한국음향학회지 제31권 제6호 pp. 359~366 (2012)
The Journal of the Acoustical Society of Korea Vol.31, No.6 (2012)
http://dx.doi.org/10.7776/ASK.2012.31.6.359

골전도 피드백 보상에 의한 휴대전화 음질 향상

The Voice Quality Improvement by Bone Conduction Feedback Compensation in Mobile Phone

박형우 · 임원석* · 배명진

(Hyung-Woo Park, Won-Seok Lim*, and Myung-Jin Bae)

숭실대학교 정보통신공학학과, *숭실대학교 정보통신융합학과

(접수일자: 2012년 6월 13일; 수정일자: 2012년 7월 9일; 채택일자: 2012년 7월 16일)

초 록: 현대사회를 살아가는 사람들은 버스나 지하철과 같은 대중교통에서나 백화점이나 할인점 같은 다수의 사람이 모이는 환경에서 순전히 타의에 의해 온갖 소음에 노출된다. 이런 환경에서 휴대전화나 PMP 등 개인 휴대용 단말기 사용이 늘어나면서 공공장소에서 소음 문제는 점점 심각해지고 있다. 사람들은 소음환경 속에서 휴대기기를 이용해 원활한 정보교환을 위해 일반적으로 소음보다 15 dB이상 큰 음압으로 휴대기기를 구동하고 있다. 이러한 휴대기기의 음압을 측정해보면 110 dB까지 발생하고 있으며, 이렇게 발생한 음압은 사용자에게 소음성 난청을 유발시키고, 주변 사람에게 또 다른 소음문제를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 골전도 시스템을 이용한 방법을 제안한다.

본 논문에서는 휴대전화에 일반스피커와 함께 골전도 스피커와 골전도 마이크를 사용해 피드백을 통한 보상을 하였고, 이 방법에 의해 주변 소음의 영향을 줄이고 휴대전화 음질 향상하는 방법을 제안한다. 제안한 방법으로 휴대전화 사용자 주변의 소음에 대한 영향을 줄이고 통화 음질을 향상해 약 17 dB의 성능 향상효과를 확인하였다.

핵심용어: 골전도 전화, 잡음환경, 잡음제거, 골전도 피드백
투고분야: 음성처리 분야(2.3)

ABSTRACT: Today, people are exposed to the various noisy environments, such as in the buses, subway and supermarkets where there are a lot of people. The noise issue is getting more serious as people want to use portable sound equipment and mobile phones even under this noisy condition. People want to use the portable equipment to exchange the information freely and they set the volume as 15dB higher than the noise around them, which almost reach at 110 dB. That amount of sound can cause noise induced deafness to the users and another issue to the others as additional noise source.

A Bone-conduction system can be a solution to reduce noise and enhance voice signal of mobile phone.

In this paper, we propose the way of cancelling noise and enhancing speech signal of mobile phones, by installing bone-conduction feedback system with ordinary mobile phones. With this system, we can reduce the environment noise and enhance the voice quality of mobile phones. Using this method, we can enhance the signal by around 17 dB.

Key words: Bone Conduction Phone, Noise Environment, Noise Reduction, Bone Conduction Feedback
ASK subject classification: Speech Signal Processing (2.3)

I. 서 론

정보통신 기술의 발전으로 휴대전화나 PMP와 같은 휴대용 멀티미디어 기기가 널리 보급되어 사용되고 있다. 그리고 사용자들은 매우 다양한 환경에서 휴대기기를 이용한다. 휴대기기 사용 환경은 기기를 이용하기에 적합한 조용하고 보안이 유지되는 환경도 있고, 그렇지 못한 경우도 있다. 하지만 사람들은 주변 환경에 구애받지 않고 원활하게 정보교환 할 수 있기를 원한다. 그리고 시끄러운 환경에서 휴대기기를 이용하다보면 자연스럽게 음량을 크게 하고, 큰 목소리로 대화하며 의사전달 하게 된다.

휴대전화를 사용하는 환경은 가정, 사무실, 공원

"이 논문은 2012년도 한국음향학회 춘계학술대회에 발표했던 논문입니다."

