JDCS
디지털콘텐츠학회논문지
Journal of Digital Contents Society
Vol. 19, No. 4, pp. 779-787, Apr. 2018

고령층의 가청주파수 특성을 고려한 이퀄라이저 연구

이 철 희 · 홍 성 규*
경희대학교 포스트모던음악학과

A study on the hearing characteristic based equalizer design for the elderly

Chul-Hee Lee · Sung-Kyoo Hong*
Department of Post Modern Music, Kyunghee University, Yongin 17104, Korea

[요 약]

본 연구는 가청주파수 축소로 인해 고주파수의 청취력 저하를 겪는 고령층에게 손실된 주파수의 음압을 보상하는 이퀄라이저 연구이다. 연구를 통해 신체 노화에 따라 고주파수 청력역치가 증가하는 원인과 고령층의 가청주파수 특성을 고찰하여 급격하게 증가하고 있는 우리나라 고령층에게 가청주파수 특성을 반영한 이퀄라이저 제공이 필요한 이유를 밝혔다. 현재 일부 애플리케이션에서 사용자의 가청주파수를 확인한 뒤 이를 반영한 이퀄라이저 설정을 제공하는 기능과 연령대 별로 상이한 이퀄라이저 설정을 제공하는 기능이 상용화 되어있으나 실험을 통해 소리 개선 효과를 확인한 결과 고령층의 청력 손실 폭을 온전히 보상하기에는 부족한 것으로 나타났다. 따라서 기존 기능의 한계점을 지적하고 이를 개선하는 방법을 제안하여 고령층에게 제공되는 디지털 미디어 콘텐츠의 소리 전달력을 향상시키는 방법을 모색했다.

[Abstract]

This study delves into how the equalizer can compensate for a sound pressure of lost frequencies. The targeted audiences are senior citizens who have difficulties hearing high-frequency because of a decline of audio frequency. Through investigations, this study confirms that the reason why reduction of high-frequency hearing increases depending on senescence. By considering the features of audio frequency of senior citizens, it also clarifies the necessity of equalizer reflecting features of audio frequency for the senior citizens, which have dramatically increased in Korea. There are application programs having functions, which provide several options of equalizer setup that people can adjust it depending on their own audio frequency. Some of them provide different equalizer setup depending on age. This study, however, reveals that they are not fully enough to compensate for the range of hearing loss of the senior citizens. Therefore, by pointing out limitations of existing functions and suggesting improvements, this study explores the way of improvements that enhance the sound transmissions of digital media contents for senior citizens.

색인어 : 고령화, 노화, 가청주파수, 이퀄라이저, 노인 문화생활
Key word : Ageing, Aging, Audio frequency, equalizer, Senior culture life

http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.4.779

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 05 April 2018; **Revised** 22 April 2018
Accepted 25 April 2018

***Corresponding Author; Sung-Kyoo Hong**

Tel: +82-31-201-3788
E-mail: hong@khu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

우리나라의 65세 이상 비율은 2000년 전체인구에서 7.3%를 초과하여 이미 고령화사회에 접어들었고 2018년 14% 이상으로 고령사회에 편입, 2025년 20% 이상으로 초고령사회에 편입, 2044년에는 35%에 이를 것으로 전망된다[1]. 하지만 2017년 8월 말 행정안전부가 발표한 주민등록 인구통계에 따르면 65세 이상 노인 인구는 이미 전체 인구의 14.02%로 통계청의 예상보다도 고령화가 빠르게 진행되고 있다. 이에 따라 사회 전반에 걸쳐 노인을 대상으로 하는 정책, 상품, 프로그램 등의 개발이 활발하게 진행되고 있으며 디지털 콘텐츠 산업에서도 이에 대한 대비가 요구된다.

임춘식은 “노인들 중에서는 만성화된 무료함에서 벗어나기 위해서 공원이나 어린이 놀이터 등을 산책하거나 가정에서 TV 시청이나 라디오에 귀를 기울이는 사람이 많다”고 했다[2]. 고령층에게 TV 시청이나 라디오 청취는 여행이나 공연관람 등의 다른 여가활동과 달리 별도의 비용이 발생되지 않기 때문에 부담 없고 일상적인 미디어 콘텐츠 소비활동인 것이다. 게다가 2018년 이후부터는 베이비붐 시대에 태어난 베이비부머들의 고령화에 따라 고령사회로 진입하게 되면서 고령층 중심의 새로운 문화가 형성 될 것이다. 이 시기 이후의 고령층은 경제력과 문화예술 부분의 지식을 갖고 있고 교육수준이 높으며 문화예술을 이해할 수 있는 소양을 가지고 있다[3]. 특히 향후 고령층으로 편입될 65세 이하의 디지털 미디어 콘텐츠 시청 및 청취 활동 양상을 고려한다면 지금까지 TV와 라디오에 편중된 고령층의 디지털 미디어 콘텐츠 소비가 컴퓨터의 동영상 재생 프로그램과 인터넷, 스마트폰을 이용한 동영상 시청, 음악 애플리케이션을 통한 음악 감상 등 다양한 디지털 미디어 매체의 이용으로 확산될 가능성이 높다. 따라서 이들 매체에서 고령층의 청력 보완을 위한 이퀄라이저 기능이 제공된다면 고령층을 대상으로 한 미디어 콘텐츠를 제공하는 공급자와 이를 감상하는 소비자 모두에게 긍정적인 역할을 할 것으로 기대된다.

