

# A Real-time Tinnitus Treatment System Using Tinnitus Frequency Removal and Adjacent Frequency Amplification on Mobile Device

Dae-Hyun Park\*, Yoon Kim\*\*

## Abstract

In this paper, we propose a new tinnitus treatment system that removes the frequency band where the ear noises is generated and amplifies the around frequency bands in order to treat a nonstop buzzing in the ears, that is one among the disease commonly generated in modern people. Mostly the tinnitus is generated by the tunability with the neighboring nerves while the part of the cerebral cortex which is unable to react to the stimuli by the sound of the specific frequency band reacts to other frequency band. Therefore, the excitability activity by the tunability of the cerebral cortex is suppressed and the remedial value is gotten by removing the tinnitus frequency band, and the around frequency bands are amplified to strengthen the remedial value. Experimental results show that the tinnitus can be treated conveniently if the patients use the android application which the proposed technique is applied to.

▶ Keyword : Tinnitus, Tinnitus Frequency Band, Frequency Removing, Android Application

## 1. Introduction

현대 사회는 고연령층의 인구가 증가하는 고령화로 인해 헬스케어 산업에 대한 관심도가 급증하고 있다. 고연령층에서 주로 발생하는 이명 현상은 단순히 스트레스를 동반한 개인의 불편뿐만 아니라 사회생활 및 가족관계에 영향을 끼칠 정도로 사회적인 문제로 대두되고 있다. 또한 이명 증상은 청소년층에서도 발생하며 이는 대부분 무분별한 고음량의 음악 청취로 인한 청각의 손상이 원인이 되어 발생한다.

이명 증상을 개선하고 치료하기 위한 방법으로는 사용자에게 들리는 이명을 덮을 수 있는 백색 잡음(white noise)을 제공하는 것이다. 주변 환경이 조용할수록 더 크게 들리게 되는 이명에 대해 백색 잡음은 사용자가 이명에 대해 무관심한 상태가 될 수 있도록 보조하는 역할을 한다. 하지만 백색 잡음을 병원에서 CD(compact disk)형태의 음원으로 제공받아 청취하는 경우는 동일한 음원을 장기간 반복적으로 청취하게 되어 순응도가 낮아지므로 큰 효과를 기대하기 어려운 문제가 있고, 다양한

백색 잡음을 제공할 수 있는 소리발생기(sound generator)는 전량 수입에 의존하고 있는 고가의 기기로 접근성이 떨어지는 문제가 있다[1]. 또한 백색 잡음은 이명 증상을 덮는 보조적인 역할로 근본적인 이명 증상의 개선 및 치료에는 불확실한 것으로 알려진다. 최근 연구되고 있는 방법은 이명 현상이 생리학적으로 특정 음자극에 반응하지 못하는 대뇌 피질 부위가 다른 음에 반응하여 발생한다는 점을 착안하여 이명 주파수를 제거한 음원을 지속적으로 들려주는 방법이다. 하지만 사용자의 순응도를 높이기 위해 6개월 이상의 긴 치료기간 동안 청취할 음원을 고정적으로 확보해야 한다. 이명 치료를 위한 일반 사용자는 고정적인 음원을 개인별 취향까지 고려해서 제작하는 것에 어려움이 있다. 따라서 치료를 위한 접근성을 향상하고 사용자에게 효율적인 서비스를 제공하기 위해 일반적으로 사용자가 보유하고 있는 기존의 다양한 음원을 이명 주파수가 처리된 치료용 음원으로 제공받을 수 있는 시스템이 요구된다.

본 논문에서는 사용자가 본인의 이명 주파수를 정확하게 판단하기 위해 다양한 주파수 대역의 소리를 제공하여 이명 주파수를 검색가능하게 하고, 해당 이명 주파수를 사용자가 기본에

• First Author: Dae-Hyun Park, Corresponding Author: Yoon Kim

\*Dae-Hyun Park (dhpark509@kangwon.ac.kr), Dept. of Computer and Communications Engineering, Kangwon National University

\*\*Yoon Kim (yooni@kangwon.ac.kr), Dept. of Computer and Communications Engineering, Kangwon National University

• Received: 2015. 07. 23, Revised: 2015. 08. 11, Accepted: 2015. 09. 14.

보유하고 있는 음원에서 실시간으로 제거하고 인접한 주파수 대역은 증폭하여 서비스를 제공한다. 이명 주파수의 실시간 처리를 위한 모바일 기기로는 대다수가 이용이 가능하도록 보급률이 높은 안드로이드 기반에서 시스템을 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 이명의 원인 및 이명 주파수 처리효과에 대해 설명하고, III장에서는 제안하는 시스템에 대해 서술하며, IV장에서는 실험 결과를 논한다. 끝으로 V장에서 결론을 낸다.