***Corresponding author:** 배명진 (mjbae@ssu.ac.kr)
서울시 동작구 상도5동 1-1 숭실대학교
(전화: 02-820-0902)

과 같은 조용한 환경이 있는가 하면 지하철, 버스와 같은 대중교통, 백화점이나 할인점 같은 시끄러운 환경도 있다. 휴대전화를 사용하는 사람들은 장소에 상관없이 원활하게 통화하려한다. 시끄러운 환경의 대표적인 공간에서 발생하는 환경 소음은 평균 크기는 80 dBA를 넘고 있으며 이런 환경에서 휴대전화를 사용하는 사람은 주변 환경보다 큰 소리로 수화음을 설정하고 통화하며, 휴대전화 제조업체는 시끄러운 환경에서도 통화가 가능하도록 100 dB이 넘는 소리가 발생하도록 휴대전화를 제조하여 판매하고 있다.[1-4] 하지만 이러한 이동전화의 사용은 자칫 소음성 난청을 야기할 수 있다.[4] 소리의 크기와 노출 시간에 따라 난청의 발생 여부는 다르지만, 일반적으로 큰 소리에 지속적이거나 오랜 시간 노출되면 소음성 난청이 발생한다.[5-7] 이러한 이동전화의 사용에 있어서 소음성 난청 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 골전도 피드백을 통한 휴대전화 음질향상에 관한 연구를 진행하였다.

골전도 기술은 생체공학적 신기술로서 오랜시간 동안의 사용에서 불편함이 없고 외부소음에 의한 통화방해에도 안전하게 통화가 가능할 수 있는 기술이다.[8] 그러나 진동이 뼈 및 피부 조직에 전해질 때에, 높은 주파수 성분은 감쇠되기 쉬운 성질을 가진다.[9] 그래서 본 논문에서는 휴대전화에 일반 스피커와 함께 골전도 스피커와 골전도 마이크를 통한 피드백 시스템을 추가로 구성해 잡음제거 및 통화음질 향상하는 방법을 제안하고 실험을 통해 그 결과를 확인하였다. 기존 연구인[2]에서는 휴대전화에 골전도 스피커만을 추가하여 상쇄간섭을 이용해 환경 잡음을 제거하는데 이용하였으며 그 효과는 약 10 dB 이었다. 본 논문에서는 골전도 마이크와 골전도 스피커를 추가해 피드백 시스템을 통한 잡음 제거 및 음질 향상을 하도록 하여 기존보다 약 6 dB의 성능 개선을 하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 사람의 청각과 골전도 시스템을 설명한다. 3장에서는 휴대전화 사용하는 환경과 사용 실태에 대하여 조사하였다. 4장에서는 골전도 피드백을 통한 휴대전화 음질 향상 시스템을 제안한다. 5장에서는 제안한 방법에 대한 실험 및 결과를 통하여 향상된 성능을 확인 한다. 그리고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 사람의 청각과 골전도 시스템

2.1 사람의 청각과 골도 청력

귀는 인간의 감각기관 중에서 청각을 담당하고 있다. 그리고 귀는 매우 약한 음파를 청신경의 전기적 신호로 바꾸는 변환기에 해당한다.[4,7,8] 이러한 청각기관을 해부학적으로 고찰하면 외이, 중이, 내이로 나눌 수 있다.[7] 외이는 귓바퀴와 귓구멍, 고막을 말한다. 중이는 망치뼈, 모루뼈, 등자뼈로 이루어진 이소골과 유스타키안관을 포함한다. 내이는 달팽이관이 있는 제일안쪽 부분을 말하는데 와우는 코티기관을 가지며 액체로 차있고 나선모양이다. 자세한 구조와 그림 및 설명은[4,7]에 연구되었다.

사람이 소리를 인식하는 방법을 나누면, 크게 귓구멍을 통한 기도청력(일반)과 머리뼈를 울려서 귀안의 달팽이관으로 직접 진동을 전달하는 골도청력이 있다.[9] 일반적인 소리가[4]에서와 같이 외이에서부터 내이에 이르는 소리의 발생으로부터 전달 및 인식과정이 기도청력 이라하면, 골도청력의 경우는 발생된 소리가 외이 중이 등을 통하지 않고 두개골 등의 인체를 통해 전달, 직접 달팽이관을 통해 청각신경을 거쳐 뇌로 전달되는 과정을 말한다.[9]

2.2 소음성 난청과 예방

난청의 종류와 원인은[4,7,11]에서 연구되었으며 본 논문에서는 소음성 난청에 대하여 살펴본다. 괴롭고 원치 않는 큰 소리를 소음이라 하는데 이러한 소음에 의해서 발생하는 감각신경성 난청을 소음성난청이라고 한다.[7] 소음성 난청은 소리를 감지하는 기관, 즉 달팽이관이 손상된 경우이며 특히 고주파를 감지하는 외유모세포부터 손상되어 점점 모든 소리를 듣지 못하게 된다.[10] 이러한 소음성 난청이 유발되는 소리의 크기와 노출 시간에 관한 연구가[4,7,11]에서 진행되었다. 특히 PMP나 MP3P와 같은 휴대용 음향 기기에서는 규제를 통해 소음성 난청을 알리고 사용자에게 주의를 하고 있으나, 휴대전화에 대해서는 아직 규제가 이류어지지 않고 있다.[2,7,11]

