



## **Development of Smartphone Mobile Apps for Hearing Aid Using Sound Frequency Translation**

**Jae-Ho Kim**\*

*Department of Software, Gangneung-Wonju National University*

---

### **ABSTRACT**

As the global population is aging, the use of hearing aids is expanding, and the demand for technologically advanced digital hearing aids is steadily increasing compared to conventional analog hearing aids, and major manufacturers are increasingly adopting digital hearing aids it is focusing. As the capacity of smartphone batteries improves, the duration of hearing aid apps is also increasing. In addition, since wireless handsets are linked to smartphones, smartphones have a sufficient environment to implement hearing aid apps. Therefore, if a smartphone is used to implement the function of a hearing aid, it is possible to construct a high quality hearing aid even at a low construction cost. The strength of implementing a hearing aid app on a smart phone is that it can implement intelligent hearing aids by implementing various types of algorithms. For example, you can implement a variety of additional features such as noise reduction, high frequency conversion, acoustic pattern recognition, intelligent volume control, feedback cancellation, and speech enhancement. Since there is no additional hardware cost to implement these functions, it is possible to implement intelligent hearing aids at low cost, and it is believed that hearing aids can be supplied to more hearing impaired people. In this trend, we want to develop smart phone apps that are cheaper and more versatile than standalone hearing aids by utilizing the sound processing function of smartphones.

© 2018 KKITS All rights reserved

---

**KEYWORDS :** Hearing aid, Smartphone apps, Voice data, Real time amplification, Frequency translation

---

**ARTICLE INFO:** Received 2 January 2018, Revised 2 February 2018, Accepted 8 February 2018.

---

---

\*Corresponding author is with Department of Software, Gangneung-Wonju National University, 150, Namwon-ro,

Wonju-si, Gangwon-do 26403, KOREA.  
E-mail address: kimjaeho@gwnu.ac.kr

## 1. 서론

최근의 인구 고령화 추세와 삶의 질 향상에 따라 의료기기산업 시장이 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 난청은 선천적인 경우도 있지만 대부분은 난청의 원인은 귀와 관련된 질환과 노화에 따른 노인성, 기타 약물남용 등 여러 원인에 의해 일어난다. 특히 헤드폰 과다사용, 소음작업 환경 등으로 인해 난청이 증가 추세에 있으며 이로 인해 많은 사람들이 불편한 생활을 하고 있다[1,2].

디지털 기술의 발달에 따라 디지털 보청기에 대한 수요가 지속적으로 증가하면서 아날로그 보청기 시장이 지속적으로 감소하고 있으며, 주요 제조 기업들도 고객 수용도가 높고 이윤이 높은 디지털 보청기 생산에 매진하고 있다[3]. 디지털 보청기 시장은 2005년부터 2015년까지 매년 평균 6.2%의 성장률과 함께 2015년 시장 규모는 약 80억 달러로 전체 보청기 시장의 99.4%를 차지하고 있으며, 2019년에는 117억 달러가 될 것으로 예상된다[4,5].

이러한 추세에 따라 스마트폰의 소리 처리 기능을 활용하여 독립형 보청기에 비해 저렴하고, 다양한 기능을 갖는 스마트폰의 보청기 앱을 개발하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스마트폰에서 활용 가능한 주파수 변환기술에 대해 살펴보고, 3장에서는 이 변환기술을 이용하여 보청기 앱 설계 과정에 대해 설명한다. 4장에서는 개발한 앱의 기능과 성능에 대해 설명하고, 마지막으로 5장에서 향후 개선사항에 대해 알아본다.

## 2. 스마트 폰 기반 주파수 변환 기술

스마트 폰에 보청기 앱을 구현하는데 장점은 다양한 형태의 알고리즘을 구현하여 지능화된 보청기를 구현할 수 있다는 점이다. 예를 들어, 고주파

변환, 음향패턴 인지, 볼륨 조절, 노이즈 제거, 피드백 제거[6] 등 다양한 부가 기능들을 활용할 수 있다. 이러한 기능들을 구현하면, 추가의 하드웨어 비용이 들지 않게 된다. 따라서 지능적인 보청기를 저비용으로 구현할 수 있어서 보다 많은 난청자들에게 보청기의 보급이 가능할 것이다.

