

지향성 보청기 성능 검사 장치 개발

Development of Directional Digital Hearing Aid Performance Testing System

장 순 석† · 권 유 정* · 이 제 형**

Soon Suck Jarng, You Jung Kwon and Je Hyeong Lee

(2005년 10월 25일 접수 ; 2005년 12월 6일 심사완료)

Key Words : Digital Hearing Aid (디지털보청기), Directivity (지향성), ITE (귓속형)

ABSTRACT

The most recent trend on digital hearing aid is to increase the ratio of signal to noise by directivity or to develop noise reduction algorithm inside DSP IC chip. This paper designed, fabricated and tested a digital hearing aid directivity testing device in which a micro-mouse-like the stepping motor with a speaker rotates around an examinant. Both ears of the examinant were fixed with ITE hearing aids in order to respond to receiving sound. The experimental results were compared with those of a boundary element method program for verification. The diameter of the directivity testing device was 2m and the micro-mouse was precisely controlled by PICBASIC micro processor.

1. 서 론

보청기는 마이크로폰으로 입력되는 음압을 증폭하여, 리시버에 의해 고막으로 증폭된 음압을 전달하는 전기 음향 기기이다⁽¹⁾. 현재 추세에 따르면 보청기는 기존의 아날로그 보청기로부터 디지털 보청기로 그 사용 추세가 바뀌어 가고 있다. 이는 아날로그 방식의 증폭기에서 디지털 방식의 증폭기로 보청기 내부 증폭기를 교체하는 것을 뜻한다. 아날로그 방식의 증폭기는 회로 성능이 고정되어 있는 반면에 디지털 방식의 증폭기는 회로 성능을 임의로 변화시킬 수 있는 장점이 있기 때문에, 청력 상태가 제각기 다른 청각 장애자들에게 가장 적합한 맞춤형 보청기를 제공할 수 있다. 디지털 보청기에는 다수의 파라미터들을 조절하여 압축률 조절, 피드백(하울링) 소거나, 시간 지

연 효과 및 주파수별 증폭률 조절 등 다양한 디지털 신호 처리 알고리즘을 구현하기 위해 보청기 전용 DSP칩을 사용하고 있다. 여기서 시간 지연 효과란 디지털 증폭기 입력단으로 입력된 전기 신호를 증폭하여 다시 출력시키는 과정에서 소요되는 시간(혹은 신호의 위상)을 임의로 조절할 수 있다는 뜻이다⁽²⁾.

디지털 증폭기 중에서 두개의 마이크로폰 출력 신호를 입력할 수 있는 두 개의 입력 단자를 가진 디지털 증폭기는 지향성(방향성) 보청기에 응용될 수 있으며, 지향성 보청기는 신호 대 잡음 비율을 높일 수 있어 새롭게 각광을 받고 있다. 두 개의 마이크로폰 으로부터 입력되는 신호를 증폭하되 두 신호 간의 시간(위상) 지연 효과를 추가하게 되면 지향성 보청기가 된다⁽³⁾.

사람의 양쪽 귀에 두 개의 마이크로폰을 내장한 귓속형 디지털 보청기를 각각 착용한 상태에서 보청기의 주 지향성을 임의로 조정 가능하도록 하려면 디지털 증폭기의 내부 시간 지연파라미터를 조절해야 하는 데 여기서 매우 중요한 문제점을 가진다. 한쪽 귀에만 두 개 마이크로폰을 내장한 귓속형 디지털 보청기를 착용하면 디지털 증폭기의 내부 시간 지연 파라

† 책임저자 : 정희원, 조선대학교 정보제어계측공학과

E-mail : ssjarng@chosun.ac.kr

Tel : (062) 230-7107, Fax : (062) 226-3211

* 조선대학교 대학원 제어계측공학과

** 알고코리아

미터를 조절하여 지향성을 임의로 바꿀 수 있으나 머리의 음향 간섭에 의한 음향 그림자 효과로 지향성 정도가 높지 않다. 그래서 한쪽 귀가 아닌 양쪽 귀에 두 개 마이크로폰을 내장한 껍속형 디지털 보청기를 각각 착용하여 지향성을 높이려고 한다. 하지만 양쪽 귀에 두 개의 마이크로폰을 내장한 껍속형 디지털 보청기를 각각 착용한 상태에서 보청기의 주 지향성을 임의로 조정 가능하도록 하려면 두 개의 디지털 보청기의 내부 시간 지연 파라미터들을 모두 조절해야 한다. 그런데 양쪽 귀에 각각 착용한 디지털 보청기 사이에는 시간 지연에 관한 기준을 갖지 못하고 있다. 왜냐하면 양쪽 귀에는 각각 독립된 디지털 보청기가 착용되었기 때문이다. 따라서 독립된 두 개의 디지털 보청기를 양쪽 귀에 착용한 상태에서의 지향성 인지는 청각 기관과 대뇌에서의 인지를 모두 포함하여 시간 지연파라미터를 조절해야 한다.

