

잡음환경에서 휴대전화 사용에 따른 소음성 난청예방 기술에 관한 연구

A Technique for Preventing Noise Induced Hearing Loss Due to Mobile Phone Use Under Noisy Environment

박 형 우*, 이 성 태**, 배 명 진*
(Hyung-Woo Park*, Sung-Tae Lee**, Myung-Jin Bae*)

*송실대학교 정보통신공학과, **송실대학교 정보통신융합학과
(접수일자: 2011년 1월 12일; 수정일자: 2011년 3월 22일; 채택일자: 2011년 5월 4일)

사람의 청력은 노화로 인해 자연스럽게 저하된다. 하지만 최근 들어 젊은 나이에 난청이 발생하는 경우가 크게 늘고 있다. 이처럼 난청인구가 증가하는 가장 큰 이유는 각종 휴대용 멀티미디어 기기의 대중화에 기인한다. 현재 이어폰/헤드폰으로 유발되는 소음성 난청 연구는 많이 이루어지고 있으나, 직접적인 휴대전화 통화에 따른 소음성 난청유발에 대한 연구는 거의 없다. 본 연구에서는 선행 조사를 토대로, 골전도 스피커에 Active Noise Reduction 기술을 접목하여 소음성 난청을 예방하는 기술을 제안한다. 이 기술은 주변소음을 골전도 스피커를 통해서 능동적으로 역위상 진동을 부과하여 노이즈를 줄이는 방법이다. 제안한 시스템을 적용할 경우 실제 청각에 유입되는 소음레벨이 12 dB 이상 감소되며, 이러한 음량 감소폭은 휴대폰 통화에 따른 소음성난청 요인을 근본적으로 예방하는 것이다. 감성실험 결과 통화음량이 감소된 상황에서도 원활한 통화가 가능하였다.

핵심용어: 소음성 난청, 잡음환경, 잡음제거, 골전도 전화
투고분야: 음성처리 분야 (2,3)

Human auditory acuity decreases naturally due to aging. But recently cases of impaired hearing at a young age are increasing greatly. The biggest reason for such an increase of population with impaired hearing is popularization of various kinds of portable multimedia appliances. Many studies on impaired hearing due to noises caused by the earphone and headphone are being made, but there are few studies on noise-impaired hearing caused directly by mobile phone communication. Based on a precedent inquiry, this study proposes a technique for preventing noise-impaired hearing applying to an active noise reduction technique onto bone conduction speaker. This technique is a method for reducing noises by antiphase oscillation through bone conduction speaker with ambient noises. If the proposed system is applied, the noise level that is actually introduced to audition decreases by more than 12 dB, and such a decreased amount of sound volume fundamentally prevents the factors of noise-caused hearing difficulty due to mobile phone communication. Sensibility test results showed that adequate communication was possible even in such a situation where communication volume was decreased like this.

Keywords: Noise Induced Hearing Loss, Noise Environment, Noise Reduction, Bone Conduction Phone
ASK subject classification: Speech Signal Processing (2,3)

I. 서론

정보통신 기술의 발전으로 휴대전화나 스마트 폰이 널리 보급되고 이용되고 있다. 국민 1인당 1대 이상 사용될

만큼 그 수요와 사용처가 다양하다. 이러한 이유에서 사람들은 매우 다양한 환경에서 휴대전화를 사용하고 있으며, 더욱 원활하고 명확하게 정보를 교환하고자 노력한다. 특히 휴대전화는 환경소음이 적은 곳에서는 물론 그렇지 않은 소음이 심한 환경에서도 많이 이용되고 있다. 그리고 휴대전화 제작되는 과정에서 이러한 소음 환경을 고려해 잡음보다 큰 수화음을 만들어 사람 귀에

들려주도록 하고 있다 [1-2].

사람들이 살아가는 환경은 매우 다양하다. 특히 도시에서는 다양한 활동들이 발생하고, 그와 수반된 여러 소리가 존재한다. 자동차, 기차, 비행기 등 교통수단에서 발생하는 소리, 상업용 건물들에서 발생하는 소리, 보행자가 많은 도로에서 나는 대화소리, 아이들 뛰어노는 소리 등 다양한 위치에서 공간의 특색에 따른 소리를 발생하게 된다. 최근 들어 자동차의 증가와 도로의 확대, 주택이 도로와 인접해서 건설됨에 따라 교통소음으로 인한 피해건수가 해마다 늘고 있고 발생민원 역시 증가하고 있는 실정이다. 특히 정숙을 요하는 공간인 주택이나, 병원, 학교의 경우 도로 여건 변화로 인해 교통음 피해에 시달리는 곳이 증가하고 있다 [1-5].

