

청력검사와 적합 프로파일 기반의 청력 보정 시스템

김형욱[†], 이영록^{**}, 박동규^{***}, 한창용^{****}

A Hearing Compensation System Based on Hearing Test and Fitting Profiles

HyounghWook Kim[†], YeongRok Lee^{**}, DongGyu Park^{***}, ChangYoung Han^{****}

ABSTRACT

Personal sound amplifiers(PSAPs) provide accessible and affordable healthcare to individuals with hearing disability. Many studies are in progress for affordable PSAP development, but still people do not have a best fitting profile for the PSAP depending on their hearing test. As a result, they do not have a personalized and profiled music and sound, which are very helpful for those who has hearing problems. In this paper, we propose a device and mobile system to provide music with an equalizer value according to the hearing condition of an individual to prevent the hearing loss. In order to overcome the limit of frequency band of the equalizer in a smart phone, we developed bluetooth controlled equalizer based on the fitting profiles.

Key words: Hearing Compensation, Equalizer Controller, Mobile Application, Mobile System and Device

1. 서 론

최근 급격하게 보급율이 향상된 스마트폰과 TV, MP3등 생활밀착형 기기들은 삶의 윤택함과 여가시간의 즐거움을 증진시켜주고 있으나, 이로 인한 부작용과 위험 요소들도 함께 증가하고 있다. 그중 하나가 청력손실인데 휴대폰, MP3 등의 개인용 음악장비를 이용하여 음향을 들을 때 소리를 높게 키워서 장시간 듣는 사람들은 청력을 잃어버릴 위험이 큰 것으로 나타났다[1]. 또한 인구구조의 급격한 변화로 우리사회는 점차 고령화 사회로 진입하고 있으며, 인구 고령화 역시 난청인구의 증가원인이 되고 있어 정확

한 청력검사, 난청 예방 및 치료 등에 대한 관심이 높아지고 있다[1-3].

이에 따라 난청을 예방하기 위한 예방교육과 함께 음식 또는 약물을 이용한 난청의 예방효과에 대한 연구, 청력 상태를 정확히 검사하기 위한 청력검사와 검사 결과 역치를 이용하여 난청을 예방하는 방법에 대한 연구 등 난청과 관련된 여러 가지 연구가 진행되고 있다[2-7]. 난청은 수술이나 치료가 어려운 질환으로 난청자에게 보청기를 착용하게 하는 것이 보편적으로 사용되는 방법인데, 보청기 착용시에 난청자의 청력 손실 정도를 토대로 최적화를 위한 소리조절작업이 수행되는데 이 과정을 흔히 적합(fitting)작

* Corresponding Author : DongGyu Park, Address: (51140) Changwondaehak-ro 20, EuiChang Gu, Changwon City, GyeongNam, S. Korea, TEL : +82-55-213-3834, FAX : +82-55-213-3839, E-mail : dongupak@gmail.com
Receipt date : May 24, 2018, Revision date : Jul. 10, 2018
Approval date : Jul. 31, 2018

[†] Dept. of Information and Communications Engineering, Changwon National University
(E-mail : hwoogi.kim@gmail.com)

^{**} Dept. of Information and Communications Engineering, Changwon National University
(E-mail : yeong.rok.lee@gmail.com)

^{***} Dept. of Information and Communications Engineering, Changwon National University

^{****} Safaud Inc. (E-mail : clsoundent@naver.com)

* This research is financially supported by Changwon National University in 2017~2018.

업이라 한다. 최적의 소리조절을 위해서는 개인의 청력상태에 기반한 정확한 청력검사와 이에 따른 프로파일링이 필요한데 이는 매우 오랜 시간과 전문성이 요구되는 작업으로 보청기나 개인용 음향증폭기(PSAP: Personalized Sound Amplification Products)의 가격에 큰 영향을 준다[8].

본 논문은 난청의 초기예방단계에서 난청상태의 개선과 예방에 도움을 줄 수 있는 청력 보정 디바이스에 관한 연구이다. 개인의 난청을 예방하고 청력개선을 위해서는 정확한 청력 측정이 필요하기 때문에 스마트폰에서 수행되는 청력검사 애플리케이션과 캘리브레이션된 측정 헤드셋을 이용하였다. 본 연구에서는 이렇게 측정된 개인의 청력검사 결과를 기반으로 이퀄라이저를 통해 피팅된 음악을 제공하는 소프트웨어 및 디바이스를 제안하고 구현하였다. 본 연구의 청력검사 소프트웨어는 개인이 언제든 이용할 수 있는 안드로이드 기반의 모바일 앱으로 개발하였으며, 이 청력검사 역치 값을 제어하는 수식을 통해 이퀄라이저의 조정값을 변환시켜서 변환된 조정값을 블루투스 통신을 통해 외부 디바이스로 전송하고, 재생되는 음향을 해당 조정값으로 피팅하여 들려주도록 설계하였다.