아직까지는 양쪽 귀 고막 이상의 청각 기관과 청각 신경의 전달 과정 그리고 대뇌에서의 청각 인지도를 포함하는 전자회로가 발견되지 못하였기 때문에, 사람을 대상으로 직접 양쪽 귀에 두 개의 마이크로폰을 내장한 껍속형 디지털 보청기를 각각 착용하도록 한 뒤, 지향성 실험을 해야 한다. 그 이유는 현재까지 알려진 전기음향 기술만으로 사람의 청각 생리학적 지향성 인지도를 예측할 수 없기 때문이다.

이 논문에서는 디지털 보청기의 성능을 평가하는 고성능의 전기-음향 시험 장치를 개발, 제작하고, 기존의 문제점들을 개선하기 위하여 다음과 같은 실험 방법을 제시한다.

2. 본 론

2.1 기존의 실험 방법

Fig. 1은 양쪽 귀에 두 개의 마이크로폰을 장착한 껍속형 디지털 보청기를 각각 착용한 실제 수검자를 대상으로 실험하는 껍속형 보청기 지향성 실험 방법이다.

실험에서는 함수발생기와 스피커를 연결하여 소리를 발생시킨다. PC의 1번 시리얼 포트를 통해 함수 발생기를 제어하여, 입력된 주파수와 진폭에 따라 정현파 신호를 발생시켜 스피커에 전달한다. 음원인 스피커의 위치는 스테핑 모터로 가동되는 구동체를 원형 레일을 따라 수검자를 중심으로 회전 시킨다. 이

구동체는 PC의 3번 시리얼 포트를 통해 제어된다.

이와 같이 사람을 대상으로 보청기 지향성 실험을 직접 수행할 때 나타나는 문제점은 수검자가 지향성 실험을 수행하는 장시간동안 계속 같은 자세로 앉아 있기가 어렵다는 점이다.

사람을 대상으로 한 양이(bicos hearing aid) 보청기의 지향성 검사는, 실질적인 수행이 까다롭기 때문에 Fig. 2와 같이 마네킹을 사용하게 되는데 지금까지 사람이 직접 느끼는 청각 생리학적 지향성 인지도와 연관시킬 수 없어, 오른쪽 귀와 왼쪽 귀의 지향성을 각각 별도로 시험 검사해 왔다.

Fig. 2는 내부가 비어있는 마네킹의 양이에 두 개의 마이크로폰을 장착한 껍속형 디지털 보청기를 각각 착용 시킨 후, 실험하는 껍속형 보청기 지향성 실험 방법이다. 오른쪽 귀와 왼쪽 귀로 듣는 소리가 청

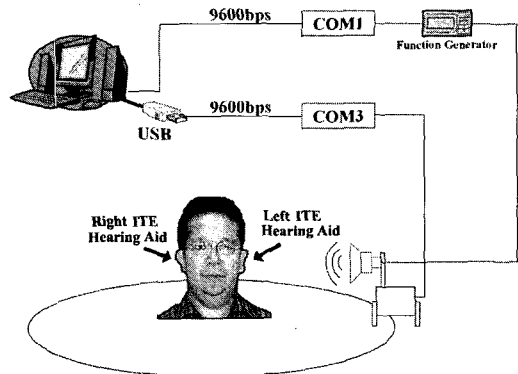


Fig. 1 Directivity adjustment experimental method for ITE digital hearing aids with examinant

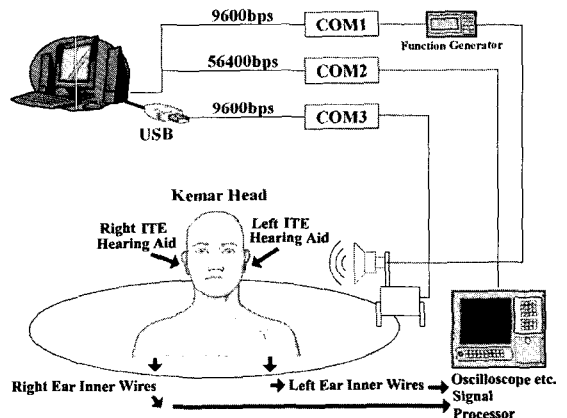


Fig. 2 Directivity adjustment experimental method for ITE digital hearing aids with KEMAR manikin