사람의 귀는 20 Hz ~ 20,000 Hz 범위의 소리를 들을 수 있다. 또한 나이가 들수록 이 범위의 소리가 줄어들게 되며, 점차 고음 영역부터 못 듣게 된다 [5-8]. 난청은, 여러 가지 이유에서 사람의 소리를 인지하지 못하는 병을 뜻한다. 그리고 난청의 종류에 따라 감각신경성 난청과 전음성 난청으로 나눌 수 있는데, 소음에 의해 청각 세포가 손상되는 것을 소음성 난청이라고 말한다. 오늘날 이러한 난청을 호소하는 연령대가 점차 낮아지고 있으며, 그 원인은 다양할 수 있으나, 근본적인 원인은 사람의 귀가 큰 소리에 노출되어 청세포가 손상되는 것으로 볼 수 있다 [5-8].

일반적으로 소음성 난청의 경우 고주파에서부터 시작하여 서서히 저주파로 내려오지만 휴대전화의 경우 사용되어지는 주파수가 목소리 대역인 4 kHz 까지만 사용되어지고 있고 소음환경에서 명료도 향상을 위해 1 kHz ~ 3 kHz 까지를 과도하게 사용하고 있다. 또한 소음환경에서 휴대전화를 사용하는 점을 고려하여 소음보다 높음 음압이 수화기에서 발생하도록 휴대전화가 설계되고 있다. 이러한 원인으로 인해 휴대전화를 이용해 소음환경에서 장시간 사용하게 되면 청각신경이 둔해져서 결국에는 난청을 유발할 수 있다 [1,2,5].

본 논문에서는 휴대전화에 의한 난청을 예방하기 위하여, 휴대전화가 사용되는 환경을 분석하여 그 특성을 파악하고, 분석한 결과를 토대로 능동 잡음제거기술을 통하여 휴대전화를 사용하는 사람의 청력을 소음성 난청으로부터 보호하고자 한다. 논문의 2절에서는 청각의 특성과 난청예방법에 대하여 살펴보고, 3절에서는 휴대전화 사용 환경을 분석하였다. 4절에서는 제안하는 소음성 난청 예방법을 소개하고, 5절에서는 실험 및 결과를 확인하고 6절에서 결론을 맺는다.

II. 청각특성과 난청 예방법

2.1. 청각 구조

귀는 인간의 감각기관 중에서 청각을 담당하고 있다. 인간의 청각기관을 해부학적으로 고찰하면 외이, 중이, 내이로 나눌 수 있다. 귀는 매우 약한 음파를 청신경의 전기적 신호로 바꾸는 변환기에 해당한다. 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 [5,8]에 연구되었다. 인간이 소리를 인식하는 과정은 [5]에서와 같이, 음원이 파동으로서 공기를 통해 전달되고 귓바퀴인 외이로부터 중이, 내이를 거쳐 신경계통을 통해 뇌로 전달되어 인지된다 [5-6].

2.2. 청력손실 (난청)

청력손실은 다른 장애에 비하여 쉽게 인식되지 않는다. 심지어 청력 손상이 심한 경우라도 지나쳐 버리는 수가 있다. 건강한 사람의 가청주파수 범위는 20~20,000 Hz로써 들을 수 있는 소리에 한계가 있다. 또한 노화가 진행될수록 가청 한계대역이 줄어들며 고음 영역부터 점차 못 듣게 된다.

청력 손실은 원인과 현상에 따라 다양하게 분류된다 [8]. 본 논문에서는 감각신경성 난청에 대하여 다루고 있으므로 간단하게 안내 하고자 한다. 감각신경성 난청은 내이나 청신경이 손상되는 경우이고, 노화, 소음, 약물 등에 의해 발생되며 원인이 제거되더라도 한번 손상된 청신경이나 내이는 쉽게 복원되지 않는다 [5,8].

소음성 난청은 인체가 큰 음압에 장기간 노출될 경우 달팽이관 내부의 유모세포가 손상되어 청력이 저하되는 것을 말한다. 소음에 의한 유모세포의 손상은 달팽이관의 타원창에 가까운 최외각 유모세포부터 영향을 받음으로써 회화대역 (250~8,000 Hz) 이상의 고주파수에서부터 점차 소리를 듣지 못하게 된다 [8].

유모세포는 재생능력이 있어서 일시적인 손상에 대해서는 부분적으로 24시간 이내에, 전체적으로는 72시간 이내에 회복할 수 있다. 이러한 일시적인 청력손실을 일시적 난청이라 한다. 그러나 일시적 난청이 자주 반복되면서 유모세포의 재생능력이 현저히 저하되는 현상을 영구적 난청이라고 한다. 표 1은 미국 노동안전 위생국

표 1. 음압레벨에 따른 허용 청취 시간 (OSHA규정)
Table 1. Allowed Hearing Time by Sound Pressure Level.

음압 레벨	85 dB(A)	90 dB(A)	95 dB(A)	100 dB(A)	105 dB(A)	110 dB(A)
1일 허용시간	16시간	8시간	4시간	2시간	1시간	30분

(OSHA, Occupational Safety and Health Administration)에 규정되어 있는 음압레벨에 따른 1일 허용 청취 시간을 나타낸다. 해당 음압레벨의 허용시간을 초과할 경우 유모세포가 손상을 입어 청력에 손실을 줄 수 있다 [12].