기존 연구개발된 시스템에서는 주로 스마트폰에 내장된 이퀄라이저를 이용하여 피팅을 수행하는데, 이 경우 현재 스마트폰의 프레임워크에서 제공하는 주파수 범위가 7개 이내로 제한되어 있기 때문에 청력개선에 한계가 있다. 본 연구에서는 이를 극복하고자 외부 디바이스를 통하여 좌/우 각각 12개의 범위(총 24개의 밴드)로 이퀄라이저를 설정하여 조금 더 사용자의 청력 상태에 적합한 상세 피팅을 수행하여 개인화된 음향 재생이 가능하도록 하였다.

2. 선행연구

난청이란 소음에 대한 지속적인 노출이나 신체 노화로 인하여 일시적 혹은 영구적으로 청각기관에 손상이 생겨 소리를 인지하는데 어려움을 겪는 현상을 말한다. 전체 인구에서 난청이 차지하는 비율은 증가하고 있는데, 이는 일반인들의 취미활동에서 소음성 난청을 유발하는 활동이 과거에 비해 증가하였기 때문이며, 스마트폰등과 같은 개인음향 장비의 높은 보급율 역시 영향을 주고 있다[1-4].

난청에 대한 치료법으로는 인공와우를 이용하는

수술적 방법 및 약물치료와 함께 보청기(hearing aid)와 같은 보조기구를 활용하는 방법이 널리 이용되고 있다. 보청기는 청력검사를 통하여 측정된 개인의 청력결과를 바탕으로 최고의 피팅 프로파일을 찾은 다음 보정이 필요한 영역의 주파수 대역에 대한 음향의 세기를 증폭시키는 방식으로 동작한다[2-5]. Byrne등은 음성명료도를 높이는 방법으로 전 주파수 영역에 걸쳐 동일하게 음압레벨을 증폭시키는 방법이 아닌, 각 주파수별로 서로 다른 음압레벨을 증폭시키는 것이 더욱 효과적이라는 것을 밝혔으며 NAL-NL1이라는 피팅 프로토콜을 제안하였다[9]. Liang등은 설문을 통하여 83%의 환자들이 자체 적합 보청기에 대하여 긍정적인 사고를 가지고 있음을 밝혔으며 이를 실현하기 위한 구체적인 유의사항에 대하여 연구하였다[10]. 또한 이강 등은 환경별 사용자 적합이 가능한 스마트폰용 보청기 어플리케이션에 대하여 연구하였는데, 이 연구를 통해 스마트폰을 이용한 청력검사와 난청인들의 보청기 사용을 증진시키기 위한 자체 적합기법을 제안하였다[6]. 그러나 이 방법은 스마트폰이 가진 제한된 밴드에서의 소리 증폭 기법을 사용하기 때문에 실제 보청기가 필요한 환자에 맞는 다양한 주파수 영역의 소리를 증폭시키지 못하는 한계가 있다. 이는 안드로이드 기반의 스마트폰의 프레임워크에서 제공하는 주파수 영역이 7개 이내로 제한되어 있어 실제 개인용 음향증폭기나 보청기에서 필요로 하는 주파수 영역과 차이가 있기 때문이다.

본 연구에서는 의료기기로 분류되는 보청기가 아닌 음향 보조기기 상에서 사용자별 청력검사를 통해 얻은 최적의 피팅값을 적용하여 좌우 귀에 대해 각각 12개의 밴드에 대한 선형보정을 수행하는 시스템을 구현하였다.

3. 시스템 설계 및 구현

스마트폰을 이용한 청력검사와 이를 기반으로 한 피팅을 음향 보조기구에 적용하기 위하여 본 연구에서는 1) 순음청력검사를 위한 스마트폰 시스템, 2) 캘리브레이션된 청력검사용 음향생성장치, 3) 프로파일 기반의 음향재생기기, 4) 음향기구의 제어와 사용시간을 증대시키기 위한 저전력 무선통신 시스템을 구현하였다.

3.1 순음청력검사를 위한 스마트폰 시스템

정확한 청력검사는 난청의 예방과 치료에 필수적이기는 하지만 무음실과 같은 설비와 정밀한 측정장비, 전문적인 청각사의 경험이 필요하므로 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 이 문제를 극복하기 위한 편리한 사용자 인터페이스와 정확한 알고리즘 개발이 필요하다.

기존의 청력 검사기법에는 임피던스 청력검사, 어음청력검사, 순음청력검사 등이 있다. 여러 검사방법 중에서 순음청력검사법은 청각선별효과가 높고 간편하게 검사할 수 있어서 난청의 정도를 확인하는데 많이 사용된다. 순음청력검사는 주파수 및 음압 레벨을 변화시키면서 피검자에게 들려주고, 피검자의 반응을 관찰함으로써 수행된다. 기존의 많은 연구들은 복잡하고 많은 시간이 소요되는 ‘순음청력검사’의 알고리즘을 단순화시켜 구현하는 것이 목적으로 하고 있으나, 이 경우 청력검사 매체들 사이의 보정기능이 없어서 정확도가 낮고 신뢰성이 매우 떨어진다.

본 논문에서는 정확하고 정밀한 청력검사를 위해 순음청력검사의 알고리즘을 정확하게 해석하고, 청력검사 매체들 사이의 캘리브레이션 기능을 더한 알고리즘을 구상하였다. 본 논문에서 개발한 청력검사 어플리케이션은 안드로이드 운영체제 환경에서 개발되었으며 본 논문에서는 안드로이드 운영체제 환경의 순음발생 알고리즘을 위주로 소개하고자 한다.