각 기관을 지나면서 청신경 유발 전위로 변환되는 과정과 대뇌로 전달되는 과정에서 상호 결합되는 복잡하고도 아직까지 잘 알려지지 않은 청각 인지 생리를 전기전자회로로 재현시키기가 불가능하기 때문에 오른쪽 귀와 왼쪽귀에 대한 지향성 검사는 각각 독립적으로 수행 되어 왔다^(4,5).

Fig. 3에서는 오른쪽 귀 또는 왼쪽 귀에 들어오는 소리가 귓바퀴와 외이도, 고막, 달팽이관, 청신경, 대뇌를 거치면서 양쪽 귀의 소리 정보가 상호 혼합됨을 설명하고 있다. 양쪽 귀 중 하나의 귀에만 두 개의 마이크로폰이 장착된 귓속형 디지털 보청기를 착용하여, 각각의 경우에 대해 개별적으로 지향성 패턴을 구하더라도, 양쪽 귀에 동시에 두개의 마이크로폰이 장착된 귓속형 디지털 보청기를 각각 착용하고, 이때 측정한 지향성 패턴은 단순히 오른쪽 귀와 왼쪽 귀에 대해 독립적으로 측정한 지향성 패턴의 합만으로는 같아지지 않을 것으로 예상된다. 그러나 아직까지 청각 인지 생리를 고려한 양이 보청기의 방향성에 대한 연구가 없었기 때문에 어떠한 결과가 나올지는 예상하기 어렵다⁽⁷⁾.

2.2 새로운 실험 방법

이 논문에서는 2.1절에서 설명한 것과 같은 이유 때문에, 기존의 마네킹을 이용하여 양쪽 귀 각각에서 방향성을 측정하는 방법과 사람에게 인지되는 청각

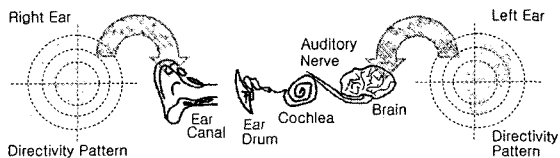


Fig. 3 Correlation of sound information from left and right ears (6)



Fig. 4 New directivity measuring system

인지도를 사람이 직접 측정하는 방법을 결합하여 새로운 방법을 제시하고자 한다.

Fig. 4는 내부가 비어있는 마네킹의 양이에 두 개의 마이크로폰을 장착한 귓속형 디지털 보청기를 각각 착용 시킨 후, 외부에서 인지하도록 하는 귓속형 보청기 지향성 실험 사진이다. Figs. 1, 2와 같은 기존의 방법과 다른 점은 수검자의 청각 인지도로 지향성을 평가하기 위해 마이크로폰으로부터 입력된 전체 4개 채널의 신호 처리 결과를 수검자가 실험장 밖에서 헤드폰으로 들으면서 소리의 세기에 따라 소리의 유무를 주관적으로 판단한다는 것이다.

Fig. 5는 Fig. 4를 도식적으로 설명한 것이다. PC의 1번 시리얼 포트를 통해 함수 발생기를 제어하여, 입력된 주파수와 진폭에 따라 정현파 신호를 발생시켜 스피커에 전달한다. 음원인 스피커의 위치는 스테핑 모터로 가동되는 구동체를 원형 레일을 따라 마네킹을 중심으로 회전 시킨다. 이 구동체는 PC의 3번 시리얼 포트를 통해 제어된다.

Fig. 6의 회로에서는, 마네킹 내부로 삽입된 내부 회선에 연결되어 있는 양이 보청기의 두 개 마이크로폰의 출력 신호 증폭 및 잡음 소거 등의 신호 처리 과정을 거치고, 2번 마이크로폰으로 수신된 신호에 시간 지연을 발생시켜, 여기서 출력되는 신호와 1번 마이크로폰에서 수신된 신호를 합하게 된다. Fig. 6에서 출력되는 신호는 디지털 보청기의 리시버로 전달되어 소리를 발생시키고, 동시에 PC의 2번 시리얼 포트에 연결된 디지털 오실로 스코프를 통해서 PC로 전송된다.