2.3. 소음성 난청 예방

괴롭고 원치 않는 큰 소리를 소음이라 하는데 이러한 소음에 의해서 발생하는 감각신경성 난청을 소음성난청이라고 한다. 소리를 감지하는 기관, 즉 달팽이관이 손상된 경우이며 특히 고주파를 감지하는 외유모세포가 주로 손상 받게 된다. 보통 85 dB 이상 소음에 지속적으로 노출될 때는 귀에 손상을 줄 수 있다 [8,12].

소음성 난청은 초기의 경우 고음을 인지하는 기능만 떨어져 조기발견이 어렵다. 하지만 일단 그 이하 주파수까지 난청이 진행된 다음에는 치료방법이 없는 만큼 조기진단과 예방이 특히 중요하다. 예방법으로는 큰 음압에 신체를 노출시키지 않도록 해야하고, 노출이 되는 시간을 짧게 하도록 해야 하며, 귀마개나 귀뭉개를 이용해 소리 귀로 직접 전달되지 않도록 막아야 한다. 그리고 충분한 휴식을 취해 손상된 유모세포가 복원되도록 해야 한다. 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 [5,8,11,12].

III. 휴대전화 사용 환경 분석

3.1. 환경 소음의 측정

휴대전화의 사용 환경을 보면 조용한곳뿐만 아니라 시끄러운 소음환경에서도 통화가 원활히 되어야 한다. 그래서 사용자가 있는 곳이라면 어떠한 환경에서도 상대방과 통화하기에 불편함이 없어야 한다. 이러한 특징은 유선전화와 비교해서 많은 사용 환경에 대한 경우의 수가 생긴다. 그리고 사용하는 환경에 따라서 소음의 정도가 심한 곳이 있는가 하면, 조용한 곳도 있다. 그중에서도

표 2. 환경별 평균 소음크기
Table 2. Average Noise Level of 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		

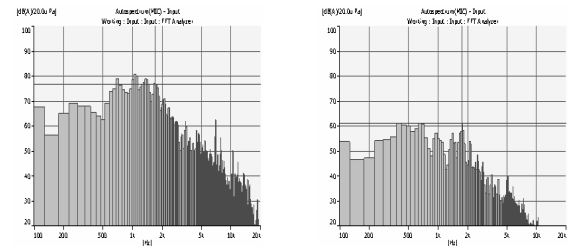


그림 1. 교통수단 이용시 소음 (좌)과 사무실 소음 (우)
Fig. 1. Spectrum of Using Transport and Office.

대중교통을 이용하면서 휴대전화를 사용하는 빈도가 높다. 또한 쇼핑을 하거나, 길거리를 걸어가며 통화를 하는 사람도 있다. 이러한 다양한 사람과 다양한 환경을 모두 측정하여 비교의 대상으로 정해야 하지만 정보 수집의 효율성을 고려하여 몇 가지 이동전화를 사용하는 환경으로 분류하여 환경잡음을 분석했다 [1].

휴대전화 사용을 상황과 장소와 시간으로 구분하여 반복 녹음 및 평균 음압크기를 측정하였다. 측정을 위한 장비는 Bruel&Kjaer Precision Sound Analyzer Type 2260 마이크로폰과 Notebook PC를 가지고 44.1 kHz 16 bit mono로 녹음하여 소음원을 확보하고 분석하였다. 표 2에서 측정된 평균 잡음 크기를 보이고 있다. 한 장소에서 약 5분간의 측정하였고, 10회의 반복된 측정을 하여 평균값을 표기 하였다. 소음 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 정도가 낮은 곳으로 판단된, 공원, 사무실에서는 평균 58 dB로 측정되었다. 시끄러운 곳과 조용한 곳의 평균값차이를 보면, 약 20 dB의 차이를 보이고 있다.

그림 1에서는 환경별 측정된 소음환경 중 교통수단을 이용하는 경우에 대한 주파수 스펙트럼과 조용한 환경으로 평가되는 사무실에서의 주파수 스펙트럼이다. 표 2에서 확인된 것처럼 시끄러운 환경과 그렇지 않은 환경의 스펙트럼을 비해 보았다. 시끄러운 환경의 대표인 교통수단을 이용하는 경우 500 Hz ~ 2 kHz 대역의 에너지가

높게 나타나고 있으며, 이 대역은 사람귀에 민감하게 들리는 대역이기도 하고, 사람의 목소리 중 에너지가 높게 분포하는 대역이기도 하다. 반면 그림 1에 오른쪽을 보면, 에너지의 크기가 낮을 뿐만 아니라 에너지가 집중된 구간이 적다.

3.2. 휴대전화 수화기 발생 음압의 특성

휴대전화가 설계되어진 출력 음압을 확인하기 위해 무향실에서 3대의 휴대전화기와 유선전화 1대를 이용하여 비교 분석 해보았다. 분석 장비는 Bruel&Kjaer 4192 마이크와 3560C Audio Analyzer를 사용하였고 음원은 131 날씨 방송을 최대볼륨에서 측정하였다.