기존의 음악 애플리케이션과 동영상 재생프로그램에서 제공되는 이퀄라이저 설정을 살펴보면 현재까지 디지털 미디어 매체의 이퀄라이저는 특정 장르에 따라 주파수별 음압이 상이하게 조정된 설정 값을 제공하거나 고음 혹은 저음이 증폭된 설정 값을 제공하는 방식 위주로 발달했다는 것을 알 수 있다. 물론 사용자가 직접 조정할 수 있는 그래픽 이퀄라이저(graphic equalizer)가 제공되기도 하지만 음향에 대한 사전지식 없이는 효과적으로 이용하기 힘든 단점이 있다. 게다가 매체의 이퀄라이저 기능은 지금까지 디지털 미디어 콘텐츠의 주 소비 연령인 청소년과 청년을 중심으로 개발되었기 때문에 고령층에게는 적합하지 않은 설정이 대부분이다. 이런 설정은 현재까지는 효과적일 수 있었으나 고령사회, 초고령사회에 대응하기에는 부족하다. 신체 노화에 따라 가청주파수의 폭이 좁아지고 달팽이관(cochlea) 유모세포(hair cell)의 손상으로 인해 유발되는 감각신경성 난청으로 저주파 대역에 비해 고주파 대역의 청력 감소가 현저한 노인성 난청[4]을 고려한다면 디지털 미디어 콘텐츠 매체에는 고령층의 가청주파수 특성에 맞게 고주파수의 손실 음압을 적절하게 보상하는 기능이 요구된다.

현재까지 고령층의 청력을 보완하는 기술은 보청기 제작에서 적극적으로 개발 및 발달되고 있다. 노인성 난청 보정 방법은 모든 주파수 대역에서 동일하게 음성 신호를 증폭하는 것은 적합하지 않고 특정 주파수 이상에서는 주파수에 비례하는 고주파 증폭이 필요하다[5]. 또한 노인의 청력역치는 주로 고주파수 대역에서 상승한다[6], [7]. 노인성 난청을 대상으로 한 다양한 실험에서 고주파수 대역의 청력 저하를 확인 했으며 이에 대응한 제품 개발이나 회로 설계 등이 끊임없이 이뤄지고 있다. 하지만 이에 비해 디지털 미디어 콘텐츠 매체에서는 고령층을 위한 소리 재생 환경 개선 연구가 미진한 단계이다. 뿐만 아니라 현재 서비스 중인 이용자의 가청주파수를 고려한 이퀄라이저의 경우 손실 음압의 보상이 적절하게 이뤄지지 못한다는 한계점이 있다. 따라서 본 연구는 노화에 따른 가청주파수 변화를 고찰한 결과를 반영해 기존의 기능을 개선한 이퀄라이저를 고안함으로써 향후 고령층이 자신의 청각적 특성에 맞게 개선된 소리로 디지털 미디어 콘텐츠를 향유할 수 있도록 돕고 있다.

Ⅱ. 가청주파수와 음성 및 음악의 주파수

2-1 가청주파수

양과 음의 진폭을 갖는 한 주기 안에서 음향 발생기나 전기적 신호, 진동하는 집단이 반복하는 비율을 주파수(frequency)라고 하며 하나의 완벽한 파형 진행을 주기(cycle), 초당 발생하는 주기의 개수를 표기하는 단위는 헤르츠(Hz)라고 한다[8] 가청주파수란 들을 수 있는 음파의 주파수 영역이다. 코끼리나 하마 등 일부 동물은 20Hz 이하의 초저음파를 감지할 수 있으며 박쥐나 돌고래 등 일부 동물은 120,000Hz, 150,000Hz까지의 초고음파를 감지할 수 있다. 반면 일반적으로 좋은 귀를 가진 사람은 20Hz부터 20kHz(20,000Hz)까지 들을 수 있다고는 하지만 대부분의 사람은 35Hz부터 16kHz나 17kHz정도의 주파수를 감지할 수 있다[9]. 이 가청주파수는 선천적으로 더 넓거나 좁은 경우도 있고 후천적으로 폭이 좁아지기도 하기 때문에 절대적인 기준은 없다.

2-2 음성 및 음악의 주파수

인간의 음성 주파수는 80Hz부터 8kHz까지인데 그중 일반적인 말소리는 대부분 500Hz부터 2kHz까지에 분포되어 있다. 따라서 대부분의 청력 검사는 8kHz까지 진행되며 선행 연구와 기존의 의학 자료 역시 이 범위 중심이다. 하지만 디지털 미디어 콘텐츠에는 음성만 존재하는 것이 아니기 때문에 음성의 음역보다 넓은 음악의 음역까지 연구해야 유의미한 결과를 도출해 낼 수 있다.

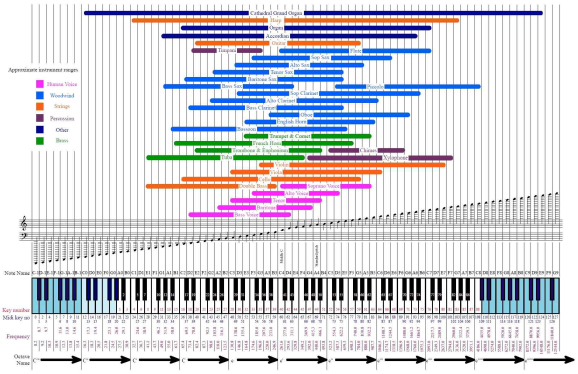


그림 1. 악기별 음역대와 주파수[10]
Fig. 1. Ranges and frequencies of musical instruments

위의 그림 1은 악기의 음역대와 주파수를 정리한 것이다. 건반을 88개 사용하는 일반적인 피아노의 음역을 기준으로 최저음 A0는 27.5Hz, 최고음 C8은 4,186Hz이다. 캐시드럴 그랜드 오르간(Cathedral Grand Organ)을 제외하면 피아노의 음역을 초과하는 오케스트라 악기는 드물다. 하지만 그렇다고 해서 일반적인 음악에 4,186Hz 이상의 소리가 드문 것은 아니다. 그림 속 악기별 주파수는 연주 가능한 기음(밑음, fundamental tone)을 표기한 것일 뿐이며 모든 자연음들은 배음(harmonic overtone)을 가지고 있기 때문에 대부분의 음악에는 4,186Hz 이상 고주파수 대역의 소리가 존재한다.