소음성 난청은 초기의 경우 고음을 인지하는 기능만 떨어져 조기발견이 어렵다.[7] 하지만 고주파수부

터 시작된 난청이 저주파수까지 진행된 다음에는 치료방법이 없는 만큼 조기진단과 예방이 특히 중요하다.[4,7,10] 예방법으로는 큰 음압에 신체를 노출시키지 않도록 해야 하고, 노출이 되는 시간을 짧게 하도록 해야 하며, 귀마개나 귀덥개를 이용해 큰 음압의 소리가 귀로 직접 전달되지 않도록 막아야 한다.[10,11] 그리고 충분한 휴식을 취해 손상된 유모세포가 복원되도록 해야 한다.[7,10] 휴대기기를 이용하여 정보를 습득하거나 통화를 하는 경우에도 기기가 낼 수 있는 최대음압보다 75%보다 작게 구동해 사용하고, 소음이 큰 환경에서의 사용을 자제하고, 자연스럽게 큰 소리로 장치를 구동하는 것에 주의해야 한다.[4-8, 10,11]

2.3 골전도 스피커

일반적인 스피커는 공기를 통해 고막을 진동하여 달팽이관의 청신경을 자극하여 소리를 전달하지만 골전도 스피커는 청신경 주위의 뼈를 가진하여 청신경을 자극하여 소리가 전달된다.[9] 골전도 스피커의 원리는 골전도 진동자의 떨림을 Voice-Coil에 의해 생성하고 그 떨림을 인체의 뼈로 전달해 소리를 들을 수 있도록 하는 것이다.[12] 이러한 골전도 스피커의 장점은 장시간 사용하여도 청각에 무리가 없고 기도청력을 통한 외부의 소리와 골전도를 통한 소리를 동시에 청취가 가능하여 갑작스런 주변의 위험을 대처할 수 있다. 또한 소음환경에서도 일반 스피커를 이용한 방식보다 정확한 통신이 가능하다.[12] 이러한 골전도 스피커의 응용분야는 청각 장애인용 통신기기 및 멀티미디어 가전제품, 인터넷폰, 휴대전화용 블루투스 헤드셋과 군사용으로 많이 사용되고 있다.

2.4 골전도 마이크

사람이 말을 할 때의 소리전달은 크게 2가지 경로가 있으며, 첫째는 입으로부터 나오는 발성자의 소리가주위의 공기를 매질로 상대방의 청각기관으로 들어가는 경로이며, 이를 기도음이라 하고, 두 번째는 공기를 통하지 않고, 발성자의 성대 진동이 두개골의 진동을 통해 내이의 청각기관으로 직접 전달되는 경로이며, 이를 골도음(골전도) 이라고 한다.[12,13] 골전도 마이크로폰은 골전도 되는 음성신호를 고감도 센서로 감지하여 신호처리 후 다시 음성신호를 변환하는 것이며, 주로 압전형 마이크로폰을 사용한다. 압전형 마이크로폰은 수정이나 전기석과 같은 결정체를 정해진 방향에 따라서 판모양의 직육면체로 잘라낸 경우, 이 직육면체에 정해진 방향의 기계적인 비뚤어짐을 가하면 그 비뚤어진 힘에 응한 양의 전계가 결정체의 전해진 방향으로 발생한다.[13]

III. 휴대전화 사용 실태 분석

3.1 휴대전화 주변 환경 소음

휴대전화의 사용 환경을 보면 조용한곳뿐만 아니라 시끄러운 소음환경까지 매우 다양하다. 이러한 환경을 모두 측정하여 비교의 대상으로 정해야 하지만 정보 수집의 효용성을 고려하여 몇 가지 이동전화를 사용하는 환경을 상황과 장소와 시간으로 구분하여 반복 녹음 및 평균 음압크기를 이용해 분석하였다.[1,2,6] 측정을 위한 장비는 Bruel&Kjaer Precision Sound Analyzer Type 2260 마이크로폰과 Notebook PC를 가지고 44.1 kHz 16bit mono로 녹음하여 소음원을 저장하고 분석하였다. 표 1에서 측정된 평균 잡음 크기를 보이고 있다. 한 장소에서 약 5분간의 측정하였고, 10회의 반복된 측정을 하여 평균값을 표기 하였다.