3대의 휴대전화와 유선전화기에서 얻어진 주파수별 전화기의 출력음압 분포측정 결과를 토대로 그림 2에 2007년 산업안전보건연구원에서 제시한 인간의 청력에 관한 Auditory field 그래프와 함께 그려보았다 [7]. Auditory field는 산업안전보건연구원 안전위생연구센터에서 제공하는 ‘소음측정 및 평가’란 보고서에 수록된 사람 주변의 소리주파수별 음압분포를 나타낸 그래프이다. 여기서 소음성 난청을 유발할 수 있는 Limit of Damage Risk을 보면 2 kHz에서 약 88 dB이다 [7]. 측정된 결과를 이용하면, 휴대전화의 출력음압이 2 kHz에서 100 dBA를 초과하여 출력되고 있다. 반면에 일반 유선전화는 80 dBA를 넘지 않고 있으므로 청력손실 될 우려가 없는 것으로 나타났다 [11-12].

측정된 결과를 이용해 휴대전화의 최대 볼륨과 최소 볼륨의 레벨차이는 약 25 dB 차이가 나고 있음을 확인하였다. 출력되어지는 주파수는 휴대전화와 일반 유선전화 동일하게 200 Hz ~ 3.4 kHz까지로 측정되었다. 휴대전화의 최대 볼륨에서 약 300 Hz ~ 3.4 kHz까지 limit of damage risk를 넘어가고 있어 실질적으로 전주파수 대역에서 한계를 초과하고 있음을 확인하였다.

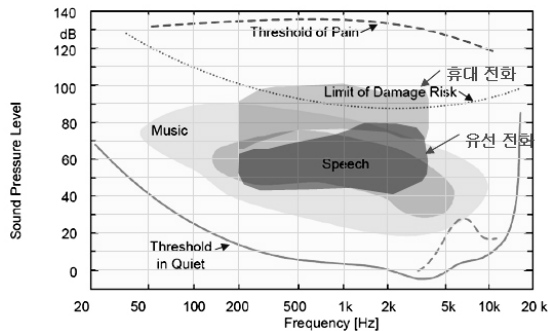


그림 2. 청각 영역 [7]
Fig. 2. Auditory field [7].

IV. 잡음 중화를 이용한 소음성 난청예방법

4.1. 제안하는 방법

소리는 공기의 진동, 떨림의 형태로 나타나고, 전달전파 된다. 이때 음원이 두 개 이상인 경우 생성되는 간섭현상 중 소멸간섭을 이용하였다 [9-10]. 소멸간섭을 이용해 사용환경 소음의 크기를 줄여 휴대전화를 이용한 정보 전달은 원활하게 하고, 소음으로 인한 피해를 줄이는 방법이다. 이것을 구성하기 위해 휴대전화에 별도의 마이크와 골전도 스피커를 이용하였고, 우리 귀에 유입되는 환경 소음의 역 위상에 해당하는 소리를 골전도 스피커를 통해 들려주어 소음의 영향을 줄이는 방법이다.

4.2. 골전도 스피커

일반적인 스피커는 공기를 통해 고막 (Eardrum)을 진동하여 청신경을 자극하여 소리를 전달한다. 반면에 골전도 스피커는 청신경 주위의 뼈를 가진하여 청신경을 자극하여 소리가 전달된다. 이러한 골전도 스피커의 장점은 장시간 사용하더라도 청각에 무리가 없고 외부의 소리와 골전도를 통한 소리를 동시에 청취가 가능하여 갑작스런 주변의 위험을 대처할 수 있다. 또한 소음환경에서도 정확한 통신이 가능하다. 이러한 골전도 스피커의 응용 분야는 청각 장애인용 통신기기 및 멀티미디어 가전제품, 인터넷폰, 휴대전화용 블루투스 헤드셋과 군사용으로 많이 사용되어지고 있다.

그림 3은 골전도 스피커의 구조이다 [14]. Frame은 골전도 스피커의 구조를 형성해 주는 뼈대이다. Yoke는 자계회로를 형성하는 역할을 하며 Metal이다. Permanent Magnet은 착자를 통한 영구자석이며 Top Plate는 마그네틱 자계를 밀집시켜 보이스코일에 집중시키는 역할을 한다. Vibration Plate는 보이스코일을 통해 전달된 상하

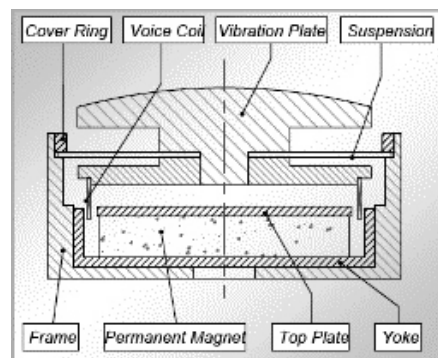


그림 3. 골전도 스피커 구조도
Fig. 3. Structure of Bone Conduction Speaker.