### 2.1 스마트폰 기반 주파수 변환

보청기의 기본원리는 <그림 1>과 같이 외부로부터 들려오는 소리를 증폭시켜 난청으로 손실된 청력을 보조하여 준다. <그림 1>에서와 같이 마이크, 증폭기, 리시버, 컨트롤러, 그리고 배터리가 기본적으로 포함되며, 주파수 변환 기능이 포함된 경우에는 이에 필요한 디지털 신호처리 회로가 포함된다. 이렇게 많은 부품들을 사람의 귀에 들어갈 수 있는 정도로 작게 제작하기 위해 보청기에 사용되는 부품은 소형으로 특수 제작되고, 이는 보청기의 가격을 고가로 만드는 주된 이유로 작용한다.



그림 1. 보청기의 구성요소

Figure 1. Components of a hearing aid

본 논문에서 제시하는 스마트 폰 기반 주파수 변환 보청기에서는 보청기를 구성하는 대부분의 부품 기능들을(마이크, 증폭기, 컨트롤러, 배터리 및 DSP) <그림 2>에서와 같이 스마트 폰 내부에서 처리하고 소리를 재현해주는 리시버만 난청자의 귀에 연결하는 형태를 가진다.

이러한 접근은 보청기의 집적도를 낮추고 다양

한 알고리즘을 스마트 폰에 구현할 수 있으므로 인해, 성능이 뛰어난 보청기를 낮은 가격에 구축할 수 있도록 해준다.



그림 2. 스마트폰 보청기의 구성요소  
Figure 2. Components of smartphone hearing aids

## 2.2 주요 기능

### (1) 음성 데이터의 실시간 증폭

음성 데이터의 실시간 증폭은 스마트 폰의 마이크를 통해 들어온 음성을 난청자가 들을 수 있도록 소리의 크기를 증폭하는 기능이다. <그림 3>에서와 같이 마이크로폰을 통해 소리를 입력 받고 사용자의 설정에 따라 소리를 증폭한 후에 소리를 이어폰으로 출력한다[7].

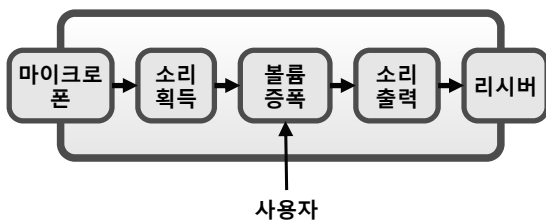


그림 3. 음성 데이터 증폭 절차  
Figure 3. Voice Data amplification procedure

스마트 폰의 마이크로폰을 통한 소리 입력은 안드로이드 API의 media.AudioRecord 객체가 담당한다. AudioRecord 객체를 통과한 소리는 PCM(Pulse

Code Modulation)으로 디지털화된 값의 형태로 추출된다. 입력된 소리 값은 사용자의 음성 증폭 설정에 따라 증폭된다. 증폭된 소리 값은 안드로이드의 media.AudioTrack 객체에 의해서 다시 소리로 합성되어 리시버로 전달된다. 소리 값의 증폭에 있어 주의할 점은 증폭 시에 데이터 범위를 넘어서 오버플로가 발생할 수 있다. 따라서 이점을 주의해서 증폭의 결과 값을 산출하여야 한다.

### (2) 음성 데이터의 주파수 변환

사람의 가청 주파수는 20 ~ 20000 Hz에 달한다. 고령에 의한 난청의 경우 높은 음(고주파수)부터 들리지 않는 현상이 발생 하는 것으로 알려져 있다. 따라서 고주파수대의 소리를 저주파수대로 변환을 수행해 줌으로써 난청자가 높은음을 들을 수 있도록 하는 것이 가능하다[8,9].

이를 위해 음성데이터의 주파수 분할 및 합성의 기능이 요구된다. 보통 주파수의 분할은 푸리에 변환을 이용하여 구현할 수 있는데, 안드로이드 오디오 패키지에 푸리에 변환의 기능이 없다. 따라서 이를 수행하는 모듈을 구현하여야 한다. 이의 기능에 대한 전체적 모듈 기능도는 <그림 4>와 같다.