아래 그림 2는 자연음이 가진 배음을 확인하기 위해 첨부한 오디오 리페어(audio repair) 소프트웨어인 아이조톱 알엑스5(iZotope RX5)의 스펙트로그램(spectrogram) 그래프이다. 가로축이 시간, 세로축이 주파수이며 위쪽일수록 고주파수, 아래쪽일수록 저주파수이다. 검출된 파형의 밝기가 밝을수록 음압이 크고 어두우면 음압이 작은 것을 의미한다. 왼쪽은 기음만 연주하기 위해 배음이 없는 정현파(sine wave)를 신시사이저(synthesizer)로 연주한 그래프이며 오른쪽은 바이올린을 연주한 그래프이다. 양쪽 모두 국제 기준음인 A4에 해당하는 440Hz를 연주한 것이지만 인위적으로 만들어낸 정현파와 달리 바이올린은 음 하나를 연주했을 뿐이지만 수많은 배음들로 인해 고주파수까지 채워졌음을 알 수 있다.

다음 그림 3는 구스타프 말러의 교향곡 제5번 3악장 전체를 분석한 그래프이다. 오케스트라 악기들로 연주된 곡이지만 점선으로 표시한 4,186Hz를 초과하는 주파수의 소리가 포함된 것을 쉽게 확인할 수 있다.

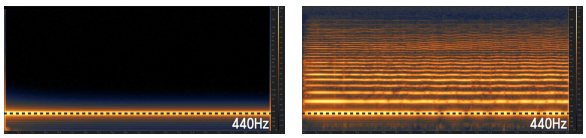


그림 2. 정현파의 440Hz(좌)와 바이올린의 440Hz(우)
Fig. 2. 440Hz of sine wave(left) and 440Hz of violin(right)

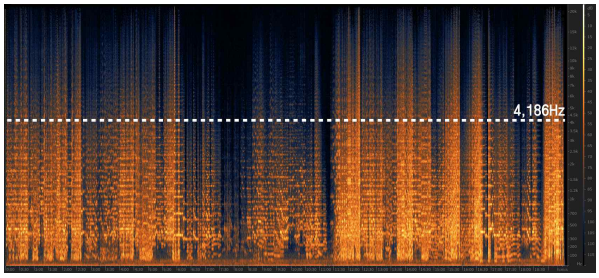


그림 3. 스펙트로그램으로 분석한 구스타프 말러의 교향곡 제5번 3악장 전체
Fig. 3. Analysis of Gustav Mahler's Symphony No. 5 : Ⅲ utilizing Spectrogram

위의 검출 결과에서 확인 할 수 있듯 음악에서 사용되는 주파수는 인간의 가청주파수에 해당하는 20Hz부터 20kHz까지 폭넓게 분포되어있는 것을 알 수 있다. 다만 인간의 청지각은 위의 그림 3에 검출된 결과처럼 저주파수의 음압이 고주파수의 음압에 비해 월등히 높다고 해서 인간의 귀에도 비례하게 인식되는 것은 아니다.

아래 그림 4는 주파수에 따라 음압이 다르게 인식된다는 것을 조사하여 발표한 음향학자 플레처와 먼슨이 만든 등청감 곡선이다. 한 줄로 이어진 곡선들은 주파수별로 제각기 다른 음압값을 연결한 것이지만 연결된 선위에 해당하는 각기 다른 음압들이 인간의 귀에는 동일한 크기로 인식되는 것을 나타낸다. 그래프에서 알 수 있듯이 인간의 귀에는 20Hz에서의 80dB 음압과 1kHz에서의 10dB 음압이 동일한 크기로 들린다. 이처럼 저주파수의 음압은 다른 주파수에 비해 작게 느껴지기 때문에 전체 주파수가 균형 있게 들리기 위해서는 위의 그림 3에서 검출된 결과처럼 저주파수의 음압이 다른 주파수보다 커야한다.

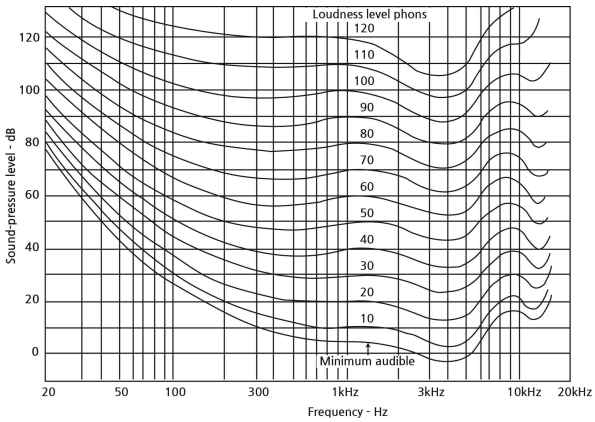


그림 4. 등청감 곡선
Fig. 4. Equal loudness contour

Ⅲ. 소리의 인지과정과 고령층의 가청주파수 특성

3-1 소리의 인지과정

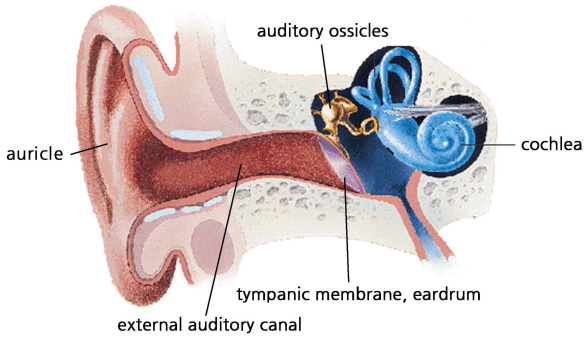


그림 5. 귀의 구조[11]
Fig. 5. The structure of the ear

소리가 귓바퀴라고 불리는 이개(auricle)와 외이도(external auditory canal)를 통해 고막(tympanic membrane, eardrum)을 진동시키면 고막 반대편 중이에 위치한 추골(malleus), 침골(incus), 등골(stapes)로 이뤄진 이소골(auditory ossicles)을 통해 달팽이관이라고 불리는 와우로 전달된다[12]. 와우에는 피아노 건반처럼 1만 5천 개의 세포가 입구에서부터 출구까지 늘어서 있다. 이 위로 소리가 지나가면 소리의 진동 주파수에 맞는 세포만이 진동을 한다. 세포에는 가는 섬모들이 연결되어 있고 이 섬모가 움직이면 전기가 발생해 두뇌로 전달되어 소리를 인식하게 된다. 이 세포가 청각의 핵심 유모세포이다[13]. 천분의 수 밀리미터에 불과한 유모세포가 발생하는 전기신호를 통해 인간은 소리를 인지할 수 있고 주파수에 따라 유모세포들이 각기 다르게 반응하기 때문에 소리의 높고 낮음을 구분할 수 있다.