운동을 인체의 뼈로 전달하는 역할을 한다. Suspension 은 큰 신호가 들어왔을 경우 골전도 스피커가 견딜 수 있을 정도의 진폭으로 진동하게 하고 구동시 편 진동을 통한 구조적인 파손을 방지하기 위한 역할을 한다. Cover Ring은 Suspension을 Frame에 고정시키는 역할을 한다 [14].

4.3. 골전 스피커를 이용한 ANR (Active Noise Reduction)

소음은 일반적으로 예측이 불가능 하다. 주파수와 레벨이 일정한 주기를 가지고 있는 것이 아니라 시시각각 변화한다. 이러한 소음에 능동적으로 반응하기 위해 실시간으로 소음 모니터링이 필요하다. 소음 모니터링으로 MEMS 마이크를 이용하여 취음하고 프리앰프로 전압증폭 및 위상을 반전시키며 파워앰프를 이용하여 스피커를 구동하였다.

골전도 스피커로 효과를 분석해 보기 위해 지름이 13 mm 원형 4T와 4.3T 두께가 다른 두 가지 타입을 휴대전화에 적용하였다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 휴대전화의 진동모터 자리에 골전도 스피커를 조립하여 테스트를 하기위한 시료를 만들었다.

시료로는 일반 통화용 스피커 옆에 진동모터가 있는 모델을 선정하여 통화할 때 휴대전화를 귀에 가져다 대는 위치를 동일하게 하였다. 마이크는 -30 dB 감도를 가지는 MEMS 마이크를 적용하였으며 앰프는 이득이 20 dB 인 일반 아날로그 타입의 앰프를 적용하여 테스트 보드를 만들었다. 환경소음이 우리 귀로 입사되는 것을 고려하여 마이크의 위치는 휴대전화의 뒷면 사람귀의 위치로 예상되는 부분에 부착하였다. 그림 4는 휴대전화에 구현된 블럭도이다.

일반적인 휴대전화 수신은 전파를 안테나를 통해서 받고, 받은 디지털 신호는 Rx-Decoder를 통해서 아날로그 신호로 변환되며, 파워앰프를 통해서 증폭이 되고 스피

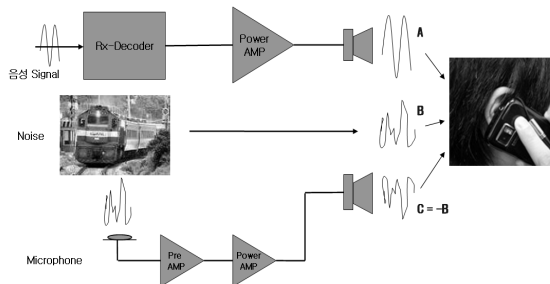


그림 4. 휴대전화 사용에 관한 블럭도
Fig. 4. Block Diagram of Usage of Mobile Phone.

커를 통해서 귀에 음성신호가 전달된다. 주변소음은 공기를 통해서 동시에 귀에 유입된다. 일반적인 휴대전화는 음성신호와 주변소음이 혼합된 소리가 사용되고 있으며 주변잡음이 크면 통화하는데 불편함을 느끼게 된다. 따라서 제안한 방법은 통화용과는 별도의 마이크를 통해서 주변소음을 취음하고 프리앰프에서 위상을 반전하고 전압증폭을 하고 파워앰프에서 골전도 스피커를 구동하기 위한 전류증폭을 하게 된다. 잡음을 중화하기 위한 신호도 들어오면 결국에는 주변소음이 상쇄되고 최종적으로 휴대전화 수신음이 남는다.

$$\begin{aligned} \text{사람이듣는소리}(t) &= \text{음성신호}(t) + \text{주변소음}(t) + \text{골전도출력}(t) \quad (1) \\ \text{주변소음}(t) &= -\text{골전도출력}(t) \end{aligned}$$

식 (1)과 같이 주변소음에 따라서 동일한 비로 골전도 출력과 상쇄 되기 때문에 능동적으로 소음을 줄일 수 있다. 마이크와 스피커는 원 신호를 그대로 받아들일 수 있는 평탄한 주파수 특성을 가진 부품을 이용했다.

V. 실험 및 결과

5.1. 실험 방법

제안한 방법의 결과를 확인하기위해 두 가지 실험을 수행 하였다. 첫째는 골전도 스피커의 성능을 검증하기 위해 골전도 스피커의 진동량을 측정하였고, 둘째로는 실제 사람귀에 어떻게 들리고 효과가 있는지를 평가하였다. 골전도 스피커의 성능을 평가하기 위해서는 일반 마이크를 이용할 수 없어 골전도 스피커의 진동량을 측정하고 이 진동량을 음향특성으로 변환하여 특성을 분석하였



그림 5. 마이크, 앰프, 골전도 스피커
Fig. 5. Mic., Amp., Bone conduction speaker.