안드로이드용 앱에서 순음을 발생하기 위해서 오디오 트랙(Audio Track) 라이브러리를 사용하였다. 오디오트랙 라이브러리는 안드로이드 시스템에서 오디오 출력을 담당하는 클래스로 구성되어 있는데 파일이나 네트워크로부터 PCM 데이터를 추출한 후, 네이티브 계층으로 PCM 데이터를 전달하여 소리를 출력하는 기능을 한다. 안드로이드 오디오 시스템에서 Media Player와 함께 핵심적인 역할을 담당하고 있으며, 이때 사용되는 오디오는 각 샘플에 만들어진

16비트 정수의 44kHz 샘플율을 사용한다.

Fig. 1와 같이 모바일 앱에서 순음을 발생시키기 위해서 먼저 사인파 형태의 PCM 데이터를 만들어야 하는데, 이때 생성하고자 하는 순음의 주파수는 44K의 샘플율과 시간간격(Duration)을 통해서 결정이 된다. 순음의 음압레벨은 앰프값과 dB값을 실제로 측정한 후 만들어진 음압레벨-앰프 테이블을 이용해서 결정된다. 이를 이용해 해당하는 구간의 PCM 데이터를 생성한 후 오디오 버퍼에 저장한다. 이때 좌우 데이터는 각각 16비트씩 교차하면서 저장한다. 이후 순음을 발생시킬 때 오디오 버퍼에 저장된 PCM 데이터를 오디오 세션과 연결된 오디오 유닛의 인스턴트로 전송한다. 이후에 이펙트 유닛(effect unit)과 리모트 IO 유닛(Remote IO Unit)을 거친 후 이어폰을 통해서 재생이 된다.

이런 과정을 통해 순음청력검사에 필요한 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz, 6kHz, 8kHz의 모든 주파수에서 0dB~100dB의 음압레벨을 가지는 순음 생성을 하였다. 그러나 운영체제에서 생성한 순음은 재생하는 헤드폰의 성능에 따라 데시벨 값이 일정하지 않기 때문에 캘리브레이션 과정이 필요하다.

3.2 청력검사용 음향장치

앞서 생성한 시스템의 소프트웨어적인 캘리브레이션이 정확하다고 하더라도 순음을 재생하는 스피커나 헤드셋과 같은 하드웨어의 성능에 따라 음량이 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 하드웨어의 불륨이 너무 작거나 클 경우 0~100dB의 음압레벨은 정확할 수 없다. 이를 위해 본 연구에서는 모바일 단말기와 이어폰 사이에 균일한 소리를 발생시켜주고 모바일 단말기의 제한적인 음향 출력레벨을 극복하기 위한 USB 연결 음향장치를 개발하였다. 또한 USB 음향장치가 정확한 레벨의 음압을 발생시킬 수 있도록 캘리브레이션을 시켰다.

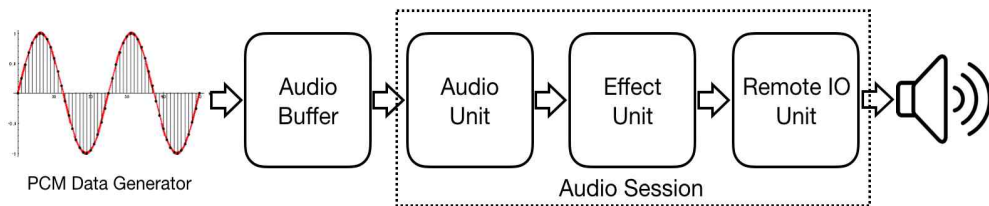


Fig. 1. Playback process using PCM data generator and Audio Session.

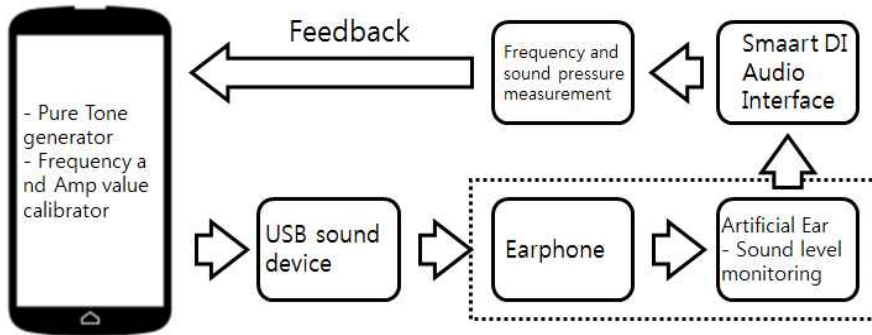


Fig. 2. Measurement environment for earphone calibration using USB sound device.