## II. Proposed Algorithm

### 1. Related works

이명은 외부 음원의 자극 없이 감지되는 청각적 자각으로 귀 또는 머리에서 들리며 정신병적 환청과는 구분되는 현상이다. 이는 난청이 발생한 주파수 영역에 구심성 차단(deafferentation)이 발생하면, 주변 영역은 측면억제(lateral inhibition)로부터 자유로워지므로 같이 흥분하여 동조성(synchrony)이 증가하게 되는데, 이에 따라 신경의 자발적 활동이 증가하여 이명신호를 청각신경계에 발생시키면서 나타나는 현상이다[2].

그림 1의 Early Stage와 같이 난청이 발생한 주파수 영역에 구심성 차단이 발생하면 주변 영역은 측면억제로부터 자유로워져 함께 흥분하는 동조성이 증가하게 되고, 이에 따라 신경의 자발적 활동이 증가하여 마침내 이명 신호를 청각신경계에 발생시킨다. 상기의 기전에 입각하여 흥분이 증가된 이명 주파수 영역이 아닌 측면의 주파수 영역을 자극하여 측면 억제를 향진시킴으로써 이명을 억제하는 치료법들이 최근 대두되고 있다[3].

- **Maladaptive neuronal plasticity**
- Tonotopic reorganization in tinnitus
- **Normal**

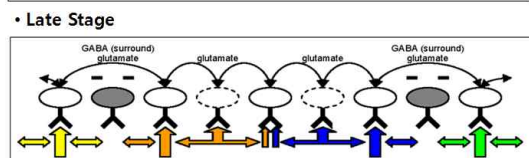
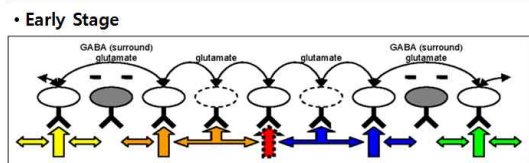
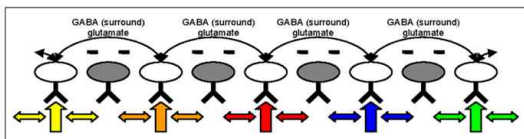


Fig 1. Maladaptive neuronal plasticity

이명에 관한 기존 연구에 따르면 기존의 음향 차폐기,

소음발생기, 보청기 등의 이명치료 효과에 대한 387개 연구를 조사한 결과 “뚜렷한 치료 효과를 찾을 수 없다”고 하여 기존의 소리치료 방식에 의문을 제기하였고 이명 주파수가 제거된 음악을 이용한 소리치료의 필요성을 강조하였다[4].

또한 이중맹검 무작위 대조군 연구를 통해 난청 영역을 보충해주는 방식의 음악치료는 전혀 효과가 없고, 그림 2의 하단과 같이 과도하게 보충하는 경우 오히려 이명 크기 및 이명관련 뇌파가 오히려 증가함을 보고했다[5].

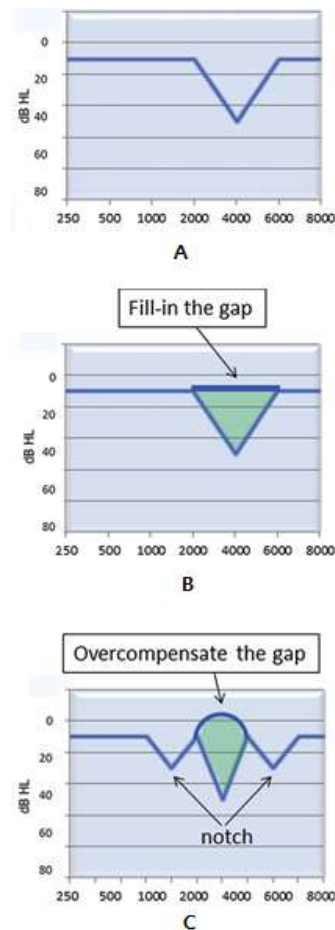


Fig. 2. EEG related tinnitus to compensate the gap,  
 A : Original,  
 B : Fill-in the gap,  
 C : Overcompensate the gap

### 2. Tinnitus treatment with lateral inhibition

뇌자도(magnetoencephalography)는 뇌의 뉴런(신경세포)들 사이에 흐르는 전류로 형성되는 아주 작은 자기장을 측정하는 기술로 이명 연구에 이용되고 있는 영상기술인 양전자방출 단층촬영(positron emission tomography)과 기능성 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging)과는 달리 직접 신경활동의 전기적 변화를 감지하여 활성화되는 뇌 부위 중에서도 활성화 정도가 매우 강한 부분을 나타낼 수 있는 영상 기술이다. 2009년 해당 영상기술을 이용해 이명을 유발하는 뇌

부위가 청각피질과 변연계라는 사실이 밝혀졌다.