그림 6. 역학 커플러 위의 스피커와 진동센서
Fig. 6. Speaker and Vibration sensor on Coupler.

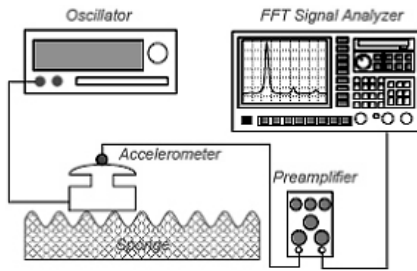


그림 7. 골전도 스피커 측정 구성도
Fig. 7. Testing of Bone Conduction Speaker.

다. 사람귀를 이용한 감성평가는 20대 건강한 남녀 20명이 잠음환경에서 사용한 휴대전화 수신음과 잠음 중화된 휴대전화 수신음을 비교하여 그 결과를 이용하였다.

그림 5는 실험에서 사용된 골전도 스피커와 MEMS 마이크, 앰프의 사진이다. 그리고 그림 6은 진동량 측정을 위해 골전도 스피커를 커플러에 부착한 모습이다.

그림 7은 골전도 스피커의 측정 장비 구성도이다. 측정 시 스펀지 위에 골전도 스피커를 두고 진동센서를 붙여서 측정하였다. 골전도 측정은 좀더 현실적인 측정을 위해 100 g 무게의 지그에 골전도 스피커를 부착하고 가속도 센서를 부착하여 진동량을 측정하였다. 실험은 Signal Analyzer를 이용해 입력신호 대 출력진동 크기를 측정하였다. 주파수별 입력 대 출력 신호비를 측정하여 골전도 스피커의 주파수 대역별 예상 출력 및 음향 특성으로의 변환을 통해 예상 가능한 골전도 스피커의 ANR 가능 여부를 판단하였다.

식 (2)는 진동량을 측정하기위한 기본 수식이다. 지그의 무게에 의한 영향이 있음을 알 수 있고, 휴대전화의 무게와 근접한 지그를 기준으로 측정하였으며 이 무게 차이로 약간의 오차는 발생할 수 있다.

$$\text{진동량} = 20\log \frac{\text{실진동가속도} \times \text{mass}(\text{dummy})}{\text{기준진동량}(1\mu\text{N})} \quad (2)$$

5.2. 실험 결과 1 진동량 평가

그림 8은 10 Hz ~ 20 kHz의 대역에서 진행된 실험결과이다. 4T와 4.3T 두 스피커에 대한 주파수응답 결과이다. Sample 2는 4.3T 모델로 잠음이 주로 분포하고 있는 300 Hz ~ 2000 Hz에서 Sample 1보다 응답결과가 평탄하고 500 Hz 미만에서 평균 10 dB 높게 측정되었다. 그리고 측정된 결과로부터 등가 역치 힘레벨 (Equivalent threshold force level)을 이용해 골전도 스피커가 발생시킨 진동이 사람 귀에 느껴지는 진동별 주파수 민감도로 변환하여 결과를 분석하였다.

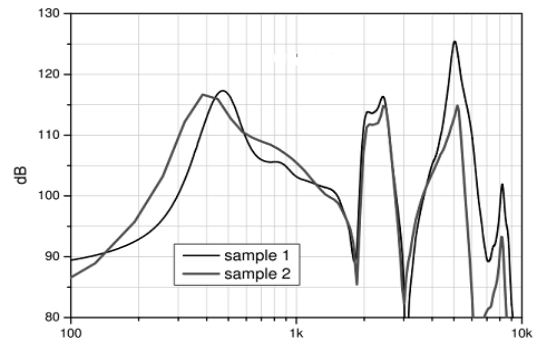


그림 8. 골전도 스피커의 진동량 측정 결과
Fig. 8. Vibration Test Result of Bone Conduction speaker.

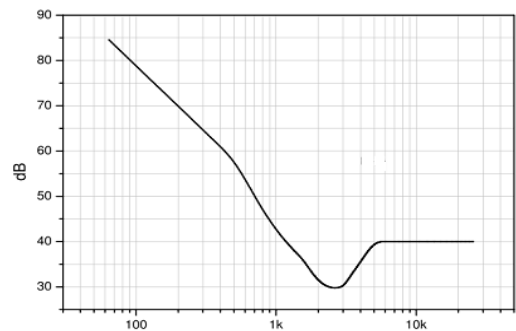


그림 9. 골전도 등가 역치 힘 레벨
Fig. 9. Equivalent threshold force level.