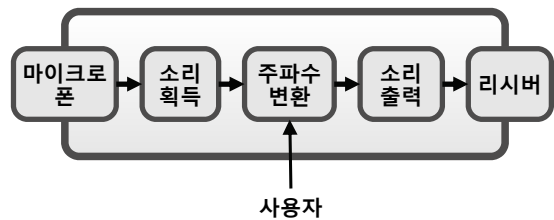


그림 4. 음성 데이터 주파수 변환 절차  
Figure 4. Voice data frequency conversion procedure

AudioRecord를 통해 획득된 소리는 이미 디지털화된 PCM 값이다. 이를 푸리에 변환을 이용하여 주파수 대역별 분할이 가능하다. 하지만

android.media 패키지에는 푸리에 변환을 수행하는 패키지가 없으므로 이를 수행하는 클래스의 구현이 요구된다.

고주파 소리 값을 제거 혹은 저주파 대역으로 변형한 후 이를 다시 소리 값으로 합성한다. 이 경우에도 android.media 패키지에는 주파수 합성을 담당하는 클래스가 없으므로 이의 구현이 요구된다. 합성된 소리 값은 AudioTrack 객체를 통하여 소리로 변환 후 리시버로 출력된다.

### 3. 보청기 앱 상세 설계

#### 3.1 보청기 앱 클래스 다이어그램

상세설계의 클래스는 android.media 패키지의 클래스들을 이용하여 구현한다. 이들 클래스간의 클래스 다이어그램은 <그림 5>와 같다.

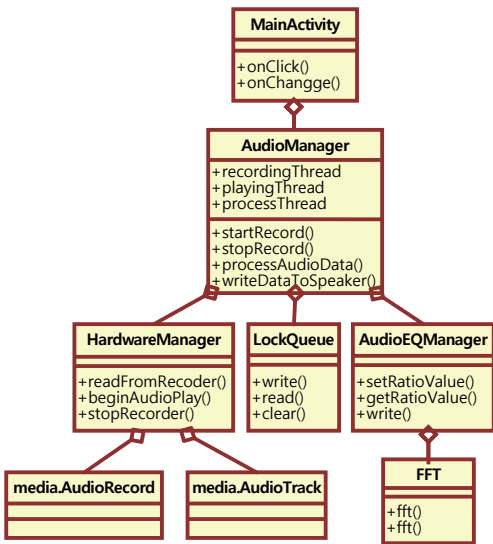


그림 5. 앱 클래스 다이어그램  
Figure 5. App class diagram

<그림 5>의 클래스 다이어그램에서는 각 클래스

마다의 대표적인 메서드 및 속성을 중심으로 기술하였다. 다이어그램에서 보듯이 MainActivity 객체가 내부에 AudioManager 객체를 가지고 있다. 이 객체는 HardwareManager 객체, LockQueue 객체, 그리고 AudioEQManager 객체를 관리하며 오디오 데이터를 처리한다. 오디오 데이터의 입력은 Hardware Manager가 관리하는 android.media.AudioRecord 객체를 이용하여 입력 받는다.

오디오 증폭은 AudioManager 객체에서 담당하지만 오디오의 주파수 변형은 AudioEQManager 객체에서 FFT 객체를 이용하여 처리한다. 조작된 오디오 데이터는 HardwareManager가 관리하는 android.media.AudioTrack 객체를 이용하여 출력된다.

#### 3.2 보청기 앱 클래스의 역할

스마트 폰 기반 보청기는 크게 두 가지의 기능을 가진다. 첫째는 소리 증폭이고 둘째는 주파수 변화이다. 이 두 가지의 기능을 구현하기 위해 다음과 같은 추가의 클래스가 요구된다.

##### (1) MainActivity

보청기 앱 클래스로써, 보청기 앱의 동작을 관리한다.

속성	- AudioManager:오디오 관리자 객체
메소드	- onClick:UI에 배치된 버튼의 클릭에 따라 발생한 이벤트를 처리한다. 버튼은 시작과 멈춤 버튼이 있으며, 상황에 따라서 AudioManager의 시작과 멈춤을 지시한다. - onChange:UI에 배치된 슬라이드 바의 변화에 따라 발생한 이벤트를 처리한다. 슬라이드 바는 증폭과 주파수 변화가 있으며, 상황에 따라서 AudioManager가 음성 증폭 및 주파수 변화를 처리하도록 한다.

## (2) AudioManager

오디오의 레코딩, 재생 그리고 음성 처리를 담당하는 스레드를 관리한다.