소음환경 분석결과 상대적으로 시끄러운 환경으로 분류된 교통수단을 이용하는 경우에는 약 80 dB의 소음이 발생하였고, 지하철 승강장, 버스 승강장에서는 약 82 dB가 발생하였으며, 대형마트를 비롯한 공공장소에서는 약 79 dB의 소음이 발생하였다. 비교적 소음의 크기가 작은 곳으로 판단된, 공원, 사무실에서는 평균 58 dB로 측정되었다. 시끄러운 곳과 조용한 곳의 평균값차이를 보면, 약 20 dB의 차이가 난다.

표 1. 환경별 평균 소음크기
Table 1. Average noise levels at various situations.

환경	음압(dBA)	환경	음압(dBA)
지하철 내부	80.9	대형 마트	78.3
버스 내부	80.4	공원	55.1
지하 승강장	85.7	사무실	61.2
도로변	77.9		

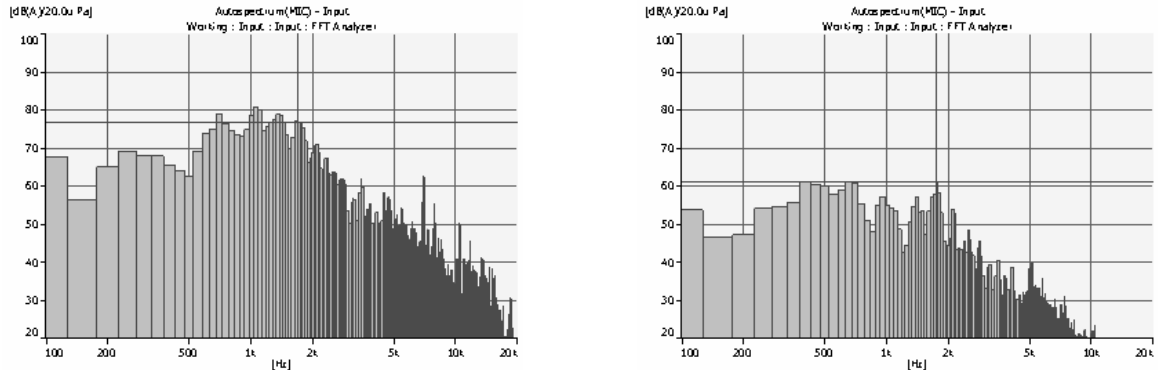

그림 1. 교통수단 이용시 소음(좌)과 사무실 소음(우)
Fig. 1. Noise spectra at transport (left) and office (right) environments.

그림 1에서는 표 1의 환경별 소음 중 교통수단을 이용하는 경우에 대한 주파수 스펙트럼과 조용한 환경으로 평가되는 사무실에서의 주파수 스펙트럼을 비교 하였다. 시끄러운 환경의 대표인 교통수단을 이용하는 경우 500 Hz ~ 2 kHz 대역의 에너지가 높게 나타나고 있으며, 해당 주파수 대역은 사람 귀에 민감하게 들리는 대역이기도 하고, 사람의 목소리 중 에너지가 높게 분포하는 대역이기도 하다. 반면 그림 1에 오른쪽을 보면, 측정한 전 대역에 분포한 에너지의 크기가 낮을 뿐만 아니라 에너지가 집중된 구간도 적게 나타난다.

3.2 휴대전화 발생 음압

휴대전화가 설계되어진 출력 음압을 확인하기 위해 무향실에서 3대의 다른 종류의 휴대전화기와 유선전화 1대를 이용하여 비교 분석 해보았다. 분석 장비는 Bruel&Kjaer 4192 마이크와 3560C Audio Analyzer를 사용하였고 음원은 날씨 안내 방송을 이용해 측정하였다.

3대의 휴대전화와 유선전화기에서 얻어진 주파수별 전화기의 출력음압 분포측정 결과를 토대로 그림 2에 2007년 산업안전보건연구원에서 제시한 인간의 청력에 관한 Auditory field 그래프[6]와 함께 그려보았다. Auditory filed는[6]에 수록된 사람 주변의 소리주파수별 음압분포를 나타낸 그래프이다. 여기서 소음성 난청을 유발할 수 있는 Limit of Damage Risk을 보면 2 kHz 에서 약 88 dB이다.[6] 측정된 결과를 이용하면, 휴대전화의 출력음압이 1 kHz 에서 100