즉, Fig. 6의 회로는 두 개의 마이크로폰으로부터 출력된 음성 신호를 증폭하고 두 마이크로폰에서 수신된 신호 간의 시간 지연을 인가하여, 최종적으로

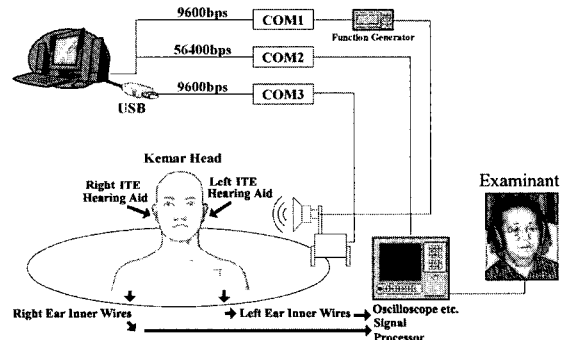


Fig. 5 A diagram of new directivity measuring system

두 마이크로폰 신호를 합하여 출력시킨다. 양쪽 귀에 각각 두 개의 마이크로폰을 장착하게 되므로, PC에는 총 4채널의 신호가 전송된다.

이 논문에서 제시한 수검자의 청각 인지도를 고려한 양이 콧속형 디지털 보청기의 지향성 조절을 위한 새로운 실험 방법은 다음과 같이 진행된다.

(1) 음원의 회전 이동

지향성 측정 실험을 위해서는 음원이 360도로 회전하며, 정현파 신호음에 대한 음압 감지 반응을 측정해야 한다. 이를 위해 스피커를 고정시키고 수검자가 앉는 의자를 회전시키거나, 수검자를 고정시키고 스피커를 회전시켜야 한다. 이 연구에서는 후자의 방식을 택하였는데 그 이유는 최종적으로 수검자를 대

상으로 지향성 측정 실험을 해야 할 경우에 수검자와 의자의 무게가 지나치게 무거우면 회전용 스테핑 모터에 부하가 걸리고, 수검자의 회전에 따라 수검자의 중심을 원점에 유지하기 힘들기 때문이다. 따라서, Fig. 7에서 보여주듯이 원형 도관을 따라 스테핑 모터를 사용하여 이동 가능한 구동체가, 적외선 센서에 의해 일정한 각도로 회전 운행하는 회전 시스템을 고안하고 설계 및 제작하였다.

(2) 음원 회전을 위한 구동체

원형 레일을 따라 일정한 회전 각도만큼씩 운행하는 구동체는 스테핑 모터와 모터에 연결된 바퀴에 의해 구동되며, 스테핑 모터 제어장치를 자체 설계, 제작하였다. Fig. 7은 구동체와 레일의 일부를 보여주며,

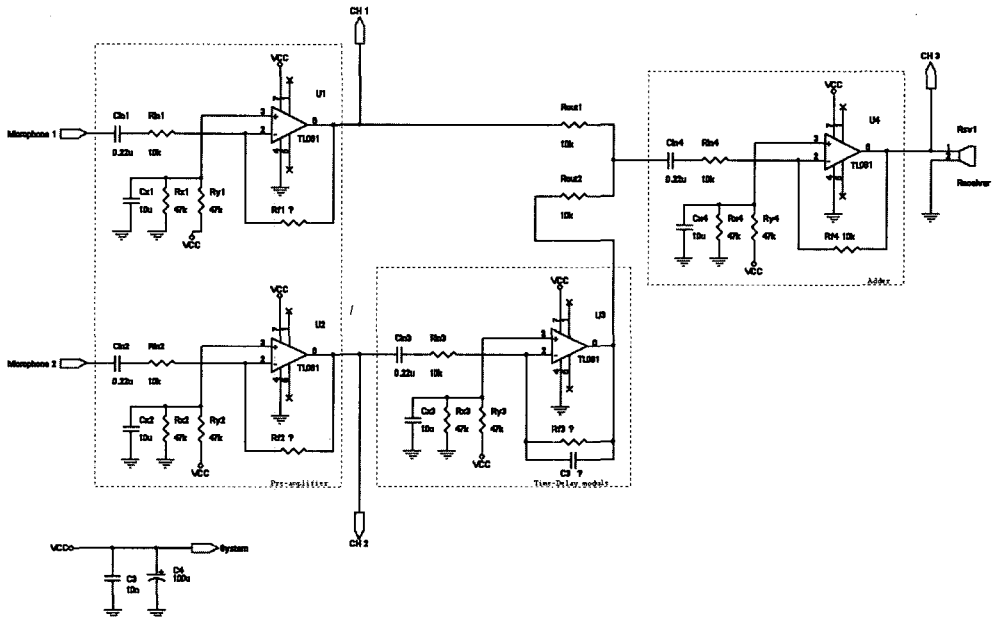


Fig. 6 The circuits of power-amplifier and time- delay for microphones' output signal