Fig. 2는 USB 음향장치를 이용하여 캘리브레이션을 하는 과정에 대하여 나타낸 것이다. 모바일 앱에서 해당 주파수와 앰프값을 입력하고 순음을 발생시킨다. 발생된 순음의 음량은 인공귀(Artificial Ear)에서 1차 측정된 후 래쇼널 어쿠스틱스사에서 개발한 듀얼채널 오디오 분석시스템인 Smart IO 오디오 인터페이스를 통해 컴퓨터로 입력된다. 이때, 컴퓨터로 입력된 신호는 Smart DI(Dual-Channel Interface) 프로그램을 통해서 주파수와 음압레벨을 확인할 수 있다. Smart DI 프로그램을 통해서 측정되는 주파수와 음압의 레벨(dB)을 확인하고 원하는 크기의 음압레벨이 나올때까지 앰프값의 크기를 변경하면서 측정하는 것을 반복한다. 본 연구에서는 각 주파수별로 0dB에서 100dB까지 5dB 단위로 해당하는 앰프값을 측정해서 데이터베이스화하였다. 이때 사용된 이어폰은 플랫타입 케이블 갤럭시 S6/S7 모델 변들 이어폰인 EG920WB in ear fit 모델이며 12mm 다이내믹 드라이버를 적용하는 제품이다.

본 연구에서 청력검사를 수행할 때 사용되는 주파수의 순서는 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz, 8000 Hz, 1000Hz, 500Hz, 250Hz, 125Hz 순으로 시행되며 하강법과 상승법이 섞인 혼합법으로 청력검사를 실시한다. 청력검사 시스템의 절차로는 Fig. 3와 같이 정상적인 청력을 가진 인간이 들을 수 있는 소리인 30dB HL(최소가청역치)를 검사 기준으로 삼고 데시벨을 출력한다. 출력된 검사음에 응답하였을 경우에는 10dB을 감소하여 다음 검사 음을 출력하도록 하고, 응답하지 않았을 경우에는 20dB을 증가하여 다음 검사음을 출력한다. 첫 응답 이후 두 번째 응답부터는 응답부재의 경우에 5dB을 증가시키면서 세밀하게 검사를 시행하도록 한다. 또한 같은 값으로 3번

응답했을 경우 그 값을 역치로 저장하고 다음 주파수로 넘어간다. 현재 검사 중인 주파수가 배열의 마지막인 125Hz일 경우에는 검사를 완료하고, 125Hz가 아닐 경우에는 다음 주파수로 넘어가는 방식으로 청력검사를 실시한다.

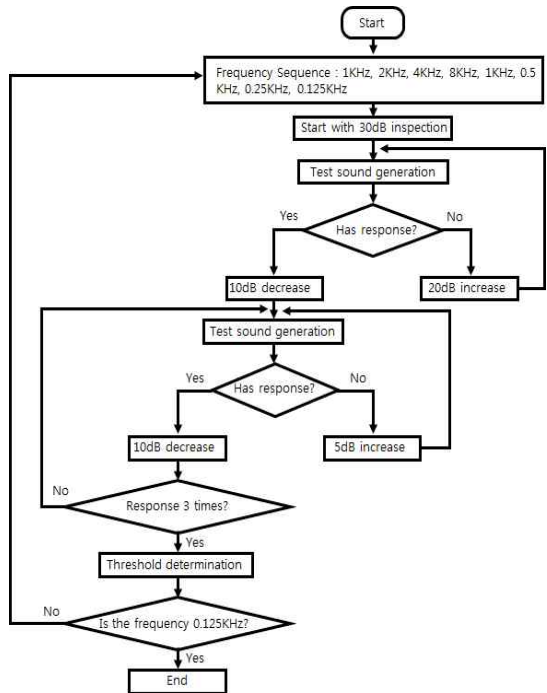


Fig. 3. Flow chart for hearing test algorithm.

3.3 청력검사 리포트와 프로파일 기반의 음향재생 기기

모바일 앱을 이용하여 청력검사를 수행한 후 얻어진 결과는 표준화된 역치계산 방식에 의하여 분석하

였다. 본 논문에서는 수식 (1)과 같이 보건복지부 권장 6분법을 이용하여 500Hz의 역치(σ_{500Hz}), 1000Hz의 역치(σ_{1000Hz}), 2000Hz의 역치(σ_{2000Hz}), 4000Hz의 역치 값(σ_{4000Hz})을 사용하여 평균 청력역치 σ_m 을 구하였다. 현재 우리나라는 위의 역치값을 바탕으로 장애등급을 판정하며 본 연구에서는 위의 검사결과를 바탕으로 “경도 난청”부터 “심도 난청” 등의 결과를 출력하였다.

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_{500Hz} + 2 \times \sigma_{1000Hz} + 2 \times \sigma_{2000Hz} + \sigma_{4000Hz})}{6} \text{ dB} \quad (1)$$

본 연구에서 실시한 청력검사 모바일 어플리케이션은 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1,000Hz, 2,000Hz, 3,000Hz, 4,000Hz, 6,000Hz, 8,000Hz의 총 9개의 주파수 별로 왼쪽/오른쪽 귀의 역치 값을 구하였는데, 이는 표준청력검사 주파수로 임상적으로 널리 사용되는 주파수 분류에 따른 것이다. 본 연구에서는 평균 청력역치 σ_m 를 바탕으로 수식 (2)와 같이 평균 청력역치와 각 주파수 밴드별 역치의 차이를 구하여 G 프로파일 값을 얻었다. 이 프로파일 값은 평균 청력값과 개인의 주파수 밴드별 청력의 차이로 청력보정에 필요한 자료이다.