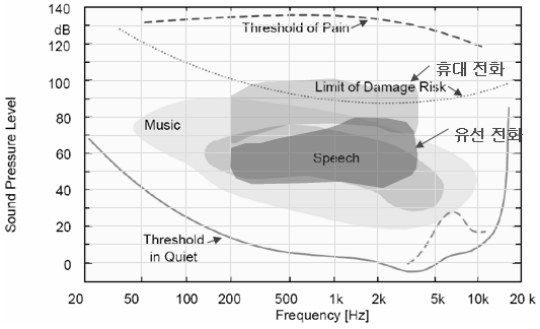

그림 2. 청각 영역[7]
Fig. 2. Auditory field.[7]

dBA의 크기로 출력되고 있다. 반면에 일반 유선전화는 80 dBA를 넘지 않고 있으므로 청력손실 될 우려가 없는 것으로 나타났다.[4-7,11]

측정된 결과를 이용해 휴대전화의 최대 볼륨과 최소 볼륨의 레벨차이는 약 25 dB임을 확인하였다. 출력되어지는 주파수는 휴대전화와 일반 유선전화가 동일하게 200 Hz ~ 3.4 kHz 까지로 측정되었다. 휴대전화의 최대 볼륨에서 약 300 Hz ~ 3.4 kHz 까지 limit of damage risk를 넘어가고 있어 실질적으로 전주파수 대역에서 한계를 초과하고 있음을 확인하였다.

IV. 제안한 골전도 피드백 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 골전도 피드백 시스템이란 골전도 마이크로 입력을 받아 골전도 스피커를 통해 출력을 내는 피드백 구조로서, 사람의 청각 구조중 골도를 이용한 음파전달 부분을 이용해 휴대전화의

음질을 향상하는 시스템을 말한다. 일반적인 휴대전화에는 화자의 음성을 상대로 전하는 마이크와 상대의 음성을 들을 수 있는 스피커로 구성되어있다. 이러한 휴대전화에 골전도 피드벡 시스템을 추가로 구성하여 주변 환경잡음에 대한 영향을 줄이고, 상대방으로부터 들려오는 소리를 잘 전달할 수 있도록 하였다.

그림 3은 제안하는 방식에 대한 블록도이다. 개괄적인 설명은 다음과 같다. 인체를 통해 전달된 환경소음과 전화기 사용하는 사람의 소리를 골전도 마이크와 일반 휴대전화 수화음을 동시에 수음하여 사용자의 음성은 휴대전화 전송 방식에 의해 인코더를 통해 전송하고, 골전도 마이크와 통화용 마이크 값을 이용해 환경 잡음에 대한 보상신호를 준비한다. 그리고 보상신호와 수신 디코더를 통해 수신된 신호를 합성해 골전도 스피커용 출력 신호를 만든다. 그리고 최종적으로 골전도 스피커 출력에 맞는 전력증폭과 신호의 고주파성분 강조를 하여 하모닉스 구조를 강조하였다. 일반 스피커는 수신신호를 일반 휴대전화와 같이 공기중을 통해 사람에게 정보를 전달하도록 하였다.

골전도 피드백 시스템을 이용하면, 달팽이관에서 상쇄 간섭을 이용해 환경 잡음의 영향을 줄이고, 보강 간섭 현상을 이용해 수화음의 하모닉스를 강조하여 휴대전화에서 음질을 향상하는 구조이다. 그림 3에서 A' 신호는 휴대전화의 수신 신호의 고주파 성분을 강조해 신호의 하모닉스 구조를 강조한 것이고, C' 신호는 골전도 마이크를 통해 입력받은 환경잡음의 위상정보가 보상된 신호이다. A'과 C'을 합성한 신호를 모델링 파라미터에 맞추어 값을 조정해 골전도 스피커를 통해 듣는 신호 B신호가 되도록 하였으며, B를 통해 달팽이관에서 직접 및 간접 적으로 A와 C에 영향을 주어 전체 휴대전화 음질을 향상한다. 우리 귀에서 환경 잡음과 골전도 스피커 출력 신호가 역위상 신호를 형성해 서로 상쇄되도록 하며, 일반 스피커 수신음의 고주파 성분이 강조된 소리 또한 합성해 듣게 되므로 우리가 실제 듣는 소리는 잡음제거와 음질향상을 동시에 하도록 하였다.

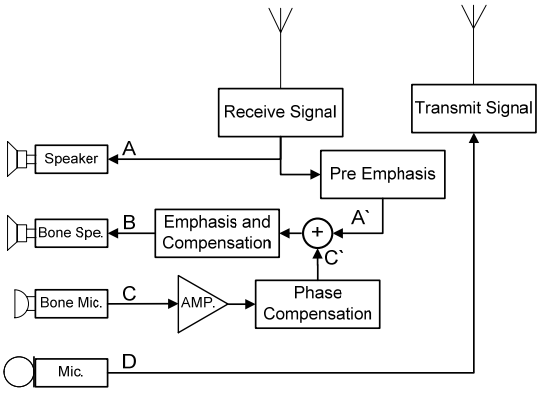

그림 3. 제안하는 방법 블록도
Fig. 3. Block diagram of the proposed method.