속성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- recordingThread:오디오 하드웨어 레코딩 담당 스레드</li> <li>- playaingThread:오디오 하드웨어 재생담당 스레드</li> <li>- processThread:오디오 증폭 및 주파수 변환 담당 스레드</li> </ul>
메소드	<ul style="list-style-type: none"> <li>- startRecord:recordingThread를 생성 후 mAudioHardware를 초기화하고 mAudioHardware로부터 오디오 데이터를 레코딩</li> <li>- stopRecord:mAudioHardware의 동작을 정지</li> <li>- processAudioData:mBeforeQueue 객체에서 오디오 데이터를 읽은 후 mEQManager를 이용 필요한 음성 주파수 변환 및 mRatio의 증폭 값에 따른 처리를 수행하고 mAfterQueue에 처리된 오디오 값을 표기</li> <li>- writeToSpeaker:mAfterQueue에서 오디오 데이터를 읽어온 후 이를 mAudioHardware에 적어 줌으로써, 오디오의 재생을 수행</li> </ul>

## (3) AudioEQManager

입력된 오디오의 고음 혹은 저음의 주파수를 조절한다.

속성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hort[] mBuffer:오디오 데이터를 담아두는 버퍼</li> <li>- FFT mFFT:고속 푸리에 변환을 수행하는 객체</li> <li>- float mRatioValue:고음을 저음으로 변환 비율</li> </ul>
메소드	<ul style="list-style-type: none"> <li>- setRatioValue: 오디오 데이터 중 고음에서 저음으로 변화시킬 비율을 설정</li> <li>- getRatioValue: 현재 설정된 저음 변화 비율 값을 가져옴.</li> <li>- write: 오디오 데이터 버퍼에 저음 처리된 오디오 데이터를 기록</li> </ul>

## (4) FFT

고속 푸리에 변환 및 역변환을 수행한다.

메소드	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fft: 고속 푸리에 변환을 수행</li> <li>- 0 ifft: 고속 푸리에역변환을 수행</li> </ul>
-----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

## (5) HardwareManager

레코딩과 재생을 담당하는 안드로이드 폰의 하드웨어를 관리한다.

속성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AudioRecoderrecoder:오디오 입력객체</li> <li>- AudioTrack at: 오디오 출력(스피커) 객체</li> </ul>
메소드	<ul style="list-style-type: none"> <li>- readFromRecorder: 레코드 객체로부터 오디오 데이터를 읽어서 오디오 데이터 버퍼에 기록</li> <li>- beginAudioPlay: 오디오 트랙 객체를 생성하고, 오디오의 재생을 시작</li> <li>- stopRecorder: 레코드 객체의 동작을 중지</li> </ul>

## (6) LockQueue

리코딩 스레드 및 재생 스레드가 사용하는 오디오 버퍼를 동기적으로 접근 하도록 스레드를 관리하도록 사용된다.

속성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AudioRecoderrecoder:오디오 입력객체</li> <li>- AudioTrack at: 오디오 출력(스피커) 객체</li> </ul>
메소드	<ul style="list-style-type: none"> <li>- write:오디오 버퍼에 데이터를 기록. 반환 값은 기록의 성공 유무</li> <li>- read:오디오 버퍼에서 오디오 데이터를 읽음. 반환 값은 데이터의 읽음의 성공 유무이다.</li> <li>- clear: 버퍼를 초기화 한다.</li> </ul>

## 4. 실험 및 비교

### 4.1 실험환경

본 논문에서 개발한 앱이 설치되어 실험될 안드로이드 폰의 사양은 다음과 같다.

표 1. 실험환경

Table 1. Testing specification

프로세서	쿼드코어 1.4GHz
메모리	2GB
음향	사운드 얼라이브
배터리	44시간(오디오 재생시)
네트워크	블루투스 지원
오디오	디지털 처리(AC/DC)
운영체제	안드로이드 4.0
개발언어	JAVA
개발환경	Android Studio

## 4.2 앱 인터페이스

개발한 앱의 명칭은 소머즈로 명명했으며, 인터페이스는 <그림 6>과 같다. 앱에는 소리 조절버튼과 고음/저음 조절버튼이 있는데 앱을 사용하는 개인의 청력 특성에 따라 값을 조절할 수 있다.