3-2 고령층의 가청주파수 특성

헤럴드 자콘 등은 연구를 통해 황소개구리는 청각신경에 손상을 입어도 스스로 치유할 뿐만 아니라 기능이 회복되도록 연결 상태를 적절하게 재구성한다고 밝혔다. 부상이나 젠타마이신과 같은 특정 유형의 항생제에 노출로 인해 내이의 유모세포가 상실되면 신경을 재생시켜 청력을 회복한다. 뿐만 아니라 개구리는 오래된 유모세포가 쇠약해지면 일부 유모세포를 지속적으로 만들어낸다. 하지만 개구리와 달리 인간은 청각신경에 손상을 입으면 영구적으로 회복이 불가능해 청각상실로 이어지게 된다. 유모세포는 인간이 태어난 후부터 죽어가는데 주로 고주파를 감지하는 세포들부터 죽기 시작한다. 그 이유는 고주파를 감지하는 유모세포는 달팽이관의 기저부에 위치해 외부 세계와 가장 가까우며 음향적 입력을 가장 크게 받아 제일 먼저 손상되기 때문이다[14].

그림 6. 정상적인 유모세포(좌)와 손상된 유모세포(우)[15]
Fig. 6. A normal hair cell(left) and damaged hair cell(right)

위 그림 6의 왼쪽 정상적인 유모세포는 과도한 소리의 자극이나 노화에 따라 그림의 오른쪽처럼 손상되어 제 기능을 하지 못하게 된다. 따라서 인간은 나이가 들수록 고주파수의 청력역치가 다른 주파수보다 높아 불균등한 청각 손실을 겪게 된다.

아래 그림 7은 애리조나 주립 대학교과 위스콘신 의과 대학 소속 T. L. Wiley 외 4명이 미국 청각학 저널에 등재한 논문에서 나이에 따라 발생하는 청력역치를 조사하기 위해 50세부터 100세까지 3,625명을 대상으로 청력검사를 한 결과이다[16]. 세로축은 dB HL(hearing level)로서 청력검사기기를 통해 사람이 들을 수 있는 청력의 크기를 표시하는 단위이다. 청력손실이 없는 건청인의 평균 청력역치레벨을 0dB HL로 기준 삼아 청력손실의 정도를 파악할 수 있다. 가로축은 50세부터 100세까지의 나이를 의미한다. 그래프로 쉽게 파악할 수 있듯 신체 노화에 정비례해 고주파수의 청력역치가 상승한다.

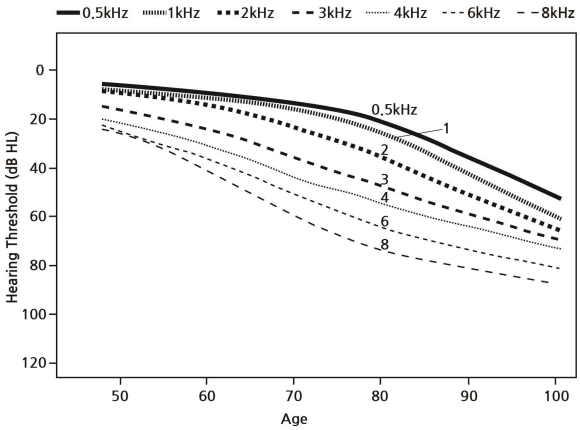


그림 7. 청력역치
Fig. 7. Hearing thresholds

Ⅳ. 고령층의 가청주파수를 고려한 이퀄라이저

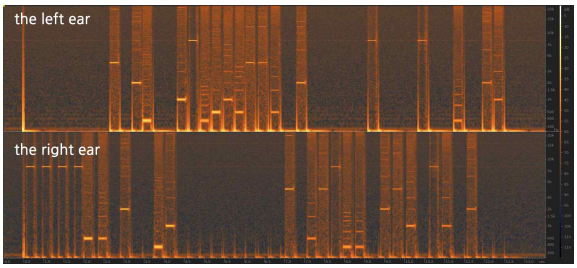
4-1 기존의 가청주파수를 고려한 이퀄라이저

1) 어댑트 사운드와 스마트EQ의 사용자 청력실험

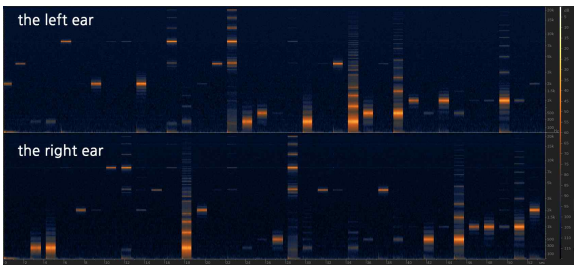
국내에서 특정 사용자의 가청주파수를 고려한 이퀄라이저는 2013년 삼성전자의 스마트폰 갤럭시 S4에 탑재된 뒤 현재까지의 후속 모델에 적용되고 있으며, 음악 애플리케이션 네이버

뮤직에서도 사용가능한 어댑트 사운드(adapt sound)기능과 음악 애플리케이션 멜론의 스마트EQ 기능이 대표적이다. 이 두 기능은 모두 특정 주파수를 이용한 사용자의 청력을 실험·분석하여 맞춤형 이퀄라이저 설정을 제공한다.

아래 그림 8은 네이버뮤직의 어댑트 사운드와 멜론의 스마트EQ에서 사용자의 가청주파수를 확인하기 위해 청력 실험에서 재생되는 특정 주파수의 그래프이다. 사용자가 이어폰을 착용한 뒤 실험을 시작하면 높고 낮은 특정 주파수의 소리가 크고 작은 음압으로 불규칙하게 양쪽 귀에 재생된다. 사용자는 소리가 들리면 '예'(네이버뮤직) 또는 '확인'(멜론) 버튼을 누르고 들리지 않으면 '아니오'(네이버뮤직) 또는 버튼을 누르지 않는 방법(멜론)으로 실험에 응한다.