다음은 그림 3에서 신호A에서 D까지의 설명과 신호를 표현하는 수식이다.

A : 일반 휴대전화의 수신 음성신호
B : 골전도 스피커를 통해 듣는 조정된 신호
$B = A' + C' + D'$
A' : 수신된 신호의 고주파 강조된 신호 식 (1)
C' : 주변잡음의 위상이 보상된 신호
C : 골전도 마이크를 통해 입력된 신호
D : 일반 휴대전화 마이크로 입력된 신호

V. 실험 및 결과

실험은 일반 휴대전화에 골전도 피드백 시스템을 추가하여 준비하고, 암소음이 30 dB인 무향실에서 야마하 MSP5 Studio 모니터 스피커를 이용해 환경을 구성하였다. 신호의 측정은 휴대전화에 추가한 골전도 마이크 값을 모니터 하였고, 진동 센서 또한 부착하여 값을 확인 하였다. 구성한 시스템의 주파수 응답을 측정하기 위해 무향실에서 골전도 피드백 시스템의 개루프와 폐루프의 주파수 응답을 측정하여 모델링에 필요한 파라미터를 추출하였다. 그리고 주파수 보상모델을 적용한 음원의 휴대전화 수화음질을 확인하였으며, 감성평가를 진행해 시스템의 성능을 평가 하였다.

본 장에서 진행한 실험 결과는 크게 세 가지로 볼 수 있으며 첫째는 그림 3에서 제안된 방법의 골전도 피드백에 해당하는 개·폐루프 응답을 측정하여 모델링 파라미터를 얻고 보상 값을 정하기 위한 실험

및 결과에 해당하는 그림 4와 그림 5에 해당하는 그래프부분이다. 둘째는 그림 6에 해당하는 제안한 방법에 의해 제작된 골전도 피드백 휴대전화에 사람이 듣는 신호에 대한 물리적인 측정값을 보이는 부분이다. 셋째로 제안한 방법에 의해 제작된 골전도 전화기를 이용한 감성평가에 대한 표부분이다.

모델링을 위한 파라미터 추출을 위한 개·폐 루프 주파수 응답을 측정하기 위해 모니터 스피커에서 300 Hz에서 8000 Hz로 증가하는 사인파를 재생하고, 골전도 피드백 시스템의 입력과 출력을 측정하였다.

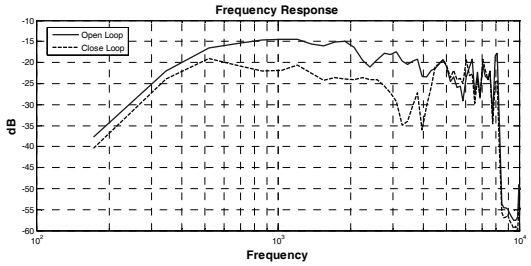

그림 4. 개·폐 루프 주파수 응답
Fig. 4. Frequency response of open-loop and close-loop.

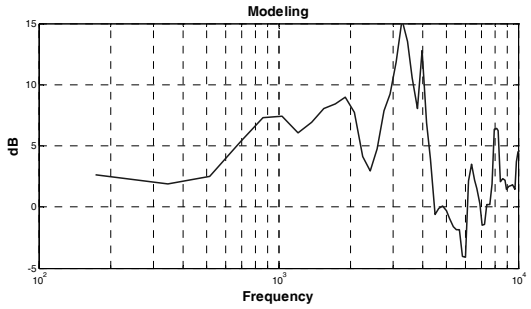

그림 5. 주파수 모델링 파라미터
Fig. 5. Frequency modeling parameter.

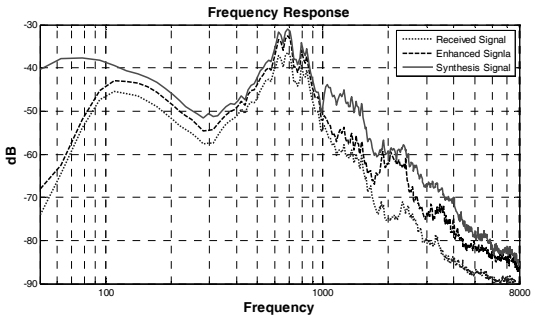

그림 6. 주파수 응답 비교
Fig. 6. Comparison of frequency responses.