뇌자도를 통한 임상실험 결과에 따르면 한 쪽 귀에만 이명이 있는 환자의 뇌자도에서는 반대쪽 뇌의 청각피질이 활성화되었고, 양쪽 귀 모두 이명이 있는 환자는 뇌의 양쪽 반구 청각피질이 활성화되는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 뇌의 특정 부분을 자극하여 이명을 치료할 수 있음을 나타내고 있으며 이명의 발생기전이 난청 해당 주파수 영역의 구심성 차단에 의해 측면억제가 사라져 발생하는 것이므로 측면억제를 강화해 주는 방법으로 치료효과를 기대할 수 있다.

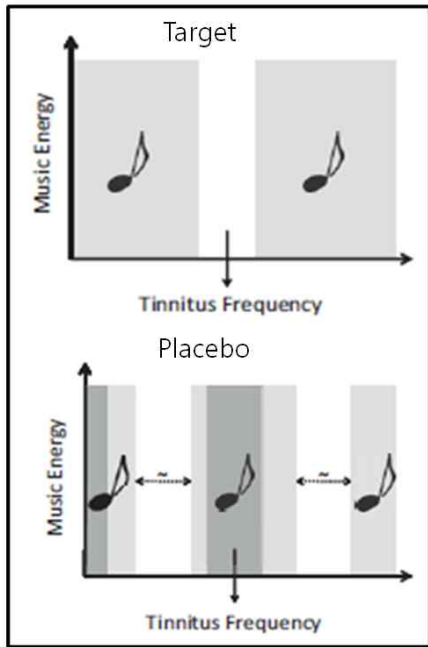


Fig. 3. Tinnitus frequency region(A), random frequency region(B)

개인별 주파수 제거 음악의 이명치료 효과에 대한 선행연구에서 개인별 주파수 제거 음악(Tailor-made notched music) 치료는 이명 주파수 중심으로 1 옥타브 범위 음을 완전 제거한 음악을 이용하여 과 활동성을 보이는 이명 주파수 영역의 자극 없이 주변만을 자극하여 측면억제를 강화하였고, 무작위 이중맹검 대조군 연구에서 하루 2 시간씩 12개월 동안 이명 주파수 영역을 제거한 음악을(그림 3의 상단) 들려준 실험군이 무작위로 주파수 영역을 제거한 그림 3의 하단 대조군-1 이나 아무 치료도 하지 않은 대조군-2에 비해 이명 주파수 음에 대한 ASSR(Auditory Steady State Response)과 뇌자도 영상의 N1m 반응의 크기가 감소하며, 이명의 주관적 크기도 유의하게 감소한 결과를 보고하였다[6-10].

본 논문에서는 사용자가 이명 주파수를 검색하고 해당 주파수에 대해 개인맞춤형 주파수 제거 및 인접 주파수를 증폭하는 실시간처리 시스템을 제공한다. 시스템은 이명 주파수를 중심으로 1 옥타브 전위 음을 완전 제거한 음원을 제공하여 생리학적으로 대뇌 피질의 과활동성을 보이는 이명 주파수 영역의 자

극을 없애고, 인접한 주파수 영역을 증폭하여 이명 주파수를 포함한 1 옥타브 전위 주변만을 자극하여 이명 주파수를 피해서 측면억제를 강화하여 이명 증상 개선을 추구한다[11][12].