Naver music – adept sound



Melon – smart EQ

그림 8. 청력 실험에서 재생되는 특정 주파수

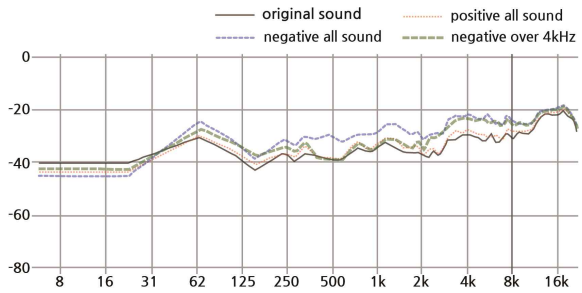
Fig. 8. Specific frequencies that are played in the hearing test

2) 청력실험 결과가 반영된 이퀄라이저 효과 비교

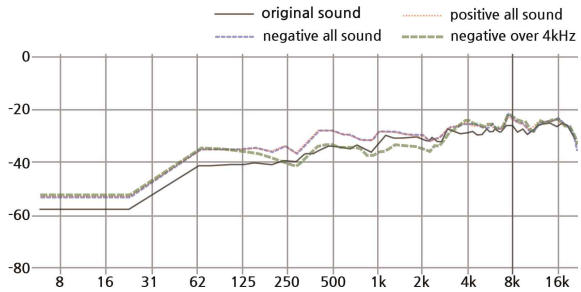
위의 두 기능의 실효성을 확인하기 위해 3가지 방법으로 청력 실험을 한 뒤 검출된 값을 원음의 그래프와 함께 스펙트럼 애널라이저(spectrum analyzer)인 웨이브즈 피에이지 애널라이저 스테레오(Waves PAZ - analyzer stereo)를 사용하여 비교·분석한 결과는 다음과 같았다.

다음 그림 9는 어댑트 사운드 기능이 탑재된 네이버뮤직과 스마트EQ 기능이 탑재된 멜론에서 재생 가능한 화이트 노이즈(white noise)[17]를 원음의 검출 결과치와 실험에서 재생되는 특정 주파수에 3가지 유형으로 답변한 결과치를 비교 분석한 그래프이다. 3가지 유형은 모두 들림으로 답변한 결과치, 모두 안 들림으로 답변한 결과치, 4kHz 이상의 주파수는 안 들림으로 답변한 결과치이다. 화이트 노이즈를 실험 음원으로 선택한 이유는 가청주파수 전역에 소리 에너지가 존재해 소리의 변화를 확인하는데 가장 적합한 음원이기 때문이다. 두 애플리케이션에서 기준이 되는 원음의 결과치가 다른 이유는 애플리케이션마다 출력되는 소리가 상이한 점 때문이다. 특히 125Hz 이하 저주파수의 음압 차이가 현저했는데 네이버뮤직의 경우 62Hz 부근의 주파수 음압이 멜론에 비해 10dB정도 크고 멜론은 약 24Hz 이하의 주파수 음압이 네이버뮤직보다 18dB 정도 작았다. 하지만 24Hz 이하의 저주파수는 인간의 귀에 감지되기 힘들기 때문에 청취자는 큰 차이를 느끼지 못한다. 오히려 두 음원의 차이가 크지 않은 250Hz 이상 주파수의 음압이 인간의 귀에 민감하게 인지되는 음역이기 때문에 차이가 뚜렷하게 느껴진다. 하지만 기준이 되는 원음의 차이는 애플리케이션 간의 비교 분석이 아닌 개별적 분석이므로 변별적 요인은 아니다.

네이버뮤직의 어댑트 사운드 기능으로 실험한 결과 '원음'과 소리가 가장 유사한 것은 '모두 들림'이고 가장 상이한 것은 '모두 안 들림'이었다. '4k 이상 안 들림'의 결과는 '원음'에 비해 2kHz부터 8kHz의 중고음역 음압 값이 10dB 정도 증폭된 것을 확인할 수 있었다. 공통적인 것은 세 가지 결과치 모두 약 40Hz 이하의 저주파수 음압이 '원음'보다 감소했다는 점이다. 특히 '모두 안 들림'의 경우 저주파수에서 약 5dB 정도 음압이 감소해 '원음'대비 감소 폭이 가장 컸으며 그 이유는 약 40Hz부터 12kHz까지 '원음'대비 음압을 가장 많이 증폭시킨 만큼 피크 레벨(peak level)까지의 헤드룸(head room)을 확보하기 위한 것임을 예상할 수 있다.



Naver music – adept sound



Melon – smart EQ

그림 9. 청력 실험 결과로 설정된 3가지 이퀄라이저와 원음의 비교

Fig. 9. Comparison of the three equalizers set by the result of the hearing test with the original sound

멜론의 스마트EQ로 실험한 결과는 '모두 들림'과 '모두 안 들림'의 결과치가 구분하기 힘들 만큼 흡사했다. '4k 이상 안 들림'의 결과는 약 200Hz 이하 저주파수 음압이 '원음'보다 6dB 정도 증가했고 200Hz부터 3kHz까지 주파수 음압은 비교적 감소, 3kHz 이상 주파수 음압은 비교적 증가했다. 특징적인 것은 저주파수의 음압 변화에 있어 네이버뮤직의 어댑트 사운드와 상반되게 '원음'보다도 음압이 약 6dB가량 증가했다는 것이다.

이처럼 청력 실험 결과로 이퀄라이저를 설정하는 방법은 사람마다 다른 청력을 분석하여 개별적인 맞춤형 이퀄라이저 설정을 제공할 수 있다는 장점이 있지만 극단적으로 다른 답변을 통한 설정에도 유사한 결과가 도출되는 등 실효성에 대한 신뢰도가 떨어진다. 또한 청력 실험 당시 주위 환경의 소음도 등 변수에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다는 단점이 있다.