$$G_x = \sigma_x - \sigma_m \quad (x = 125, \dots, 8000Hz) \quad (2)$$

본 연구에서는 음향재생을 위하여 내쇼널 세미컨덕트사의 LMC835 이퀄라이저 칩을 사용하였는데, 이 칩의 각 주파수 밴드는 좌우 각각 12밴드로 16Hz, 31.5Hz, 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1,000Hz, 2,000

Hz, 4,000Hz, 8,000Hz, 16,000Hz, 32,000Hz이다. 따라서, 본 연구의 순음 청력검사를 통해 얻게 된 125Hz 이하의 저주파 밴드인 16Hz, 31.5Hz, 63Hz, 125Hz의 역치값은 125Hz와 동일한 값을 주었으며, 8000Hz 이상의 고주파 영역인 8,000Hz, 16,000Hz, 32,000Hz 밴드의 역치 값은 8000Hz와 동일한 이득 값으로 주었다. 이는 인간의 귀가 느끼는 감도가 주파수 별로 비례하지 않으며, 4000Hz 내외에서 가장 민감하게 반응하기 때문이다.

본 연구에서는 식 (3)와 같이 평균 역치 값과 주파수 밴드별 청력검사 역치 값의 차이를 각 주파수 밴드의 조정 값으로 변환하였으며, 평균 역치 값과 주파수 별 역치 값의 차이가 -12dB~12dB 범위를 벗어나는 경우 -12dB 이하는 조정 값을 -12dB으로, 12dB 이상은 12dB으로 CLAMP() 함수를 사용하여 설정하였다. 이와 같이 입력된 청력검사 결과 값으로 정해진 수식에 의해 계산한 조정 값 이용하여 이퀄라이저를 함으로써 G_{cal} 과 같은 보정된 게인값으로 사용자의 청력 상태에 피팅할 수 있는 소프트웨어를 구현하였다. 30~50dB의 큰 증폭값을 필요로 하는 보청기와 달리 청력보정용 음향기기는 이어폰이나 헤드폰, 스피커등 음향장치의 음질을 향상시키는 역할을 하므로 이러한 보정을 통하여 청력이 저하된 사용자에게 보다 명료한 음질을 제공할 수 있다.

$$G_{cal} = CLAMP(G_x, -12, +12)(x = 16, \dots, 32000Hz) \quad (3)$$

구현한 안드로이드 어플리케이션의 화면은 Fig. 4

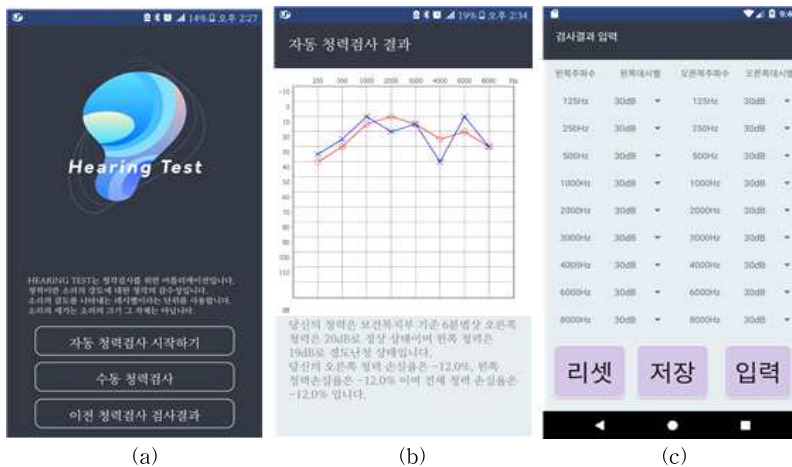


Fig. 4. Android application screen shot named "Hearing Test" : (a) Main menu of the "Hearing Test" app (b) Automatic hearing test result view (c) Result data for hearing profile

와 같다. Fig. 4의 (a)는 자동 청력검사와 청각사가 진행하는 수동 청력검사를 사용자가 선택하도록 하는 기능이며, (b)는 자동 청력검사나 수동청력검사의 결과를 살펴볼 수 있는 화면이다. 일반적인 청력도 그래프에서 사용하는 관례에 따라 왼쪽 귀의 청력상태는 파랑색, 오른쪽 귀의 청력상태는 빨강색으로 표시하였다. (c)는 주파수별 검사결과를 저장할 수 있는 프로파일링 기능이 있는 화면이다. 이 화면에서는 버튼을 눌렀을 경우 역치 값이 기본 값이 되게 하는 리셋 버튼과 안드로이드 폰 내부에 결과값을 저장하는 저장 버튼, 개인에 최적화된 주파수별 증폭 레벨 곡선 계산값 G_{cal} 을 블루투스 통신으로 디바이스에 전달하는 입력 버튼이 있다.