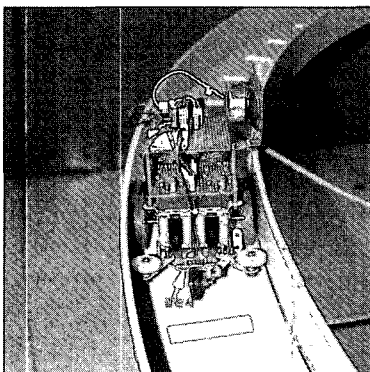


Fig. 7 Moving robot with speaker and wheels

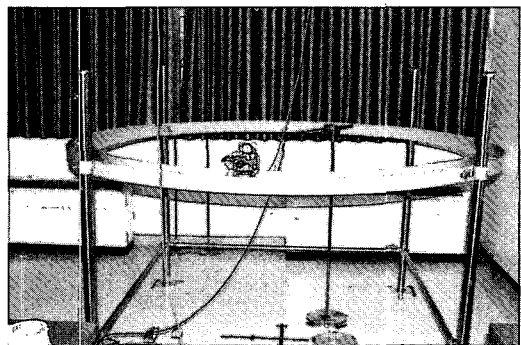


Fig. 8 The round rail for speaker rotation

원형 레일 바닥에 5도 간격으로 빛의 반사를 위한 흰색 라인을 만들고, 구동체가 적외선 센서로 감지하여 일정한 거리만큼 움직이도록 제어하였다.

구동체의 회전시 모터와 주행중 마찰에 의해 소음이 발생되지만, 해당각도에서 측정할 때는 구동체는 멈춰있는 상태에서 실험이 진행되기 때문에 구동체의 소음은 영향을 미치지 않는다.

Fig. 8은 원형 레일의 전체적인 모습과 구성을 보여준다. 이 원형레일은 반지름이 1m의 원으로 구성 되어있다.

(3) KEMAR 설치

원형 도관의 가운데에 해당하는 중심점을 지정하고 그 위에 마네킹 인형을 세우도록 하였다. 마네킹은 사람의 두상과 흉상을 모델화한 미국 Knowles社의 KEMAR 모델을 사용하였다. KEMAR 모델의 사이즈는 국제 표준으로 규격되었다. 마네킹의 내부는 비어있으며 양쪽 귀에는 Fig. 9(b)와 같이 구멍이 천공되어 컷바퀴 모델을 장착할 수 있도록 구성, 제작되어 있다. 컷바퀴 모델은 아시아인 표준 규격을 사용

하였으며, KEMAR의 귀의 형태에 맞춰서 외이도로 삽입될 컷속형 디지털 보청기를 Fig.10과 같이 제작 하였다.

(4) KEMAR용 디지털 보청기 제작

마네킹 인형의 컷구멍으로 삽입될 컷속형 디지털 보청기의 내부 디지털 증폭기 전원 공급과 접지 그리고 두 개 마이크로폰(M1, M2)의 신호를 출력시키기 위해 필요한 전기회선을 보청기 안팎으로 각각 배선하고, 외부 회로에 의해 최종적으로 출력되는 신호를 리시버로 전달하기 위한 회선을 추가한다. 여기에 접지(ground)선을 포함하여 총 5개의 '회선'을 사용하게 된다.

Fig.10(a)는 KEMAR에 장착되는 양쪽 귀의 모델과 실험에 사용되는 디지털 보청기를 보여준다. Fig. 10(b)는 실험에 사용되는 디지털 보청기의 전기 회선의 연결도를 나타낸다.

마네킹 인형의 컷구멍으로 삽입된 컷속형 디지털 보청기에서 내부 전기선은 마네킹 인형 내부로 삽입되었고 외부 전기선은 실험 도중 전원 공급 상태 등 신호 유무를 확인하기 위해 사용된다.