3) 연령별로 제공되는 이퀄라이저 효과 비교

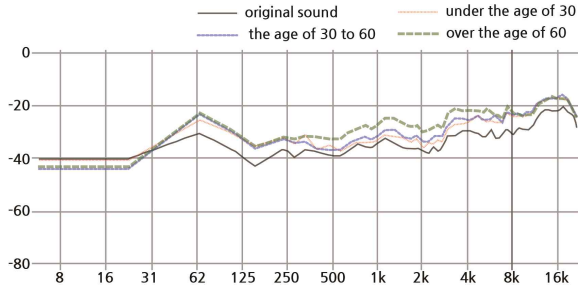


그림 10. 연령별로 설정된 3가지 이퀄라이저와 원음의 비교
Fig. 10. Comparison of the three equalizers set by age with the original sound

위의 그림 10은 앞선 실험 방법과 동일한 방식으로 네이버뮤직의 어댑트 사운드 기능 중 연령별로 제공되는 3가지 이퀄라이저를 통해 화이트 노이즈를 재생한 결과를 원음과 비교한 그래프이다. '30대 미만', '30대-60대', '60대 이상'에 해당하는 이퀄라이저 설정 모두 약 30Hz를 기준으로 하여 낮은 주파수의 음압은 '원음'에 비해 감소했으며 높은 주파수의 음압은 증가했다. 특히 '60대 이상' 이퀄라이저 설정에서는 그림 9 네이버뮤직 어댑트 사운드의 '모두 안 들림'의 실험값과 유사한 결과가 도출되었다.

청력 실험을 통해 설정되는 사용자 맞춤형 이퀄라이저와 연령별로 설정된 이퀄라이저를 분석한 결과 실제 고령층이 겪을 수 있는 그림 9의 '4k 이상 안 들림', 그림 10의 '60대 이상'에 해당하는 이퀄라이저의 그래프는 '원음'에 비해 고주파수 음압 보상이 일부분 이루어진 것으로 확인 되었다. 하지만 보상의 정도가 그림 7에서 확인 된 고령층의 청력 손실 정도를 보상할 만큼 충분하지 않았다. 게다가 고령층의 청력역치는 앞서 고찰한 바와 같이 주파수에 정비례해 증가하는데 반해 그림 9와 그림 10에서 확인한 음압 보상은 약 50Hz부터 12kHz까지 비교적 균등하게 이뤄지는 양상을 보였다. 따라서 고령층에게 양질의 디지털 미디어 콘텐츠를 제공하기 위해서는 이들의 가청주파수 특성을 반영하여 이보다 개선된 방법의 이퀄라이저 설정이 요구된다.

4-2 가청주파수를 고려한 이퀄라이저의 개선 방안

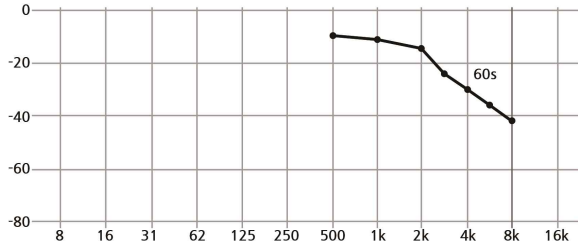


그림 11. 60대의 청력 손실 그래프
Fig. 11. A graph showing hearing loss in the age of 60s

고령층의 가청주파수를 고려한 이퀄라이저를 위해서는 신체 노화에 따라 나타나는 청력역치의 변동을 반영하여 손실된 주파수 음압을 온전히 보상하는 방법이어야 한다.

위의 그림 11은 그림 7의 청력역치 그래프 중 60대에 해당하는 값을 정리한 그래프이다. 노인으로 편입되는 65세가 포함된 집단으로서 컴퓨터, 스마트폰 등 전자제품에 대한 이용도가 높기 때문에 개선된 이퀄라이저의 사용가능성이 고령층 중 가장 높을 것으로 예상된다.

아래 그림 12는 위의 그림 11의 음압 손실 값을 파라메트릭 이퀄라이저(parametric equalizer)인 웨이브즈 큐10 스테레오(Waves Q10 Stereo)로 상하 대칭되게 설정하여 손실 음압을 보상한 설정이다. 동영상 재생 프로그램과 음악 애플리케이션에서 제공하는 이퀄라이저는 그래픽 이퀄라이저로서 특정 주파수를 증폭시키거나 감소시키는 단순한 기능을 한다. 단순한 기능만큼 사용이 간편하고 직관적이라는 장점이 있지만 정밀한 조정이 제한적이다. 반면 파라메트릭 이퀄라이저는 대역폭까지 조정이 가능하기 때문에 고령층의 청력 손실 음압의 보상을 효과적으로 할 수 있다.

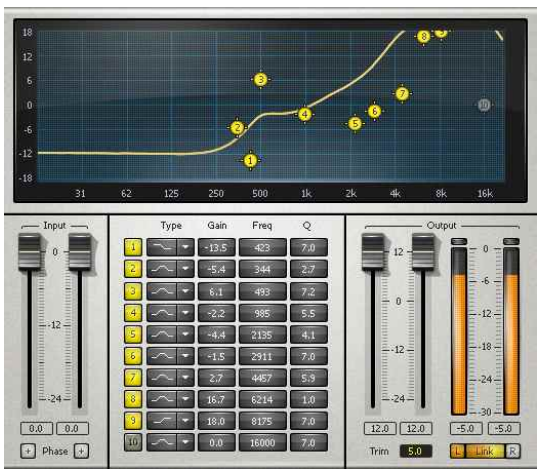


그림 12. 60대 이퀄라이저 설정
Fig. 12. Equalizer setting for the age of 60s

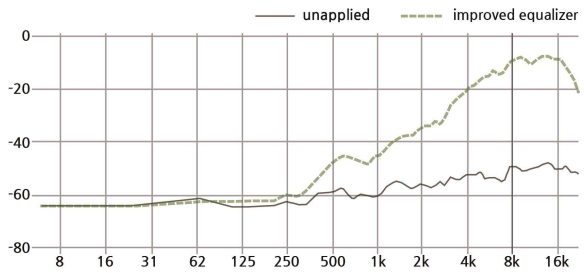


그림 13. 60대 이퀄라이저 설정과 원음의 비교 그래프
Fig. 13. A graph comparing the equalizer settings for the age of 60s to the original sound