3.4 저전력 무선통신 칩을 이용한 음원제어 디바이스의 설계 및 구현

본 논문에서는 무선으로 음원을 제어하기 위한 통신 하드웨어로 노르딕 세미컨덕트(Nordic Semiconductor)사의 nRF52832 칩을 사용하였으며, 이 디바이스는 블루투스 LE 모듈을 내장한 SOC(System On Chip)이다. 블루투스 LE는 기존의 블루투스 클래식 단점인 전력소비를 획기적으로 줄여서 극히 적은 전력을 사용하여 무선 통신을 할 수 있다. 이와 같은 저전력 통신의 장점으로 인하여 최근 출시되고 있는 스마트 밴드, 워치, 글래스 등의 웨어러블 무선 통신 기기들의 대부분은 이 블루투스 LE 방식을 이용하여 무선 통신을 한다. nRF52832는 블루투스 LE 모듈뿐만 아니라 프로세서와 메모리까지 내장하고 있어 스마트폰과의 통신과 제어를 동시에 할 수 있는 장점이 있다.

Nordic 칩을 이용한 디바이스는 스마트폰 앱과 블루투스 장치로 구성되어 있는데, 본 연구의 청력검사 결과를 바탕으로 개인에 최적화된 주파수별 증폭 레벨 곡선을 계산하여 블루투스 LE를 통해 디바이스로 데이터를 전송한다. 디바이스는 전송되어온 주파수별 증폭 레벨 곡선은 이퀄라이저 제어기를 통해서 좌우 각각 12밴드의 주파수 밴드 값으로 조정한다.

Fig. 5는 음향보정기능을 가진 블루투스 무선 장치의 배터리 부분을 제외한 전체 구성도를 나타낸다. 그림과 같이 본 시스템은 오디오 신호를 수신하는 CSR8635 블루투스 모듈, 이 모듈에서 출력되는 신호를 이퀄라이저하는 LMC835 이퀄라이저, 이퀄라이저의 출력신호를 증폭하는 PAM8406 오디오 증폭기, 안드로이드 앱으로 이퀄라이저의 밴드와 이득을 튜닝할 수 있는 블루투스 모듈로 구성되어 있다.

4. 시험 및 결과

4.1 시험 환경

구현된 디바이스의 동작을 검증하기 위해 다음의 Fig. 6과 같이 실험환경을 구성하였으며, Fig. 7은 이 실험환경을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 음향측정을 위한 소프트웨어는 래셔널 어쿠스틱스사의 스펙트럼 엔진인 SMAART DI(Dual-Channel Interface) V2.0을 사용하였으며, 하드웨어로는 팬리스 무소음 노트북, SMAART 전용 오디오 입출력 인공귀(6cc 커플러, 콘덴서 마이크, 프리앰프)을 사용하였다. 모든 음향학적인 측정은 ANSI S3.1-1999(R2008)을 준수하는 방음실에서 수행하였다[11].

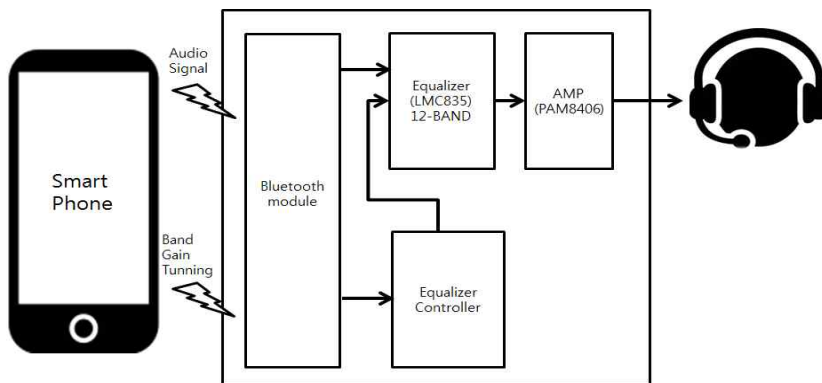


Fig. 5. System diagram of bluetooth wireless device with equalizer controller.

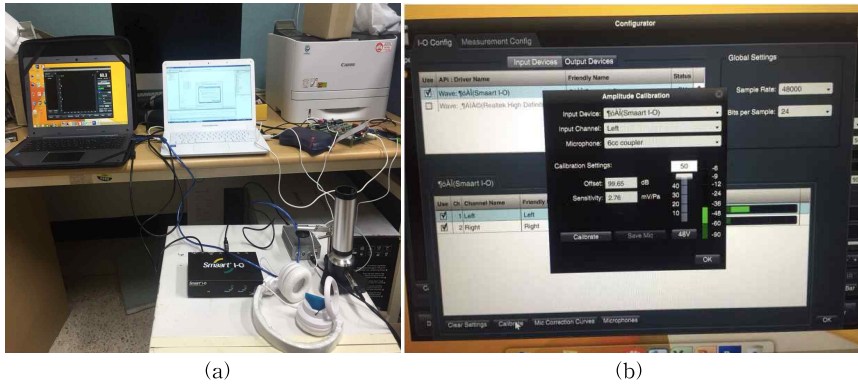


Fig. 6. Experimental environment for sound measure: (a) Smart DI Artificial Ear with fanless laptop computer and 6cc coupler, (b) Acoustic spectrum Analyzer.