### III. Proposed System

#### 1. The structure of proposed system

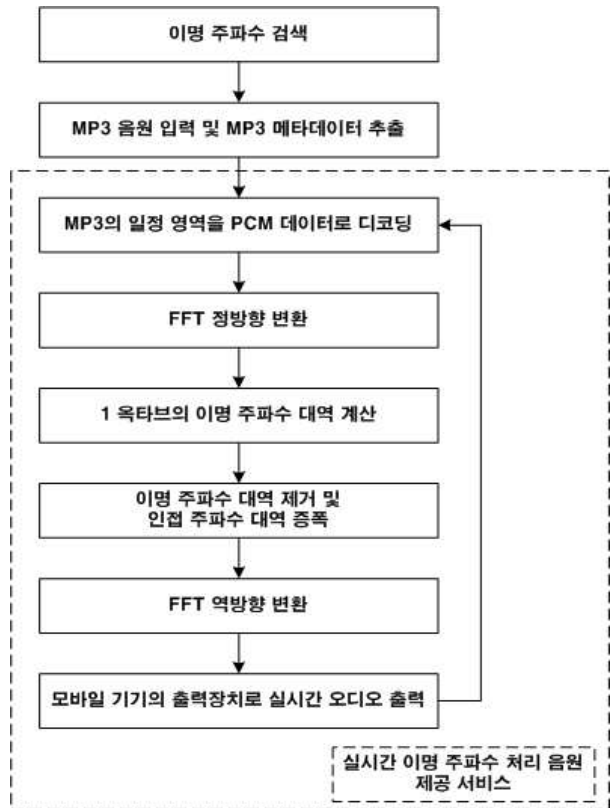


Fig. 4. Structure of proposed system

그림 4는 본 논문에서 제안하는 모바일기기 기반의 실시간 이명 주파수 처리 시스템의 블록다이어그램을 나타낸다. 먼저 사용자가 본인의 이명 주파수를 검색하도록 하여 이명 주파수 처리 음원 서비스를 위한 정보로 활용한다. 사용자는 자신이 기존에 보유하고 있던 MP3 음원을 입력으로 사용하게 되고, 시스템은 음원의 메타데이터를 추출하여 실시간 처리를 위해 일정 영역의 크기를 결정한다. 시스템은 음원에 대해 일정 영역을 PCM(pulse code modulation) 데이터로 디코딩하고, FFT(fast fourier transform)를 통해 이명 주파수에 대해 처리 가능하도록 주파수 도메인(frequency domain)으로 변환한다. 이명 주파수 대역은 이명 주파수를 중심으로 1 옥타브의 주파수 대역을 계산하여 도출할 수 있으며, 주파수 도메인으로 변환된 음원에서 해당 영역을 제거하고 인접 주파수 대역을 증폭한다. 이명 주파수 처리가 된 주파수 도메인의 음원은 서비스를 위해 FFT를 통해 PCM 데이터로 변경된 후에 모바일 기기의 출력장치로

음원의 동기화에 맞춰 출력된다. 이와 같은 일련의 과정은 모바일기기에서 실시간 처리 및 서비스되도록 구성된다.

## 2. Retrieval of tinnitus frequency

이명 증상을 느끼는 주파수 대역을 처리하기 위해서는 사용자의 좌·우 귀의 이명이 각각 어느 정도의 주파수 대역에서 반응하는지와 이명이 나타나는 소리의 크기는 어느 정도인지를 파악해야 한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 사용자가 이명 주파수를 탐색하기 위한 과정이 구성되어 있다.

사용자는 좌·우 귀 중 한 쪽을 선택하여 이명 주파수 탐색을 실시한다. 사람이 소리를 들을 수 있는 가청주파수는 일반적으로 20Hz에서 20kHz 사이에서 형성되는데, 이명 증상의 경우 ‘삐-’ 소리와 같은 비프음(beep sound)이 나는 경우 또는 귀뚜라미 소리가 나는 경우 등 사람마다 상이하고 다양하게 발생한다. 또한 이명이 발생하는 주파수 대역도 사람마다 다르지만 일반적으로 10kHz 미만에서 대부분 형성된다. 본 논문이 제안하는 시스템에서는 모바일기기에서 지원하는 소리의 크기로 청음할 수 있는 250Hz에서 15kHz까지를 검색의 범위로 설정하였다.

사용자의 편의를 위해 시스템에서는 두 가지의 주파수 탐색 방법을 제공한다. 첫 번째는 250Hz에서 15kHz까지의 주파수 대역을 순차적으로 들려줌으로써 사용자가 본인이 느끼는 이명 주파수를 찾는 방법이고, 두 번째는 500Hz, 1000Hz와 같이 오프셋(offset)을 제공하여 지정된 주파수 대역을 선택 및 청음하면서 본인의 이명 주파수와 유사한 주파수 대역을 점진적으로 찾는 방법이다. 각 주파수의 출력은 Sine Wave Function을 이용하여 사용자에게 제공되며, 사용자는 자신의 이명 주파수를 검색하고 이명이 발생하는 음량의 크기를 조절하여 본인이 느끼는 이명과 최대한 동일한 주파수 영역과 소리의 크기를 검색하여 선택할 수 있다.

사용자는 양쪽 귀 모두에 이명 증상이 있다면 각각 좌·우에 대해 동일한 방법을 반복하고, 한 쪽에만 이명 증상이 있다면 이명 증상이 있는 방향에서 검색한 이명 주파수와 소리의 크기를 반대 방향에도 동일하게 적용한다.