위의 그림 13은 앞의 실험들과 같은 방법으로 화이트 노이즈 '원음'과 그림 12의 설정을 거쳐 고주파수 음압이 증폭된 '개선 이퀄라이저'의 검출 값이다. 스마트폰마다 앰프의 특성이 다르기 때문에 실제 개선 정도는 제품별로 다소 상이할 수 있으나 기존의 상용화된 기능에 비해 주파수별로 손실된 음압의 보상이 적극적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 이와 같은 방식으로 60대 이외에도 전 연령대의 프리셋(preset)을 제공하고 난청의 정도를 고려하여 이퀄라이저 적용 비율을 조정할 수 있게 하면 사용자의 기호에 부합한 이퀄라이저 설정을 보다 수월하게 적용할 수 있다.

아래 그림 14는 그림 12의 설정을 사용한 60대 이퀄라이저의 적용 비율을 각각 '미적용', '30%적용', '60%적용', '100%적용' 한 그래프이다. 그림 9와 그림 10에서 확인한 균등한 음압 보상과 달리 주파수 상승에 비례해 음압의 보상 값도 증가하기 때문에 기존의 이퀄라이저 보다 효과적인 소리의 개선이 가능하다.

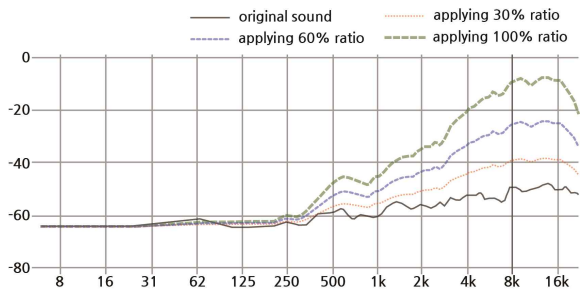


그림 14. 60대 이퀄라이저의 적용 비율 비교 그래프
Fig. 14. Comparison graph of Equalizers for the age of 60s in different ratios

4-3 가청주파수를 고려한 이퀄라이저의 활용

가청주파수를 고려한 이퀄라이저 기능은 스마트폰, TV, 컴퓨터, 라디오, 스피커, 애플리케이션, 동영상 재생 프로그램, 동영상 사이트 등 디지털 미디어 콘텐츠를 제공하는 모든 매체 및 기기에서 사용 가능하다. 기존의 장르별 이퀄라이저나 고음 증폭, 저음 증폭 등의 이퀄라이저로는 온전히 보상할 수 없는 고령층의 고주파수 음압 손실을 효과적으로 보상 가능하며 별도의 장치를 추가로 설치할 필요 없이 설정 값을 업데이트하는 방식으로 비용 발생이 없거나 경미하기 때문에 경제적이다. 또한 고령층뿐만 아니라 과도한 음악소리로 인해 소음성 난청을 겪는 청소년, 청년 등 청력 손실을 가진 누구에게나 적용 가능하다. 이를 통해 디지털 미디어 콘텐츠 감상 환경을 개선하여 콘텐츠 공급자와 소비자에게 유익한 기능으로 사용될 수 있다.

Ⅴ. 결 론

본 연구는 가청주파수 축소로 인해 고주파수의 청취력 저하를 겪는 고령층에게 손실된 주파수의 음압을 보상하는 이퀄라이저를 연구하였다. 2016년 한국개발연구원(KDI; Korea development institute)의 보고서에서 우리나라 고령화 속도가 OECD(organization for economic cooperation and development) 국가 평균의 4배에 달하는 것으로 밝혔고 2018년 현재 우리나라 고령화 속도는 세계 1위로 알려져 있다. 전체 인구에서 고령층의 비율이 증가하는 만큼 이들을 위한 디지털 미디어 매체와 콘텐츠의 발달이 요구되며 현재 다양한 방식의 연구가 진행 중이다. 앞으로 고령층의 디지털 미디어 매체 이용 방식이 다각화되고 이들이 경제활동인구에 비해 여가 시간이 많기 때문에 디지털 미디어 콘텐츠의 소비력과 소비시간이 증가할 것으로 예상된다. 하지만 고령층의 많은 수가 노인성 난청으로 인하여 건청인 집단에 비해 디지털 미디어 콘텐츠 감상의 질이 떨어진다. 따라서 디지털 미디어 콘텐츠 감상 환경 개선은 이들의 삶의 질 향상에 긍정적인 기여를 하게 될 것이다.

본 연구는 디지털 미디어 콘텐츠에서 제공하는 소리를 고령층의 가청주파수 특성에 맞게 효과적으로 전달하기 위해 먼저 가청주파수의 개념과 음성 및 음악에서 사용하는 주파수를 파악하였다. 그 결과 인간 음성의 주파수는 80Hz부터 8kHz까지라는 것을 알 수 있었으며 음악은 인간의 가청주파수 범위인 20Hz부터 20kHz까지 폭 넓은 음역을 사용하는 것을 실험을 통해 확인하였다. 특히 악기의 기음은 피아노의 최고음인 C8에 해당하는 4,186Hz를 넘는 경우가 드물었지만 자연음이 가진 배음으로 인해 음악에는 4,186Hz 이상의 소리도 흔하게 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 소리의 인지과정과 고령층의 가청주파수 특성을 고찰하여 신체 노화에 따라 고주파수 청력이 감소하는 이유를 알아보았다. 그것은 고주파수 소리를 감지하는 유모세포가 달팽이관의 기저부에 위치해 외부 세계와 가장 가까우며 음향적 입력을 가장 크게 받아 제일 먼저 손상되기 때문이었다. 인간의 청각 유모세포는 손상되면 회복되거나 재생되지 않기 때문에 청각신경 손상은 영구적으로 회복될 수 없다. 따라서 고령층의 고주파수 청력 감소를 보상하기 위해 이들의 가청주파수 특성을 고려한 이퀄라이저의 필요성을 확인했으며 현재 서비스 중인 삼성 스마트폰과 네이버뮤직에 탑재된 어댑트 사운드 기능과 멜론에 탑재된 스마트EQ의 소리 개선