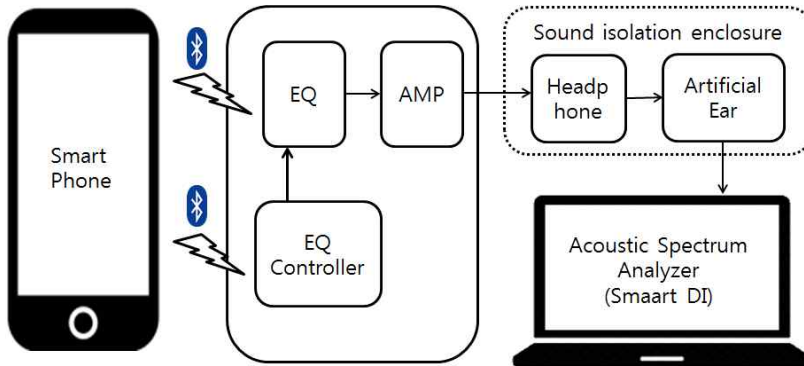


Fig. 7. Schematic diagram of experimental environment for sound channel control system and acoustic spectrum analyzer.

4.2 시험 결과

정확한 시험 결과를 위해 음향측정기기를 사운드 캘리브레이터를 이용하여 마이크 음압 감도를 캘리브레이션하였다. 또한 전 주파수 대역에서 음이 발생하는 핑크노이즈를 테스트에 사용하여 전체 주파수 (이득주파수 범위)를 측정하였다. 여기서 핑크노이즈는 노이즈 생성기를 통해 출력하였으며, 전음역대 이퀄라이저 보정기능을 확인하는 목적으로 사용하였다. Fig. 8(a)는 기본 핑크노이즈만을 측정한 것이며, Fig. 8(b)는 디바이스를 이용해 이퀄라이저한 결과 화면으로 (b)의 1은 저음역대 조정 값을 증가시킨 음압레벨, (b)의 2는 기본 핑크노이즈 음압레벨을 나타낸 것이며, (b)의 3은 저음역대 조정 값(이득 값)을 감소시킨 음압레벨을 나타낸 것이다. 이러한 결과를 통해 본 시스템에서 구현한 디바이스를 이용하여 주파수 밴드별 이퀄라이저를 할 수 있음을 알 수 있다.

Table 1은 성능 지표에 따른 성능 평가 결과를 표로 나타낸 것이다. 최대출력 음압레벨은 dB SPL 기준 각 주파수별로 104dB SPL~119dB SPL의 음압레벨이 나왔으며, 이득 주파수 범위는 40Hz~16,000 Hz 영역의 음향 신호를 가진다. 외이도 개방성은 평가 결과 이어폰 착용 전후 약 10dB SPL~12dB SPL의 음압변화가 있었으며, 이퀄라이저를 제외한 음량 조절 범위는 최저 볼륨과 최고 볼륨이 50dB SPL 이상의 차이를 보였다.

5. 결론 및 향후 과제

최적화된 음향기기 사용과 만족도 향상을 위해서는 개인별로 서로 다른 청력조건에 따른 음향기기의 주파수별 설정이 필요하다. 현재까지 음향기기의 사용자들은 음악을 들을 시에 자신의 청력상태와 상관없이 기존에 설정되어있는 이퀄라이저 설정 값을 사

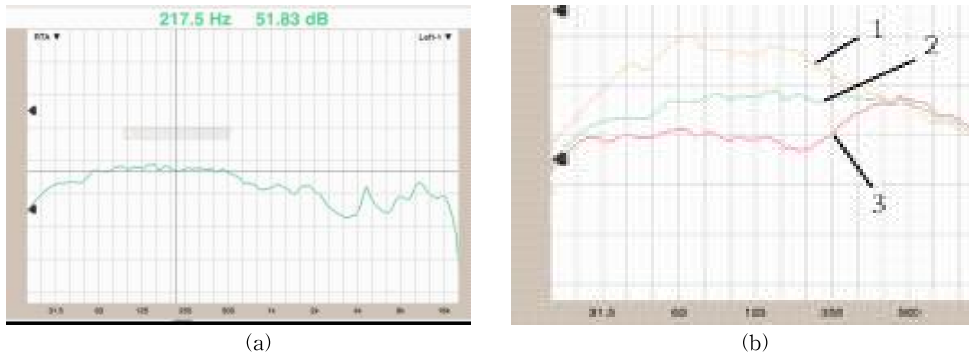


Fig. 8. Final result screenshots : (a) Pink noise overall frequency bands (b) Equalized results after increasing/ decreasing gain values.

Table 1. Performance evaluation result according to performance index

Performance Indicators	Evaluation Result
1. Maximum sound pressure level	Maximum sound pressure level of 104dB SPL~119dB SPL
2. Gain frequency range	Acoustic signal area of 40Hz~16,000Hz
3. Opening ratio of ear canal	10dB SPL to 12dB SPL sound pressure changes before and after ear canal open
4. Volume adjustment range	Minimum and maximum volume range is over 50dB SPL

용하여 음악을 청취하였다. 본 논문에서는 1) 사용자 개인의 주파수별 청력을 자동 혹은 수동으로 검사하여 청력역치 값을 구하는 모바일 시스템, 2) 정확한 청력검사를 위한 캘리브레이션된 순음 생성장치, 3) 청력검사결과와 프로파일을 바탕으로 보정된 음향을 들려주는 음향재생기기, 4) 모바일 시스템을 통한 음향기기의 제어와 사용시간을 증대시키기 위한 저전력 무선통신 시스템을 설계하고 구현하여 테스트를 진행하였다.