## 3. PCM data extraction and forward FFT

사용자에게 최종적으로 이명 주파수가 처리된 음원을 제공하기 위해서는 일련의 과정이 필요하다. 먼저 사용자가 기존에 모바일기기에 보유하고 있던 MP3 파일을 입력으로 파일 구조를 분석하고 MP3 인코딩 정보를 디코딩하여 원시 데이터(raw data)인 PCM 데이터로 변환한다. 이와 같은 과정은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x_{pcm} = MP3\_decoder(frame(n)). \quad (1)$$

$frame(n)$ 은 MP3 파일 포맷에서 정의하는 압축된 데이터

인 프레임을 나타내고,  $n$ 은 프레임 번호를 나타내며,  $x_{pcm}$ 은 PCM 데이터를 의미한다. PCM 데이터는 소리의 높낮이가 저장된 순차적인 원시 데이터로써 사용자가 모바일기기의 출력으로 듣게 되는 정보이다. 따라서 PCM 데이터는 시간 도메인(time domain)의 형태를 가지며 사용자가 검색한 이명 주파수를 처리하는 일련의 과정을 위해서는 주파수 도메인으로 변환하는 과정이 필요하다. 디코딩된 PCM 데이터는 FFT를 통해 주파수 도메인의 데이터로 변경되며 FFT는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x_{pcm}(t)e^{-2j\pi ft} dt. \quad (2)$$

$x_{pcm}(t)$ 는 FFT의 입력으로 사용되는 PCM 데이터이고,  $t$ 는 PCM 데이터의 인덱스(index)를 의미한다.  $X(\cdot)$ 는 주파수  $f$ 에 대한 FFT의 결과 값을 나타낸다. FFT를 통해 주파수 도메인으로 변환된 음원은 이명 주파수를 처리하는 과정의 입력으로 사용된다.

## 4. Calculation of one octave

이명 주파수를 제거하고 인접 주파수 영역을 증폭하는 처리 과정을 위해 이명 주파수 대역을 계산하여 도출한다. 이명 주파수 대역은 이명 주파수를 중심으로 1 옥타브에 해당하는 영역으로 해당 영역은 음원에서 제거될 영역으로 설정된다. 또한 1 옥타브에 해당하는 이명 주파수 영역의 인접한 좌·우 주파수의 일정 영역은 자극을 위한 증폭되는 영역으로 설정된다. 이명 주파수를 중심으로 1 옥타브의 영역을 구하기 위한 일련의 과정은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} octave_{low} &= ROUND(f_{tinnitus} \times 0.70711), \\ octave_{high} &= ROUND(f_{tinnitus} / 0.70711). \end{aligned} \quad (3)$$

$ROUND(\cdot)$ 는 반올림 연산을 나타내고,  $f_{tinnitus}$ 는 사용자가 검색한 이명 주파수를 나타내며,  $octave_{low}$ 와  $octave_{high}$ 는 이명 주파수 대역의 시작 위치와 끝 위치를 나타낸다.

## 5. Removal and amplification frequency

본 논문에서 제안하는 시스템은 사용자의 이명 주파수 대역을 제거하고 인접한 주파수 영역을 증폭하는 과정을 통해 생리학적으로 대뇌 피질의 흥분성 활동이 약화되도록 측면역제가 되는 방법을 적용한다. 이와 같은 과정을 위해 먼저 앞서 구한 이명 주파수를 중심으로 형성된 이명 주파수 대역의 주파수 값을 제거한다. 이명 주파수 대역은 이명 주파수를 중심으로 1 옥타브의 시작 위치와 끝나는 위치를 매개변수로 사용하여 해당 주파수 구간에 대해 식 (4)를 적용하여 처리한다.

$$X_{rm}(f) = \begin{cases} 0, & octave_{low} < f < octave_{high} \\ X(f), & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)를 통해 이명 주파수 대역이 제거된  $X_{rm}(f)$ 에 측면억제를 위해 인접한 주파수 영역을 증폭하는 처리를 수행한다. 이와 같은 과정은 식 (5)와 같이 나타난다.

$$X_{amp}(f) = \begin{cases} \lambda_L \cdot X_{rm}(f), & L_{low} < f < L_{high} \\ \lambda_R \cdot X_{rm}(f), & R_{low} < f < R_{high} \\ X(f)_{rm}, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

$L_{low}, L_{high}, R_{low}, R_{high}$ 는 각각 좌·우의 인접한 주파수 영역의 시작 위치와 끝 위치를 나타내고,  $\lambda_L$ 과  $\lambda_R$ 은 신호의 증폭률을 나타내며,  $X_{amp}(f)$ 는 주파수가 증폭된 결과이다.

그림 5는 이명 주파수 대역의 제거 및 인접 주파수 영역을 증폭한  $X_{rm}(f)$ 와  $X_{amp}(f)$ 가 도출된 결과를 예시적으로 나타낸 것이다. 여기서 이명 주파수가 처리된 결과인 점성 내부영역은 사용자에게 제공될 음원의 정보가 주파수 도메인으로 존재하는 모습을 표현한다.