(5) KEMAR용 디지털 보청기 설치

원형 레일의 중심부에 설치된 마네킹 인형의 양쪽 귀에, Fig. 11과 같이 두 개의 마이크로폰이 장착된

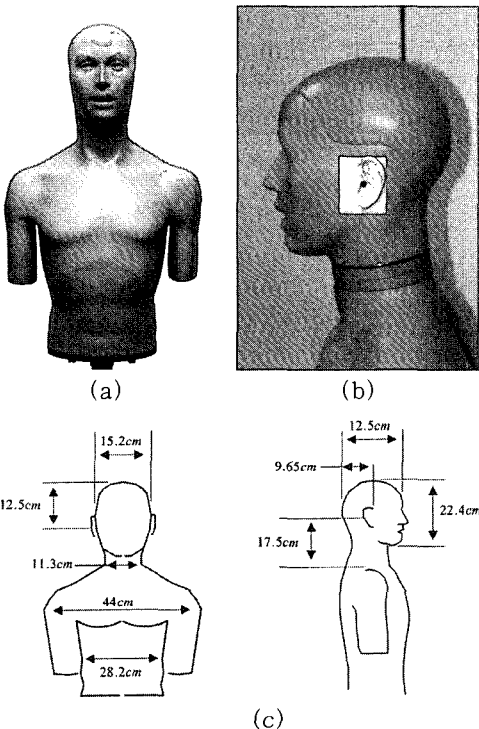
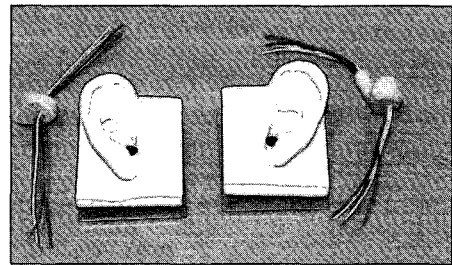
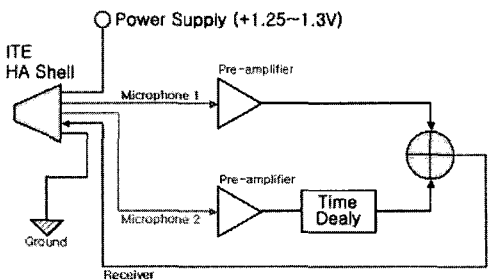


Fig. 9 KEMAR model of Knowles co

- (a) A front of KEMAR
- (b) Left side of KEMAR head and ear
- (c) Anthropometric dimensions of KEMAR (4)



(a)



(b)

Fig. 10 Digital hearing aids for KEMAR
(a) Ears and digital hearing aids for KEMAR
(b) A circuit of digital hearing aid for KEMAR

콧속형 디지털 보청기를 각각 착용 시켰다.

(6) 데이터 수집

PC의 1번 시리얼 포트를 통해 함수 발생기를 제어하여, 입력된 주파수와 진폭에 따라 정현파 신호를 발생시켜 스피커에 전달한다. 음원인 스피커의 위치는 스테핑 모터로 가동되는 구동체를 원형 레일을 따라 수검자를 중심으로 회전 시킨다. 이 구동체는 PC의 3번 시리얼 포트를 통해 제어된다.

Fig. 10(b)의 회로에서는, 마네킹 내부로 삽입된 내부 회선에 연결되어 있는 양이 보청기의 두 개 마이크로폰의 출력으로부터, 2번 마이크로폰으로 수신된 신호에 시간 지연을 발생시켜, 여기서 출력되는 신호와 1번 마이크로폰에서 수신된 신호를 합하게 된다. 이 신호는 PC의 2번 시리얼 포트에 연결된 디지털 오실로 스코프를 통해서 PC로 전송된다.

(7) 실험 시작 및 측정

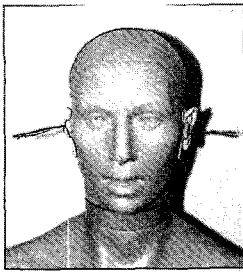
PC는 2번 시리얼 포트로부터 양쪽 귀 각각 두 개의 마이크로폰에서 수집된 총 4채널의 신호를 수집하게 된다. 이 연구에서는 수검자의 실제 청각 인지도로 지향성을 측정, 평가하기 위해 마이크로폰으로부터 입력된 4채널의 신호 처리 결과를 수검자가 실험장 밖에서 헤드폰으로 들으면서 소리의 세기에 따라

소리의 유무를 주관적으로 판단한다. 수검자는 원형 도관 밖에 위치하여 앉아 있지만 헤드폰을 통해 마치 원형 도관 가운데 앉아 있는 느낌을 가지게 된다.

