의 목적은 시스템의 유효 작동 가능 각도를 알고, 사용자의 소리에 대한 민감도를 개선하기 위함이다.

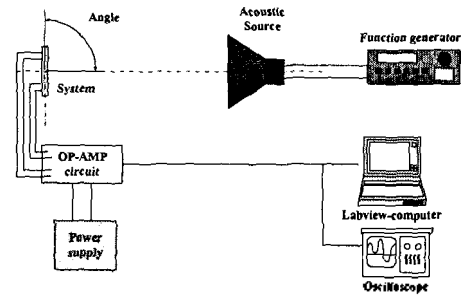


그림. 13. 방향성 측정 실험의 개략도

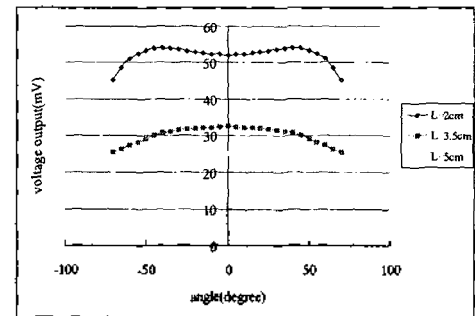


그림. 14. 거리에 따른 마이크로폰의 출력 전압

이 실험에서 음원⁽⁶⁾은 스피커(speaker)의 중심 부분을 제외하고 나머지 부분은 막아서 최대한 점 음원에 가깝게 하여 실험을 하였고, 시스템과 음원(Acoustic source)사이에서 일정한 거리를 두고, 시스템을 0도에서 90도까지 회전시켜 가면서 그때의 출력되는 신호를 측정하였다. 그림. 14는 거리에 따른 방향성 실험의 결과를 나타내는데 방향성이 크게 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. 그리고 이상적인 경우 그림. 7의 형태로

되어야 하지만 완전한 점 음원을 스피커(speaker)를 통해 만들기가 어려워 그림. 14의 형태를 띠게 되었다. 거리가 2cm인 경우에서 각도가 $\pm 30^\circ$ 까지는 이론적인 결과와 비슷하다. 이것은 음원이 가까운 곳에서는 점 음원으로 작용을 한다는 것을 보이고 있다. 그러나 그 각도를 넘어서면 출력 전압이 다시 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 거리가 2cm로 가까운데다가 시스템의 회전 반경도 약 2cm정도가 되어 시스템이 큰 각도가 될 경우 음원을 어느 정도 막아서 생긴 현상이라고 볼 수 있다. 그리고 거리가 멀어질수록 음원은 평면파를 만들어서 그림. 14의 결과를 보여주는 것이다. 그러므로 방향성을 가지지 못하기 때문에 식 (6)의 신호 처리 과정을 거쳐야 한다. 그리하여 각각의 마이크로폰의 신호를 식(6)과 같이 처리하여 그림. 15의 결과를 얻었다.

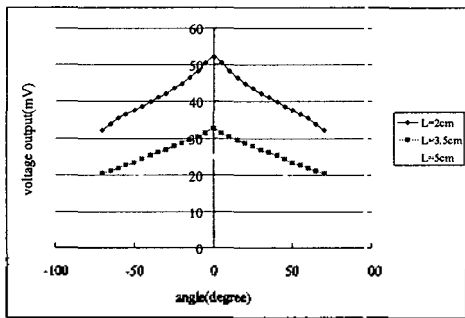


그림. 15. 신호 처리한 후의 출력 전압

그림. 15는 식(6)을 이용한 신호 처리를 거친 다음의 출력 신호를 나타낸다. 신호 처리 후 단순히 신호의 합만을 타나낼 경우보다 큰 방향성을 가진다는 것을 볼 수 있었다. 0도에서는 신호 처리 과정 전과 동일한 출력 전압을 얻었고, 각도가 커질수록 출력 전압이 낮아져서 외부의 잡음에 영향을 덜 받는다는 것도 알 수 있다. 즉, 신호 처리 전의 70도 각도에서는 0도에서 출력 전압의 약 87%에 해당하는 출력 전압을 나타내었으나, 신호 처리 과정을 거친 후에는 62%까지 떨어져서 방향성을 더욱 증가시킨다는 것을 확인하여 방향성 기능 향상에 대한 목적은 이루어졌다고 할 수 있다. 그러나, 0도 부근을 좀 더 완만하게 하고 각도가 커질수록 급격히 줄어드는 신호 처리 과정이 필요하다고 고려되어 계속적으로 연구가 진행되고 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 음향학적인 접근에 의한 휴대 전화의

속삭임 통화에 대한 기능을 향상시키기 위해 마이크로폰 시스템 개발과 그 성능 평가에 대한 실험을 행하였다. 입 앞의 근접 통화를 위해 미세관 배열을 사용하여 공기 유동과 음파 전달에 대한 두 가지 관점을 모두 고려하였고, 외부의 잡음을 없애주고 방향성을 증가시키기 위해서 각각 마이크로폰에서 출력되는 신호를 처리하여 음원에 초점을 맞추는 방법을 시도하였다. 그리하여 제작된 모형을 대상으로 기능 실험을 한 결과 본 시스템은 입의 근접 거리에서 발생하는 바람에 의한 잡음을 많이 없애어 주고 방향성도 신호 처리 과정을 통해 크게 가진다는 것을 확인했다. 또, 출력 신호가 마이크로폰 4개의 합으로 나타나기 때문에 방향성 증폭 및 출력 신호의 증폭 효과도 가지고 있어서 아주 작은 소리라도 충분히 통화를 할 수 있게 한다.

그러나 미세관 내의 음파 전달 문제와 미세관의 효율적인 배열 문제에 대해서는 아직까지 타당한 결과를 얻지 못하고 적용상의 문제점으로 남아있어 계속적으로 연구가 진행되고 있는 실정이다. 또, 방향성을 더욱더 증가시켜 외부의 잡음을 완전히 차단하는 방법 또한 병행하여 진행되어야 할 과제이다.

참 고 문 헌

- (1) Ralph J. Smith, Richard C. Dorf, "Circuits, Devices and systems", 4th, 566-583, 1992
- (2) Robert W. Fox, Alan T. McDonald, "Introduction to Fluid Mechanics", 4th, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994
- (3) Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders, "Fundamentals of Acoustics", 4th, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000
- (4) David T. Blackstock, "fundamentals of physical acoustics", John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000
- (5) Keith S. Pear and Ray Kirby, "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, 1999
- (6) Leo L. Beranek, "Acoustical measurements", Acoustical Society of America by the America Institute of Physics, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 374-431, 1988