효과를 실험을 통해 분석해보았다. 그 결과 두 기능 모두 고주파수의 음압이 일정부분 보상된다는 것을 확인할 수 있었으나 고령층의 청력 손실 폭을 보상하기에는 충분하지 못했다. 게다가 고령층의 청력 손실은 주파수 상승에 비례함에 반해 두 기능은 균등한 폭의 음압을 보상하는 특성을 보여 개선이 필요했다. 이 결과들을 종합하여 고령층의 고주파수 청력 손실 그래프를 분석해 고령층 집단 중 60대의 가청주파수 특성을 도출했고 파라메트릭 이퀄라이저를 사용해 주파수별 음압 손실 폭 만큼을 온전하게 보상하는 방안을 탐구했다. 또한 개선된 이퀄라이저의 적용 비율을 조정할 수 있는 방법으로 청각손상의 정도에 따라 세부 조절이 가능한 방법을 제시했으며 개선된 이퀄라이저의 다양한 활용 가능성과 실효성, 효율성을 전망했다.

본 연구는 제시한 개선 방안의 효과를 확인하고 입증하기 위해 노인성 난청을 겪는 다양한 표본 집단을 대상으로 한 검사가 필요하지만 제한된 연구 환경으로 인해 청취 실험을 하지 못했다는 한계점이 있다. 이것은 고령층에게 제공되는 디지털 미디어 콘텐츠의 효과적인 소리 전달을 위한 후속 연구를 통해 보완하고자 한다. 특히 청력 손실 범위에 대한 추가 자료를 생성 및 수집하고 성별에 따라 상이하게 나타나는 청력역치 특성을 반영한 연구를 진행해 고령층의 쾌적한 디지털 미디어 콘텐츠 감상 활동에 기여하고자 한다.

참고문헌

[1] The National Statistical Office, (2017). Future population projection nationwide [Internet]. Available: http://kostat.go.kr

[2] C. S. Lim, Challenges in Aging Society, *Nanam publishing house*, p. 156, 2003.

[3] E. H. Lee, “The Music Culture of Aging Society and the Construction of its Service System", *Music and culture*, Vol. 18, p. 107, March 2008.

[4][5] K. Lee, Y. J. Jung, “Design of High Frequency Boosting Circuits Compensating for Hearing Loss”, *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 54, No.3, pp. 139-139, March 2017.

[6] H. M. Ju, H. J. Kim, D. H. Lim, “The Effects of Frequency Lowering Function Hearing Aids on Korean Word Recognition Scores in the High Frequency Hearing Impaired”, *Audiology and Speech Research*, Vol. 8, No. 2, p. 251, December 2012.

[7] S. D. Heo, “Effectiveness of the Hearing Handicap Inventory for Elderly (HHIE) in Measuring the Current State of Presbycusis”, *Communication Sciences & Disorders*, Vol. 22, No. 1, p. 170, February 2017.

[8] D. M. Huber, R. E. Runstein, Modern Recording Techniques. 6th ed. *Focal Press*, p. 42, 2005.

[9] S. R. Alten, Audio in Media, 7th ed. *Wadsworth*, 2004.

[10] Transliteration and frequency by musical instrument [Internet]. Available:http://www.violectra.co.uk/images/Instrument%20Range%20Chart.jpg

[11] The structure of the ear [Internet]. Available: alja.net/web/board.php?board=kkkdata&page=10&body_only=y&button_view=n&command=body&no=852

[12] J. H. Lee, J. S. Kim, A Study on the Nature of Sound and the Hearing Mechanism, *Speech sciences*, Vol. 5, No. 1, pp. 170-177, Aprile 1999.

[13] E. K. Kim(Aprile 2017). How far have it reached the hearing regeneration?, Joogang Sunday, [Internet]. Available: http://news.joins.com/article/21527992

[14] S. S. Horowitz, The Universal Sense, *Bloomsbury Publishing PLC*, pp. 109-110, 2012.

[15] The Secrets of the Life, episode. 548 (June 2015), A secret of the ear, *KBS*, [Internet]. Available: http://www.kbs.co.kr/1tv/sisa/health/view/vod/index.html?kwd=%EC%B2%AD%EB%A0%A5&pageNum=1&pageSet=1&articleIndex=0&vosample=&searchStatus=1

[16] T. L. Wiley, R. Chappell, L. Carmichael, D. M. Nondahl and K. J. Cruickshanks, “Changes in Hearing Thresholds over 10 Years in Older Adults”, *Journal of the American Academy of Audiology*, Vol. 9, No 4, p.288, April 2008.

[17] White Noise. White Noise Machin. *Music and New*. 2015.

이철희(Chulhee Lee)

2009년 : 경희대학교 Post Modern음악전공 (음악학사)
2013년 : 경희대학교 아트·퓨전디자인 대학원 (음악학석사)
2017년 : 경희대학교 대학원 응용예술학과 (박사과정)

2007년～현 재: 마인드오프너 음악감독
2008년～2015년: 임파워뮤직프로덕션 작·편곡가
2009년～현 재: 포스트모던실용음악학원 원장
2017년～현 재: 백석예술대학교 실용음악과 겸임교수
2018년～현 재: 경희대학교 포스트모던음악학과 시간강사
※관심분야 : 컴퓨터음악(MIDI), 작곡(Composition), 사운드디자인(Sound design) 등

홍성규(Sungkyoo Hong)

1993년 : 홍익대학교 건축학과 (공학사)
2002년 : 상명대학교 대학원 (음악학석사)
2008년 : 상명대학교 대학원 (뉴미디어음악학 박사수료)
2015년 : 고려대학교 대학원 (문학박사)

2005년～현 재: 경희대학교 포스트모던음악학과 부교수
※관심분야 : 작곡(Composition), 컴퓨터음악(MIDI), 대중문화(Popular Culture) 등