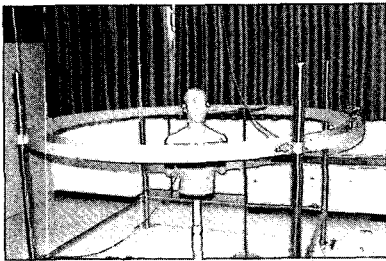
수검자는 헤드폰으로 들리는 각각의 주파수에 대해 소리 세기의 강약에 따라 주관적 판단 정보를 검사자에게 알려주고 검사자를 이를 자료로 지향성 패턴을 측정한다.

2.3 실험 결과 및 고찰

Fig. 12(a)과 같이 원형 레일의 중앙부에 1개의 마이크로폰을 설치하고, 일정한 음원을 회전시켜 측정해 본 결과, Fig. 12(b)와 같은 지향성 패턴을 측정할 수 있었다. 그러므로, 흡음체를 사용해서 측정 시스템 주변에서 일어나는 반사를 최소화 해야할 필요가 있다. Fig. 12(a)에서 사용된 마이크로폰은 전방향성 특성을 가지고 있으며, 원형 레일의 중앙부에 설치된 마이크로폰은 원형 레일 위를 회전 하는 음원과 항상 같은



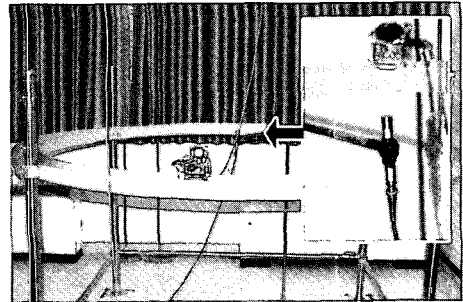
(a)



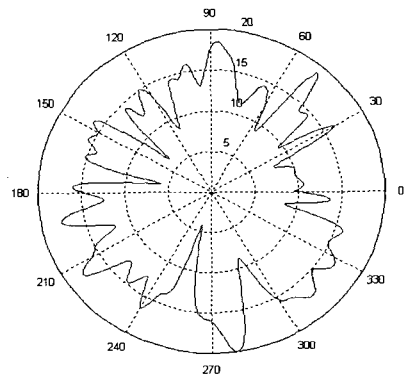
(b)

Fig. 11 KEMAR with digital hearing aids

- (a) KEMAR head
- (b) KEMAR and the round rail for speaker rotation



(a)



(b)

Fig. 11 Directivity pattern in the center of round rail

- (a) Microphone for measurement
- (b) Directivity pattern without acoustic absorption system

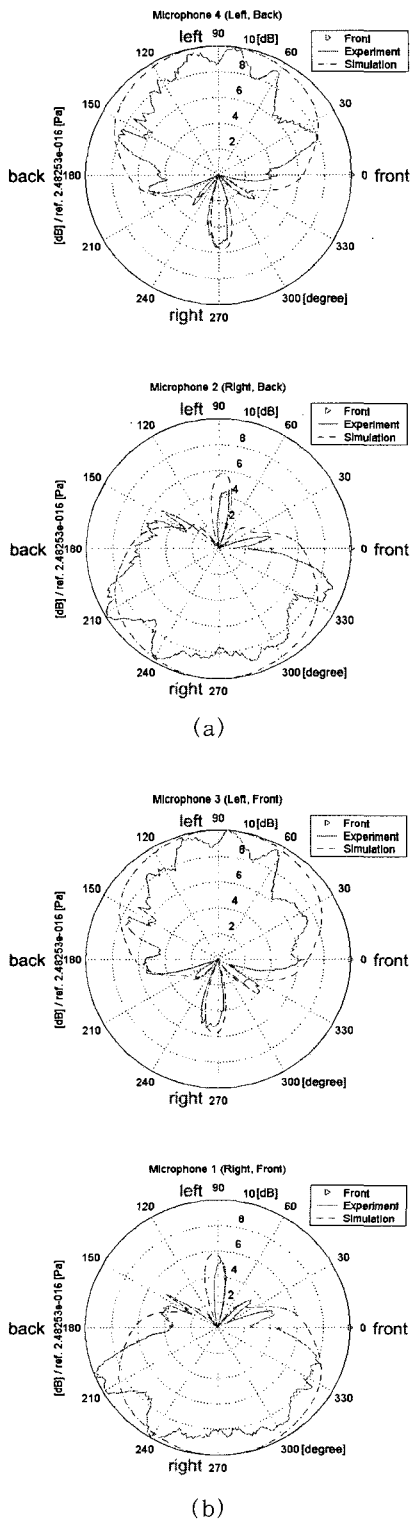


Fig. 12 Result of directivity pattern simulation at 2500 Hz. (a) Left ear (b) Right ear