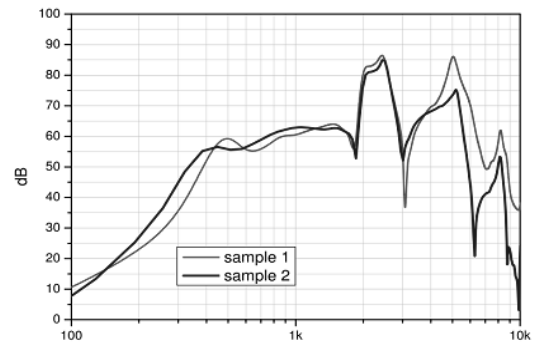


그림 10. 골전도 스피커의 음향 특성으로 변환한 특성
Fig. 10. Transformed Sound Property of Bone Conduction Speaker.

그림 9는 등가 역치 힘 레벨을 나타낸 그래프이다. 그림에서 수치가 높을수록 큰 에너지의 진동을 만들어야 같은 크기에 소리로 귀에 전달되는 것이다. 가장 민감한 영역은 2~3 kHz이고 둔감한 100 Hz에서는 약 50 dB의 감도차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 골전도 스피커의 진동량을 측정하여 사람에게 들리는 음향 특성으로 변환하는 것은 측정된 값에서 주파수별 가청한계 값을 빼면 된다 [13-14].

그림 10은 골전도 스피커의 음향특성으로 변환한 특성이다. 음향특성으로 변환할 경우도 마찬가지로 Sample

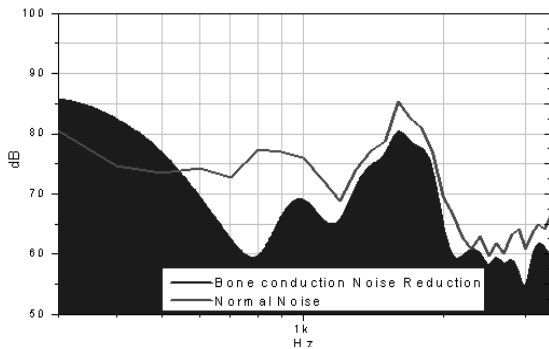


그림 11. 제안한 ANR효과 분석 결과
Fig. 11. Experiment Result of Proposed ANR.

2의 저역 특성이 Sample 1보다 우수한 결과를 얻었다.

그림 11은 잡음이 실제로 얼마나 감소되는지 확인한 결과이다. 측정은 B&K장비 Torso로 휴대전화를 귀에 밀착한 상태로 측정하였다. 환경 잡음에 평균 음압은 80 dBA이다. 제안한 방법을 적용하였을 경우 800 Hz에서 최대 18 dB 감소효과가 나타났고, 전 대역에서 10~15 dB의 잡음을 제거하는 효과를 확인하였다. 하지만 500 Hz 이하에서는 골전도 스피커의 전달 특성상 잡음 크기보다 스피커 출력이 증가한 것으로 분석되었다.

5.3. 실험 결과 2 감성평가

감성평가는 암소음 25 dB인 무향실에서 실시되었다. 휴대전화 사용 환경을 분석하는 과정에서 취음된 소리를 잡음원으로 이용하여 Yamaha MSP5 Studio 모니터 스피커를 사용해 85 dBA인 잡음 환경을 구성하고, 골전도 스피커를 이용한 ANR의 효과분석을 하였다. 사용한 신호음으로는 휴대전화 사용상태에서 이용한 것과 같은 131 낱씨방송을 이용하였다. 통화볼륨은 1단계가 3 dB로 설정되었으며 원하는 볼륨은 통화 중 설정하게 하였다. 감성평가는 두 번의 음량 크기를 설정한 값의 차이를 이용하였으며, ANR을 하지 않는 경우와 ANR을 사용한 경우의 크기 차이로 평가의 결과를 산출하였다.

표 3은 평가자 20명의 감성평가 결과를 나타내고 있다. 실험에서 구성한 85 dBA의 노이즈 환경에서 일반적인 평균 통화음량은 100.5 dBA였으며, 제안한 ANR을 적용하면 88.5 dBA로 평균 12 dB의 음압을 줄여서 통화하여도 원활하게 통화가 되는 것을 확인하였다. 또한 감성평가한 사람들의 개인별 차이를 확인해 보면 최대 18 dB의 음압을 줄여서 통화한 사람도 있으며 최소 6 dB 효과가 있는 평가자도 있었다.

제안한 방법에 의한 진동량 평가 및 감성평가를 고려할

표 3. 제안한 ANR 효과 분석
Table 3. Experiment result of proposed ANR.

평가자	ANR 적용 전 (dBA)	ANR 적용 후 (dBA)	평가자	ANR 적용 전 (dBA)	ANR 적용 후 (dBA)
#1	99	93	#11	93	83
#2	105	90	#12	105	87
#3	102	93	#13	99	87
#4	99	87	#14	102	90
#5	102	90	#15	99	87
#6	99	84	#16	105	93
#7	102	87	#17	102	93
#8	96	90	#18	93	87
#9	105	87	#19	105	87
#10	96	87	#20	102	87
결과 (평균)				100.5	88.5

때 골전도 스피커를 이용한 잡음중화는 약 10 dB의 잡음을 중화하여 통화음의 크기에 그만큼의 이득이 있음을 확인하였다. 즉 ANR을 사용함으로써 수화음을 평균 12 dB 줄일 수 있었으며, 이것은 평균크기 88 dBA로 적은 영향을 주게 됨을 확인하였다.