그림4는 측정된 주파수 응답을 보이고 있으며, 실선인 위쪽 곡선은 골전도 마이크로부터 스피커까지의 순수한 진동값을 나타내고, 점선인 아래쪽 곡선은 인체가 골전도 피드백 시스템에 미치는 영향을 나타낸 페루프 응답을 나타낸다. 페루프 응답을 보면 600 ~ 4000 Hz에서 5 ~ 10 dB의 감쇠가 일어남을 확인할 수 있다. 점차 4000 Hz이상의 고주파수 응답에서는 골전도 시스템의 특성상 신호의 수집이나 신호의 재생이 어려워 결과 값에 섭동이 포함되어 있는데, 진동이 뼈 및 피부 조직에 전해질 때에, 높은 주파수 성분이 감쇠되기 쉬운 성질이 있기 때문이다.

그림 4에서 얻어진 파라미터를 이용해 그림 5에서는 골전도 피드백 시스템의 보상을 위한 주파수 모델링을 진행 하였다. 골전도 스피커 출력이 사람귀에 미치는 영향인 골전도 등가 힘 역치 레벨[12,13]을 이용해 조정된 값이며, 제안하는 골전도 피드백 시스템에서 수화음의 음질향상에 적용하였다.

그림 6은 그림 5에서 얻어진 모델링 값을 이용해 수신음을 처리한 전후 주파수 응답을 나타낸 그림이다. 모델링된 값이 충분히 반영된 결과는 아니지만, 일반적인 휴대전화의 수신용 스피커와 골전도 스피커에서 발생한 신호가 동시에 사람귀에 들리게 되므로 측정된 신호에서 값이 향상됨을 확인해야 함은 물론이고 감성평가를 통해서 실제로 사람이 사용하는 음량을 측정하고, 계산하여 시스템을 적용하기 전후를 비교하도록 하였다. 그림 6의 합성된 신호를 보면 1000 Hz이상의 고주파수가 약 10 dB 향상됨을 확인 할 수 있고, 2000 Hz 부근에서는 수신 신호를 강화하여 얻어진 결과를 확인 할 수 있다. 전반적으로 100 Hz이하 대역이 골전도 스피커출력이 추가되므로 저주파 진동이 강화되고, 1000 Hz 이상 대역의 신호가 보상되어 수신신호의 명료도가 향상됨을 확인할 수 있다.

수신신호의 주파수 분석과 함께 감성평가도 진행하였다. 감성평가는 무향실에서 실시되었다. 휴대전화 사용 환경을 분석하는 과정에서 취음된 소리를 잡음원으로 이용하여 80 dBA인 잡음 환경을 구성하고, 골전도 피드백 시스템을 이용한 청음 평가를 진행하였으며, 평가에 시료로 사용한 음원은 날씨안내 방송 이다. 수화음은 1단계가 3 dB차이가 나게 설계

표 2. 제안한 골전도 피드백 효과 분석
Table 2. Analysis of effects of the proposed bone conduction feedback.

평가자	ANR 적용 전(dBA)	ANR 적용 후(dBA)	평가자	ANR 적용 전(dBA)	ANR 적용 후(dBA)
#1	99	85	#11	97	84
#2	102	84	#12	99	82
#3	98	74	#13	103	83
#4	97	82	#14	99	85
#5	99	83	#15	97	83
#6	103	89	#16	98	84
#7	101	83	#17	103	85
#8	99	81	#18	102	84
#9	98	83	#19	99	86
#10	101	84	#20	105	83
결과(평균)				99.95	83.35

되었으며 원하는 볼륨은 통화 중 설정하게 하였다. 감성평가는 두 번의 음량 크기를 설정한 값의 차이를 이용하였으며, ANR(Active Noise Reduction)을 하지 않는 경우와 ANR을 사용한경우의 크기 차이로 평가의 결과를 산출하였다.