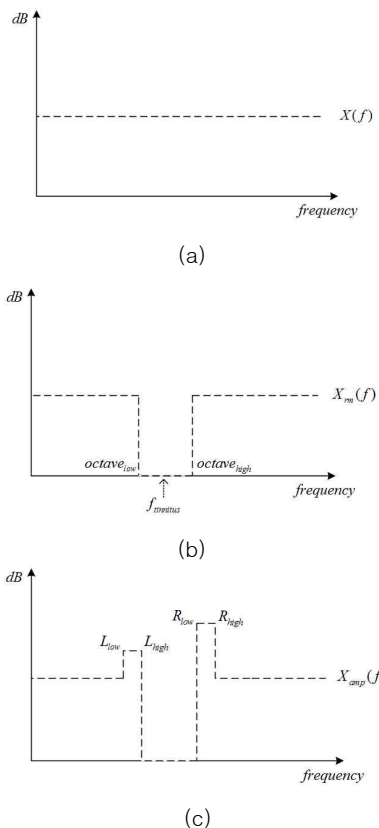


Fig. 5. Example of progressive flow of algorithm. (a) :  $X(f)$ , (b) :  $X_{rm}(f)$ , (c) :  $X_{amp}(f)$

## 5. Inverse FFT and output sound

주파수 도메인으로 구성되어 있는 이명 주파수가 처리된 결과는 사용자에게 제공되기 위해 다시 시간 도메인의 데이터인 PCM으로 변환한다. 이명 주파수를 처리하기 위해 FFT를 사용하여 주파수 도메인으로 변환하였기에 역FFT(inverse FFT)를 통해 PCM 데이터를 얻으며, 이와 같은 과정은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$x_{output}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X_{amp}(f) e^{-2j\pi ft} df. \quad (6)$$

식 (6)은 이명 주파수 처리 결과인  $X_{amp}(f)$ 를 입력으로 하는 역 FFT를 나타내며,  $x_{output}(t)$ 는 PCM 데이터를 나타낸다. 여기서  $x_{output}(t)$ 는 이명 주파수가 처리된 음원의 일부분을 의미하며, 모바일기기의 출력 장치가 가지는 버퍼로 이동하여 음원의 동기화에 맞춰 사용자가 해당 부분을 들을 수 있다.

이명 주파수가 처리되는 전체 과정은 좌·우 이명 주파수와 음원의 스테레오(stereo) 또는 모노(mono)인 경우에 따라 적응적으로 선택되어 수행된다. 또한 음원을 일정 영역단위로 연속적으로 처리하여 사용자가 모바일기기에서 실시간으로 음원을 서비스 받을 수 있도록 제공된다.

## IV. Experimental Results

제안하는 시스템의 전반적인 구성을 표현하고 이명 주파수 대역이 처리된 결과에 대한 출력 및 검증을 위해 시스템을 모바일기기에 이식하여 실험을 수행하였다. 시스템은 다수의 사용자가 사용가능 하도록 그림 6과 같이 앱(App.)을 등록하여 서비스를 제공한다.



Fig. 6. Registration of App. on Google play

그림 7은 시스템을 시작하는 과정으로 사용자가 본인이 겪고 있는 이명 증상에 따라 양쪽 귀, 왼쪽 귀, 오른쪽 귀를 선택한다. 선택에 따라 각각 이명 주파수를 찾는 과정을 수행하고, 입력되는 음원은 선택된 방향에 이명 주파수가 처리되어 제공



된다. 한 방향에만 이명 증상이 존재하여 왼쪽 또는 오른쪽만 선택할 경우에는 선택되지 않은 방향도 동일한 이명 주파수를 사용하여 서비스를 제공한다.

- ▶ 양쪽 귀에 모두 이명이 있으신 분은 아래 버튼을 눌러주세요.  
나는 양쪽 귀에 모두 이명이 있다.
- ▶ 왼쪽 귀에만 이명이 있으신 분은 아래 버튼을 눌러주세요.  
나는 왼쪽 귀에만 이명이 있다.
- ▶ 오른쪽 귀에만 이명이 있으신 분은 아래 버튼을 눌러주세요.  
나는 오른쪽 귀에만 이명이 있다.

소개 소리결정 음악듣기 도움말

Fig. 7. Selection of tinnitus type of ears



Fig. 8. Configuration of tinnitus frequency at left side and example of frequency index

그림 8은 사용자가 이명 주파수를 설정하는 과정으로 주파수를 250Hz에서 15kHz까지 원하는 주파수를 10단계의 소리의 크기에 맞춰 들을 수 있으며, 주파수 인덱스를 제공하여 본인의 이명 주파수에 가장 가까운 소리를 선택하여 이명 주파수를 편리하게 검색할 수 있다. 이명 증상이 좌·우에 모두 존재하면 양쪽에 대해 동일한 과정을 수행한다. 여기서 선택된 이명 주파수는 1 옥타브의 이명 주파수 대역 계산의 위산 개개변수로 사용되며, 소리의 크기는 실제 이명 주파수가 처리된 음원을 서비스 받을 때 적용된다.