VI. 결론

현대인들은 문명의 발달로 인해 각종 소음에 항상 노출되어있다. 불행하게도 이 높은 음압의 소음은 인체의 청신경을 지속적으로 자극하고 둔화시켜 결국에는 소음성 난청을 일으켜 영구적으로 치료 불가능수준으로 만든다. 이러한 청력손실 환자들은 정보통신 시대에 각종 멀티미디어 기기의 등장과 새로운 기술이 접목되면서 점점 늘어나고 있다.

본 논문에서는 휴대전화가 사용되어지는 환경소음에 대해서 분석을 하여 상황별 소음의 레벨과 주파수 분포를 확인하였다. 그리고 이러한 환경에서 사용되는 휴대전화의 발생음압을 측정하였다. 측정 및 실험결과 소음이 심한 환경의 평균값인 약 85 dBA인 환경에서 사람들은 평균 101 dBA의 수화음 크기로 통화함을 발견하였다. 과도한 음압이 지속적으로 우리 귀를 자극하면 결국에는 소음성 난청을 유발될 수 있다. [11]에 나타나 있는 바와 같이 100 dBA 이상의 큰 소리로 2시간 이상 통화를 하게 되면 소음성 난청이 급속하게 진행된다.

제안한 골전도 스피커를 이용한 ANR을 적용하면 동일한 크기의 잡음 환경에서 기존보다 12 dB를 낮추어 수화음을 결정하여도 통화하는데 문제가 없는 것으로 감성평가 결과를 통해 확인하였다. 휴대전화의 높은 출력레벨

로 인한 소음성 난청을 예방할 수 있음을 확인하였다.

향후에는 잡음을 모델링하여 골전도스피커를 이용한 효과적인 ANR 기술연구가 필요하다. 5.2절의 실험결과 1의 그림 10을 보면 골전도 스피커는 주변소음을 중화하기 위한 역위상 소리크기를 만들어 낼 수 있지만 이 실험에서 사용된 아날로그 앰프와 마이크에 대한 전달지연에 대한 분석이 이루어지지 않았다. 그래서 다소 작아 보이는 보상결과를 나타냈다. 향후 앰프와 마이크 그리고 잡음에 대한 모델분석을 통한 효율적인 ANR에 대하여 연구하도록 하겠다. 그리고 최종적으로는 통화하는 스피커에 상쇄시키고자 하는 노이즈를 인가하여 별도의 스피커를 추가하지 않아도 되는 에코, 하울링 극복방안에 대한 연구를 진행하도록 하겠다.

참고 문헌

1. 박형우, 이성태, 배명진, "다양한 잡음 환경에서 통화 가능한 SNR에 관한 연구," *음향학회 춘계 학술대회 논문집*, 29권, 1(s)호, 36-37쪽, 2010.
2. 이성태, 박형우, 배명진, "휴대전화 사용에 따른 소음성 난청 예방에 관한 연구," *음향학회 춘계 학술대회 논문집*, 29권 1(s)호, 2010.
3. 이병찬, "도시교통소음 개선에 관한 연구," 환경부, *연구자료*, 2004.
4. 박현구, 신용구, 김향, "도시 환경음의 음질 평가," 한국 소음공학 진동학회, *2005년도 춘계 학술대회 논문집*, 529-534쪽, 2005.
5. 권형준, 배명진, "소음성 난청 예방을 위한 자가청력측정법에 관한 연구," *한국음향학회*, 29권 3호 184-190쪽, 2009.
6. 배명진, 이상효, *디지털 음성분석*, 동영출판사, 1998.
7. "소음측정 및 평가," 산업안전보건연구원 안전위생연구센터, 2007.
8. 고의경, "난청의 진단," *J Clinical Otolaryngol*, 14권, 2쪽, 2003.
9. 박우철, 이상봉, 이선희, *음향기술총론*, 차승, 2009.
10. 김재수, *소음진동학*, 세진사, 2006.

11. 김진우, 배명진, "이어폰 음압에 따른 청력손실에 관한 연구," *대한전자공학회 하계종합 학술대회지*, 32권, 1호 1086-1087쪽, 2009.
12. U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, Hearing conservation, *OSHA 3074*, 2004.
13. "기본소음 공기 및 골전도 청력 역치 측정법," *KS A ISO 8253-1*, 2003.
14. 골도 진동자 측정용 역학 커플러, *KS C IEC 60373*, 2001.

저자 약력

•박 형 우 (Hyung-Woo Park)

한국음향학회지 제28권 제4호 참조



•이 성 태 (Sung-Tae Lee)

한국음향학회지 제29권 제3호 참조



•배 명 진 (Myung-Jin Bae)

현재: 송실대학교 정보통신전자공학부 교수
한국음향학회지 제26권 제4호 참조