표 2는 평가자 20명의 감성평가 결과를 나타내고 있다. 실험에서 구성한 80 dBA의 노이즈 환경에서 일반적인 평균 통화음량은 99.95 dBA 이었으며, 제안한 방법을 적용하면 83.35 dBA로 평균 17 dB의 음압을 줄여서 통화하여도 원활하게 통화가 되는 것을 확인하였다. 또한 감성평가 한 사람들의 개인별 차이를 확인해 보면 최대 22 dB의 음압을 줄여서 통화한 사람도 있으며 최소 13 dB 효과가 있는 평가자도 있었다. 기존 연구[2]에서 골전도 스피커만을 이용해 단순히 주변 환경 소음을 중화하는 시스템에서 얻어진 결과보다 약 6 dB 성능이 향상됨을 확인하였으며, 골전도 피드백을 통한 환경 분석 및 골전도 스피커에서 수화음을 합성해 전달하여 6 dB의 추가 이득이 발생한 것으로 판단하였다. 또한 휴대전화 발생 음압뿐만 아니라, 통화한 음원의 명료도 측면에서도 향상된 부분을 확인하였으나, 객관적인 평가를 진행하지 못하여 결과에 첨부하지 못하였다.

VI. 결 론

휴대전화를 사용하는 환경은 대중교통을 이용하는 동안이나 할인마트 등 시끄러운 환경과 사무실이나 가정처럼 조용한 환경이 있다. 다양한 사람과 다양한 환경에서 휴대전화를 이용해 원활한 통신을 하려는 노력은 휴대전화의 수화음 크기를 100 dB보다 크게 하였다. 이렇게 큰 음압은 사용하는 사람에게 소음성 난청을 유발할 수 있어 사용의 주의가 필요하다. 또한 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 골전도 피드백 보상에 의한 음질 향상에 관한 방법을 제안하였다.

골전도 피드백 시스템의 주파수 분석을 통하여 골전도 음원전달을 모델링 하였고, 모델링된 값을 이용해 휴대전화의 수화음을 조정하고, 하모닉스 구조를 강조할 수 있었다. 또한 골전도 스피커를 통하여 상쇠간섭을 이용한 잡음을 중화하는 기능을 통하여 휴대전화를 사용하는 환경 잡음의 영향을 약 10 dB 줄여주고, 골전도 마이크를 통해 음성신호를 강화하는 방법을 통해 6 dB의 추가적인 성능 향상을 확인하였다.

향후 연구로 골전도 시스템 자체의 응답성능을 개선하는 연구를 통해 잡음제거 성능을 향상하도록 하겠다.

참고문헌

1. 박형우, 이성태, 배명진, "다양한 잡음 환경에서 통화 가능한 SNR에 관한 연구," *한국음향학회 춘계 학술대회논문집*, 29권, 1(s)호, pp. 36-37, 2010.
2. 이성태, 박형우, 배명진, "휴대전화 사용에 따른 소음성 난청예방에 관한 연구," *한국음향학회 춘계 학술*

대회논문집, 29권, 1(s)호, pp. 501-502, 2010.
3. 박현구, 신용구, 김향, 송민정, 김선우, "도시 환경음의 음질 평가," *한국소음진동공학회, 2005년도춘계학술대회논문집*, pp. 529-534, 2005.
4. 권형준, 배명진, "소음성 난청 예방을 위한 자가청력 측정법에 관한 연구," *한국음향학회지*, 29권, 3호, pp. 184-190, 2009.
5. 배명진, 이상효, *디지탈 음성분석*, 동영출판사, 1998.
6. "소음측정 및 평가," 산업안전보건연구원 안전위생연구센터, 2007.
7. 고의경, "난청의 진단," *Journal of Clinical Otolaryngology, Head and Neck Surgery*, 14권, 2호, pp. 161-167, 2003.
8. 박우철, 이상봉, 이선희, *음향기술총론*, 차송, 2009.
9. P. Henry and T. R. Letowski, "Bone Conduction : Anatomy, Physiology, and Communication," U.S. Army Research Laboratory, no. ARL-TR-4138, Tech. Rep., May, 2007.
10. 김재수, *소음진동학*, 세진사, 2006.
11. 김진우, 배명진, "이어폰 음압에 따른 청력손실에 관한 연구," *대한전자공학회 하계종합 학술대회지*, 32권, 1호, pp. 1086-1087, 2009.
12. KS I ISO 8253-1, *음향학- 청력검사 방법 1부: 기본순음 공기 및 골전도 청력 역치 측정법*, 2003.
13. KS C IEC 60373, *골도 진동자 측정용 역학 커플러*, 2001.

저자 약력

▸ **박 형 우(Hyung-Woo Park)**

2004년: 숭실대학교 정보통신전자공학부(공학사)
2010년: 숭실대학교 정보통신공학과(공학석사)
2010년 ~ 현재: 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정

▸ **임 원 석(Won-Seok Lim)**

2005년: 한국항공대학교 항공전산학과(학사)
2010년 ~ 현재: 숭실대학교 정보통신융합학과 석사과정

▸ **배 명 진(Myung-Jin Bae)**

1992년 ~ 현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수