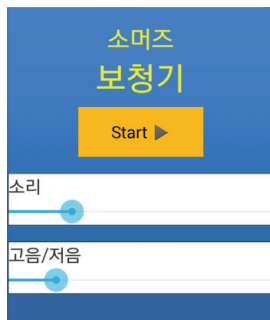


그림 6. 앱 인터페이스  
Figure 5. App interface

개발한 앱을 이어폰 없이 폰의 스피커를 이용하게 되면 에코 현상이 발생하는 하게 된다. 이어폰을 이용하게 되면 에코 현상 없이 사용할 수 있지만 0.5초 정도의 지연현상이 발생하게 된다. 이는 개발된 앱이 최적화되지 않았기 때문이 것으로, 계속 보완해 나갈 계획이다.

## 4.3 보청기 앱 비교

### (1) 독립형 보청기와 비교

기존 독립형 보청기는 내부에 최적화된 펌웨어 형태로 개발되어 있기 때문에 보청기 앱에 비해 품질이 우수하지만 상당히 고가라는 단점이 있다. 보청기 앱은 독립형에 비해 품질은 떨어지나, 매우 저렴하게 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 보청기 앱의 경우 사용자의 특성에 맞게 즉시 설정을 변경할 수 있지만, 독립형 보청기는 즉시 설정이 어려운 단점이 있다. 따라서 서로의 장단점이 극단적으로 나타나기 때문에 직접적인 비교는 어렵다고 여겨진다. 향후 보청기 앱의 구현방법을 최적화[9]하여 독립형 보청기와의 품질 차이가 최소화 된다면, 보청기 앱이 경제적으로 유리할 것으로 판단된다.

### (2) 보청기 앱과 비교

개발한 소머즈 보청기 앱과 다른 앱들과 비교를 하였다. 비교 항목은 보청기 앱에서 발생하는 지연, 잡음, 에코의 정도 등이다. 이 비교 항목들은 특정 도구를 이용하여 측정된 것은 아니며, 체감되는 상태로 비교한 것이다. 지연은 대화의 내용이 이어폰을 통해 귀에 전달되는 시차를 의미하며, 소머즈 앱은 보통의 성능을 갖추고 있다. 잡음은 목소리 외에 주변 소리의 정도를 나타내며, 소머즈 앱은 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 에코는 청취된 목소리의 메아리 현상을 의미하며, 소머즈 앱은 상대적으로 적은 것으로 나타났다[11-13]. 향후 소머즈 보청기 앱의 주파수 변환 알고리즘을 최적화하게 되면 다른 앱들에 비해 나은 성능을 나타낼 것으로 판단된다[14,15].

표 2. 보청기 앱들간의 성능비교

Table 2. Performance comparison between hearing aid apps

비교앱 \ 특징	지연	잡음	에코	특징
소머즈	보통	적음	적음	고음/저음
A-앱	적음	적음	적음	청력테스팅
B-앱	보통	높음	적음	이퀄라이저
C-앱	보통	적음	많음	-

### 5. 결론

현재 스마트 폰의 보급은 고령자에도 충분히 보급되어 있을 뿐 아니라 저가의 스마트 폰 또한 많이 소개되고 있다. 스마트 폰의 컴퓨팅 파워는 점차 늘어나고 있어 음성처리를 충분히 해 낼 수 있을 뿐 아니라 새로운 형태의 음성 처리 알고리즘을 적용하는 것도 가능하다. 스마트 폰 배터리의 용량 또한 늘어나고 있는 추세로서 보청기 앱의 지속시간 또한 늘어날 수 있다. 게다가 최근에는 스마트 폰과 연동하는 무선 이어폰까지 보급되어 있기 때문에 스마트 폰은 보청기 앱을 구현하기 위한 환경을 충분히 갖추고 있다. 다만, 아직은 독립형 보청기에 비해 품질(음질, 지연 등)이 다소 떨어진다. 이는 독립형 보청기의 경우 모든 기능을 최적화하여 구성했기 때문이며 고가의 원인이기도 하다. 보청기 앱을 보다 최적화하여 구현한다면 적은 개발비용으로도 질 좋은 보청기를 개발하여 보급하는 것이 가능할 것이다.