거리를 유지하고 있기 때문에, 어떠한 각도에서 소리를 발생시키더라도 마이크로폰에서 측정된 음압의 크기는 거의 일정해야한다. 따라서, 지향성 패턴이 거의 원형에 가깝게 나오도록 측정 시스템 주변에 흡음 설비를 해주어야 올바른 실험 결과를 얻을 수 있다.

원형 레일 주위를 흡음재를 사용하여, 음의 반사를 최소화한 상태에서 양쪽 귀에 두 개의 마이크로폰을 각각 설치했을 때, 실제 측정된 결과와 같은 조건에서 BEM에 의해 해석한 결과에 의한 지향성 패턴을 비교하였다. 적색의 지향성 패턴은 실험적으로 측정된 결과이며, 청색의 지향성 패턴은 BEM해석 결과이다. Fig. 13은 각 마이크로폰 별로 측정된 결과와 BEM해석 결과를 비교하였고, 실험 결과와 BEM해석 결과는 유사한 패턴을 보여주고 있음을 알 수 있다.

실험 결과와 유사한 BEM해석 결과는, 이 실험 장치에서 얻어지는 결과 뿐 아니라, D/A 변환기 등을 통해 BEM해석 결과로부터 얻어지는 신호의 진폭과 위상 값을 고려한 신호를 헤드폰으로 출력하는데 활용할 수가 있으며, 수검자는 자신의 청각 인지도로 지향성을 평가하기 위해 헤드폰으로 청취하는 음을 발생 시키는 방법을 다양화 할 수 있다.

3. 결 론

이 연구는 수검자의 청각 인지도를 고려하여 양이에 두 개 마이크로폰이 장착된 컷속형 디지털 보청기를 각각 착용한 상태에서 지향성 조절 실험 검사 방법을 처음으로 고안, 설계, 제작 하였다. 이 연구에서는 기존의 방법과 달리 측정된 데이터를 결합하여 분석한 결과와 함께, 사람이 직접 음을 청취하여 평가를 병행함으로써, 양쪽 귀에 두 개 마이크로폰이 장착된 컷속형 디지털 보청기를 각각 착용한 상태에서 지향성 측정에 수검자의 청각 기관과 대뇌에서의 청각 인지도까지 모두 고려한 효과를 가지게 된다. 이러한 실험 방법으로 양이 방향성 보청기를 실험하여 양이를 통한 청각 생리에 대한 원리를 연구 할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

(1) Lee, G. S., 2002, "Hearing Aid", Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, Ilchokak,

Seoul, in Korea, Vol. 22, pp. 727~742.

(2) Jarng, S. S., 2003, "Gennum GB3211 ITE Hearing Aid Chip Interface and Electro-Acoustic Testing", Proc. of of Korea Sensor Society, No. 14, pp. 59~62.

(3) Walden, B. E., and Surr, R. K., Cord M. T., 2003, "Real-world Performance of Directional Microphone Hearing Aids.", Hear Jour., Vol. 56, No. 11, pp. 40~47.

(4) Valente, M., Sweetow, R. and May, A., 1999, "Using Microphone Technology to Improve Speech Recognition, In S Kochkin & KE Stroms High Performance Hearing Solutions (V3)", The

Hearing Review 6, pp. 10~13.

(5) Frye, G. J., 2001, "Testing Digital and Analog Hearing Instrumentations : Processing Time Delays and Phase Measurement", The Hearing Review 8, pp. 1~8, 2001

(6) Kim, S. M., 2005, "Acoustic Head Effects of the Directional Microphone for Hearing Aids", Gwangju Institute of Science and Technology, Thesis for Master's Degree, pp. 42~52.

(7) Jarng, S. S. and Kwon, Y. J., 2004, "Digital Hearing Aids", Dooyang Publishing Co., Seoul, in Korea, pp. 104~112.