그림 9의 왼쪽 그림은 서비스 받을 음원 파일을 선택하는 과정을 나타낸다. 음원 리스트로는 사용자의 모바일 단말에 저장된 모든 음원이 출력되며 사용자는 원하는 파일을 선택하여 서

비스 받을 수 있다. 오른쪽 그림은 테스트 음원을 입력으로 사용하여 음원에서 이명 주파수 대역이 제거되고 인접한 주파수 영역이 증폭된 결과가 사용자에게 실제 서비스되는 것을 나타낸다. 실험을 위해 좌·우의 이명 주파수를 각각 1000Hz와 3000Hz로 설정하였으며, 그림 하단에 표현되는 주파수 스펙트럼을 통해 실시간으로 각각의 이명 주파수가 처리되어 서비스됨을 확인할 수 있다. 여기서 주파수 스펙트럼의 표현은 별도의 버퍼를 두어 역FFT를 수행하기 직전의 주파수 도메인 데이터를 이용하여 나타낸다.

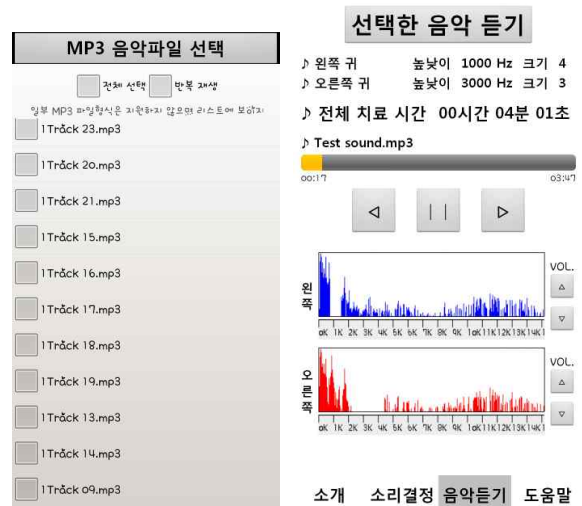


Fig. 9. Selection files on list and service of processing data by tinnitus frequency

그림 10은 실시간으로 제공된 음원을 검증하기 위해 음원 전체에 대한 누적 주파수를 주파수 스펙트럼으로 표현한 것이다. 그림에서와 같이 좌·우 각각의 누적 주파수 스펙트럼은 좌·우의 이명 주파수인 1000Hz와 3000Hz를 중심으로 형성된 1 옥타브의 이명 주파수 대역에 데이터가 없음을 보여준다. 이는 사용자가 선택한 이명 주파수를 통해 이명 주파수 대역에 대한 시스템의 처리가 올바르게 수행되었음을 확인할 수 있으며, 사용자는 실시간으로 이명 주파수가 처리된 음원을 제공받았음을 의미한다.

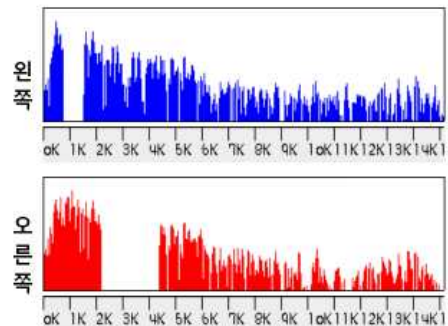


Fig. 10. Accumulate frequency of left-ear and right-ear to remove tinnitus frequency

제안하는 시스템은 실험을 통해 이명 주파수를 측정하고 모바일기에 보유중인 음원을 선택하여 원하는 음악을 실시간으로 제공받을 수 있으므로 임상적으로 이명 증상 개선에 대한 순응도가 증가하고 생리학적으로 대뇌 피질의 측면 억제 효과를 기대할 수 있어 기존의 방법들보다 우수함을 나타낸다.