### References

[1] S. K. Lee, *Current status and prospect of medical device market*, Korea Electronics Technology Institute, Sep. 2013.  
 [2] *Hearing and hearing loss*, <http://www.hear114.com/>, Korean Hearing Aid Information Resource Center, Sep. 2017.

[3] *State hearing health insurance mandates*, <http://hearingloss.org/advocacy/government-assistance>, The Hearing Loss Association of America, Oct. 2017.  
 [4] J. S. Lee, J. W. Kim, S. M. Park, and K. S. Kim, *Medical device market research report hearing aid*, Korea Health Industry Development Institute, Vol. 12, Apr. 2013.  
 [5] Global medical devices market, *Healthcare Equipment & Supplies Global Report*, Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, Nov. 2011.  
 [6] S. S. Jarng, *Hearing aid application of feedback cancellation algorithm in frequency domain*, The journal of the acoustical society of Korea, Vol. 35, No. 4, pp. 272-279, 2006.  
 [7] H. K. Hwang, *Frequency compression and frequency transposition*, Hearing Magazine, Autumn, 2009.  
 [8] *Frequency compression transform*, <http://blog.daum.net/lung1810/69>, Sep. 2017.  
 [9] Hearing aid automatic environment conversion program, <https://blog.naver.com/hhkhcc/220777537247>, Aug. 2016.  
 [10] H. I. Jung, *Comparative study of real ear measurement and speech performance test for optimal fitting of hearing aids*, Sungkyunkwan Univ, Aug. 2016.  
 [11] *Petralex*, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.it4you.petralex&hl=ko>, Nov. 2017.  
 [12] *Ear agent*, <https://www.appbrain.com/app/ear-agent>, Nov. 2017.  
 [13] *Super ear*, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.liberathor.diapason&hl=ko>,

Nov. 2017.

- [14] Y. S. Hwang, *A study on performance of the companding algorithm for digital hearing aids*, HanYang Univ, Feb. 2011.
- [15] H. D. Kang, Y. R. Song, and S. M. Lee, *A Study on the performance of noise reduction using multi-microphones for digital hearing aids*, Journal of IKEEE, Vol 14. No. 1, 2010.



**Jae-Ho Kim** received the bachelor's degree, the MS degree and the Ph.D. degree in the Department of Computer Science and Engineering from Chung-Ang University in 1988, 1990, and 2004, respectively. He has been a professor in the Department of Software at Gangneung-Wonju National University since 1997. His current research interests include semantic web, web framework. He is a life member of the KKITS.

*E-mail address:* kimjaeho@gwnu.ac.kr

---

## 소리 주파수 변환기술을 이용한 스마트폰 보청기 앱 개발

김재호

강릉원주대학교 소프트웨어학과

---

### 요 약

전 세계적 인구 고령화 추세에 따라 보청기 사용이 확대되고 있으며, 기존의 아날로그 보청기에 비해 기술적으로 진보된 디지털 보청기에 대한 수요가 지속적으로 증가하면서 주요 제조 업체들도 디지털 보청기 생산에 초점을 맞추고 있다. 스마트폰 배터리의 용량이 향상됨에 따라 보청기 앱의 지속시간이 향상되고 있다. 또한 스마트폰과 연동하는 무선 이어폰까지 보급되어 있기 때문에 스마트폰은 보청기 앱을 구현하기 위한 환경을 충분히 갖추고 있다. 따라서 스마트폰을 이용하여 보청기의 기능을 구현한다면 낮은 비용으로 질 좋은 보청기를 만드는 것이 가능하다. 스마트폰에 보청기 앱을 구현하는 장점은 다양한 형태의 알고리즘을 구현해서 지능형 보청기를 구현할 수 있다는 것이다. 예를 들면, 노이즈 제거, 고주파 변환, 음향패턴 인식, 지능적 볼륨 조절, 피드백 제거 및 음성 향상과 같은 추가 기능들을 구현할 수 있다. 이러한 기능을 구현하는데 추가의 하드웨어 비용이 들지 않으므로 저비용으로 지능형 보청기의 구현이 가능하며 보다 많은 난청자들에게 보청기의 보급이 가능할 것으로 여겨진다. 이러한 추세에 따라 스마트폰의 소리 처리 기능을 활용하여 독립형 보청기에 비해 저렴하고, 다양한 기능을 갖는 스마트폰의 앱을 개발하고자 한다.

---