그 결과 개인의 청력 상태에 최적화된 음향을 재생할 수 있었으며 이로 인한 난청의 예방과 사용자 만족도의 향상이 기대된다. 향후 하드웨어적인 제약으로 인해 -12dB~+12dB로 제한된 이득값을 더욱 증가시키는 개선이 필요하며, 빠르고도 정확한 청력 알고리즘의 개발과 구현이 필요할 것이다.

REFERENCE

[1] E.F. Beach, W. Williams, and M. Gilliver, "A Qualitative Study of Earplug Use as a Health Behavior: The Role of Noise Injury Symptoms, Self-efficacy and an Affinity for Music,"

Journal of Health Psychology, Vol. 17, No. 2, pp. 237-246, 2012.
 [2] H.J. Kim and S.J. Yang, "The Effects of Education on the Prevention of Noise-Induced Hearing Loss in Adolescence," *Journal of Korean Public Health Nursing*, Vol. 27, No. 2, pp. 357-371, 2013.
 [3] S.H. Kang, J.H. Lee, M.N. Kim, K.W. Seong, and J.H. Cho, "IoT based Pure Tone Audiometer with Software Platform Compatibility," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 21, No. 2, pp. 261-270, 2018.
 [4] J.H. Ahn, T.S. Kim, H.N. Chung, N.Y. Lee, and J.W. Chung, "The Protective Effect of Orally Ingested Korean Red Ginseng on the Noise Induced Hearing Loss in Mice," *Journal of Ginseng Research*, Vol. 33, No. 2, pp. 104-110, 2009.
 [5] S.H. Kim, "Design and Implementation of Hearing Testing Software for Personal-Tailored Hardness of Hearing Prevention," *Journal of Korean Institute of Information*

Technology, Vol. 14, No. 4, pp. 1-9, 2016.

[6] K. Lee, S.I. Kang, G.S. Park, and S.M. Lee, "Development of Smart Phone Application with User Fitting for Hearing Impaired in Various Environment," *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering and Assistive Technology*, Vol. 9, No. 2, pp. 121-128, 2015.

[7] B.U. Park, G.J. Lee, D.G. Yoo, and H.Y. Kim, "Hearing Impairment Management Method Based on Korean Speech Clarity," *Proceedings of KIIT Summer Conference*, pp. 7-11, 2005.

[8] J.H. Lee, "The Effects of Hearing Aids in Presbycusis," *Journal of the Korea Gerontological Society*, Vol. 16, No. 2, pp. 151-161, 1996.

[9] D. Byrne, H. Dillon, T. Ching, R. Katsch, and G. Keidser, "NAL-NL1 Procedure for Fitting Nonlinear Hearing Aids: Characteristics and Comparisons with Other Procedures," *Journal of the American Academy of Audiology*, Vol. 12, No. 1, pp. 37-51, 2001.

[10] R. Liang, C. Zou, and Q. Wang, "Self-Fitting Hearing Aids: State of the Art, CHallenges, and Future Trends," *International Journal of u- and e-Service, Science and Technology*, Vol. 9, No. 8, pp. 1-16, 2016.

[11] T. Frank, J.D. Durrant, and J.M. Lovrinic, "Maximum Permissible Ambient Noise Levels for Audiometric Test Rooms," *American Journal of Audiology*, Vol. 2, No. 10, pp. 33-37, 1993.



김 형 옥

2017년 2월 창원대학교 수학과 (이학사)
 2017년~현재 창원대학교 대학원 정보통신공학과(석사과정)
 관심분야: 모바일 앱 개발, 딥러닝



이 영 록

2015년 2월 방송통신대학교 컴퓨터과학과(이학사)
 2018년 8월 국립창원대학교 정보통신공학과(공학석사)
 2018년 9월~제 창원대학교 친환경해양플랜트FEED 공학(박사과정)

관심분야: 모바일 앱개발, 바이오 헬스케어, 딥러닝



박 동 규

1993년 부산대학교 전자계산학과 (이학사)
 1996년 부산대학교 전자계산학과 (이학석사)
 1999년 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)

2000년~2002년 영산대학교 멀티미디어 공학과 전임강사
 2002년~현재 창원대학교 정보통신공학과 부교수
 관심분야: 모바일 그래픽스, 모바일 게임, 물리기반 게임, 컴퓨터 그래픽스



한 창 응

1995년 부산대학교 의학과 졸업, 의사면허 획득
 2000년 부산대학교 대학원 의학과 석사 학위 취득
 2000년 이비인후과 전문의 자격증 획득

2004년 미국의사자격시험 USMLE 합격
 2004년 미국의사협회 ECFMG Certification 획득
 2010년 부산대학교 대학원 의학과 박사과정 수료
 현재 청음이비인후과 원장, 주식회사 세이포드 대표
 관심분야: 난청 재활과 예방, 수면, 어지러움, 이명, 개인용 음향기기