## V. Conclusions

본 논문에서는 모바일기기 기반의 실시간 이명 주파수 처리 시스템을 제안하였다. 사용자가 본인의 이명 주파수를 검색하고 음원을 선택하면 시스템은 해당 음원에 대한 메타데이터를 분석하고 음원데이터를 디코딩하여 원시 데이터인 PCM 데이터로 변환한다. PCM 데이터는 주파수 처리를 위해 FFT를 통해 주파수 도메인의 데이터를 변환되며 사용자가 선택한 이명 주파수를 중심으로 1 옥타브 제거하고 인접한 주파수 대역을 증폭하는 작업을 수행한다. 이명 주파수가 처리된 주파수 도메인의 음원데이터는 역FFT를 통해 다시 PCM 데이터로 변경되고 모바일기기의 출력 장치로 동기화에 맞춰 출력된다. 이와 같은 과정을 통해 사용자는 본인이 원하는 음원에 대해 실시간으로 이명 주파수가 처리된 음원을 제공받는다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 기존에 존재하는 방법들의 단점을 극복하였으며, 이명 증상을 겪고 있는 많은 사용자에게 보다 나은 편의와 이명 증상 개선효과를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 제안한 시스템의 모바일 버전은 대학병원과의 연계로 이명 증상을 느끼는 사용자 및 Google play에서 다운 받은 사용자가 이용 중임을 피드백을 통해 진행하고 있으며, 추가적으로 시스템이 개인의 이명증상에 더욱 특화될 수 있도록 다양한 변수의 도입과 함께 연구개발이 요구된다.

## REFERENCE

- [1] I. Moon, K. Lee, Y. Han, J. Sung, I. Choi, J. Park, J. Jang, and B. Jun, "Tinnitus masking effects using various kinds of sound and music," *Korean Journal of Otolaryngology-Head and Neck Sur*, vol. 42 no. 2, pp. 173-183, 1999.
- [2] E. Wilson, G. Schlaug, and C. Pantev, "Listening to filtered music as a treatment option for tinnitus: A review," *Music Percept.*, vol. 27, no. 4, pp. 327-330, Apr. 2010.
- [3] S. Kim, K. Lee, S. Yoo, and K. Choo, "A clinical study of tinnitus," *Korean Journal of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, vol. 38 no. 7, pp. 1011-1016, 1995.
- [4] J. Hobson, E. Chisholm and A. Refaie, "Sound therapy (masking) in the management of tinnitus in adults," *Cochrane Database System Rev.*, Dec. 2010.
- [5] S. Vanneste, M. Dongen, B. Vree, S. Hiseni, E. Velden, C. Strydis, K. Joos, A. Norena, W. Serdijn and D. Ridder, "Does enriched acoustic environment in humans abolish chronic tinnitus clinically and electrophysiologically? A double blind placebo controlled study," *Hearing Research*, vol. 296, pp. 141-148, Feb. 2013.
- [6] H. Teismann, H. Okamoto and C. Pantev, "Short and intense tailor-made notched music training against tinnitus: the tinnitus frequency matters," *PLoS One*, vol. 6, no. 9, Sep. 2011.
- [7] H. Okamoto, H. Stracke, W. Stoll and C. Pantev, "Listening to tailor-made notched music reduces tinnitus loudness and tinnitus-related auditory cortex activity," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 107, no. 3, pp. 1207-1210, Jan. 2010.
- [8] C. Pantev, C. Rudack, A. Stein, R. Wunderlich, A. Engell, P. Lau, A. Wollbrink and A. Shaykevich, "Study protocol: Münster tinnitus randomized controlled clinical trial-2013 based on tailor-made notched music training (TMNMT)," *BMC Neurol.*, vol. 14, no. 2, Mar. 2014.
- [9] J. Pape, E. Paraskevopoulos, M. Bruchmann, A. Wollbrink, C. Rudack and C. Pantev, "Playing and listening to tailor-made notched music: cortical plasticity induced by unimodal and multimodal training in tinnitus patients," *Neural Plasticity*, vol. 2014, pp. 1-10, May 2014.
- [10] T. Saito, Y. Manabe, Y. Shibamori, I. Noda, T. Yamamoto and H. Saito, "Comparison between matched and self-reported change in tinnitus loudness before and after tinnitus treatment," *Proceedings of the Sixth International Tinnitus Seminar*, pp. 522-524, 1999.
- [11] E. Nam, "Apparatus and method for healing ear ringing with music," Patent. KR-1010576610000, 2011.
- [12] E. Nam and I. Jung, "Real-time basis frequency re-shaper apparatus and a method for the tinnitus treatment," Patent. KR-1013862770000, 2013.

## Authors



Dae Hyun Park received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in computer engineering with the Department of Computer and Communications Engineering from Kangwon National University, Korea, in 2007, 2009 and 2015, respectively.

His research interests are in the areas of video signal processing and multimedia communications.



Kil Sun Hong received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Korea University, Korea, in 1989, 1991 and 2004, respectively. Dr. Hong joined the faculty of the Department of Computer

Science at Hankook University, Seoul, Korea, in 2008. He is currently a Professor in the Department of Computer Science, Korea University. He is interested in parallel computing, internet and mobile computing, and cloud computing.