



특집 05

## 최신 디지털 보청기 기술 동향



박영철·백용현 (연세대학교)

- 
- 목 차 »
1. 서 론
  2. 디지털 보청기 기술 개요
  3. 최신 디지털 보청기 기술 동향
  4. 최신 디지털 보청기 융합 기술
  5. 결 론
- 

### 1. 서 론

21세기에 접어들면서 의료 기술 발달과 삶의 질 향상과 더불어 인구의 고령화가 급속하게 진행되고 있다. 이러한 고령화 사회로 접어들면서 사람들의 관심은 고령인구에 대한 삶의 질 향상에 관심이 집중되고 있으며 보청기는 오랫동안 고령으로 인한 청각 감퇴에 고통 받는 난청 환자들의 삶의 질 향상에 기여해 왔다. 최근 들어서는 스마트폰과 같은 휴대용 전자 기기들이 널리 보급되어 고음에 오랜 시간 노출되는 인구가 많아졌다. 따라서 비단 노년층 뿐 아니라 비교적 젊은 나이의 난청 환자수가 증가하여 점점 보청기를 필요로 하는 인구는 더욱 늘어나는 추세이다.

그러나 한국에서의 보청기 보급률은 저조한 실정이다. 2013년 기준으로 한국에서 청력 문제로 인해 고생하는 사람은 약 200만명에 달하는 것으로 알려져 있으나 이들 중 실제 보청기를 사용하는 환자수는 약 7%에 불과하다. 그 첫 번째 이유로는 경제

적인 문제를 들 수가 있다. 보청기가 아날로그 보청기에서 디지털 보청기 시대로 전환 하면서 그 성능과 기능이 크게 발전한 반면에 사용자 입장에서 만족할 만한 보청기들은 여전히 상당한 고가로 보급되고 있다. 보청기가 고가로 보급되는 또 다른 이유는 국내 독자적 보청기 기술의 부재로 인해 보청기 시장의 대부분을 해외 기술에 의존하고 있기 때문이다. 난청 환자들이 보청기 사용을 꺼려하는 두 번째 이유로는 보청기에 대한 인식 때문이다. 난청 환자가 보청기를 착용할 경우 이는 타인이 볼 때 장애를 가진 것처럼 인식되기 때문에 다소 잘 들리지 않는 불편을 감수하더라도 보청기 사용을 꺼려하는 경우가 많다. 예를 들어, 안경의 경우 나쁜 시력을 보정하기 위해 착용하지만 장애인이라는 인식을 가지는 경우는 거의 없고 안경의 역할이 확대되어 패션의 아이콘으로 자리 잡고 있지만 보청기의 경우 아직 안경과 같은 인식이 사람들 사이에 널리 자리 잡고 있지 못한 실정이다. 이러한 실정을 극복하기 위한 방안으로 보청기도 고막형, 귓속형 등 사람의

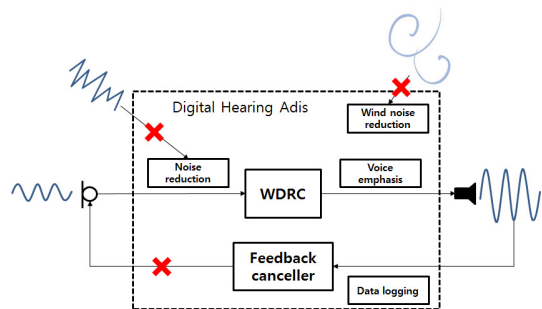
눈에 잘 띄지 않게 소형화 되었으나 최근에는 "HearWear"라는 모토로 귀걸이형 등과 같이 패션을 결합한 보청기의 개발도 활발히 진행되고 있다.

기술적으로도 보청기는 많은 발전을 거듭해 왔으며 양이보청기가 상용화 되면서 보청기의 대한 사용자들의 만족도가 높아지고 있고 양이 보청기를 기반으로 한 기술과 다양한 응용 기술들이 융합되고 있다. 본 고에서는 디지털 보청기의 최신 기술 동향에 대해 살펴보고 발전 추세에 대해 기고하고자 한다. 본 고의 구성은 다음과 같다. 2장에서 보청기의 기본적인 기술 구조에 대해 살펴보고 3장에서 각각의 기술의 최신 동향에 대해 서술한다. 4장에서는 디지털 보청기 외에 스마트 폰과 같은 다른 기기와의 융합 기술에 대해 살펴보고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 디지털 보청기 기술 개요

디지털 보청기는 다양한 신호처리 응용분야 기술의 집합체이다<sup>[1]</sup>. 그러나 휴대용 의료기기인 보청기의 특성으로 인해 배터리 소모를 최소화하기 위하여 저전력으로 다양한 기술을 집합시키기 위한 부단한 노력이 이루어지고 있다. (그림 1)은 디지털 보청기의 기본적인 구조를 나타낸 그림이며 본 절에서는 크게 세 가지 분류로 구분할 수 있는 디지털 보청기에 집합되는 다양한 기술을 요약하여 살펴보고자 한다.

그 첫 번째 기능은 디지털 보청기의 주목적으로써 난청환자들의 청력 손실(Hearing Loss)을 보상하여 듣기 편안한 소리로 들려주는 것이다. 즉, 난청 환자들의 청력 역치(Hearing Threshold)를 넘어서는 크기로 소리를 증폭 시키며 반대로 너무 큰 소리에 대해서는 불편함을 느끼지 않도록 적절한 음역대로 압축하는 것을 의미하며 이를 위하여 광역동범위압축(Wide Dynamic Range



(그림 1) 디지털 보청기의 기본 구조

Compression)을 포함한 단채널 또는 다채널 압축 기술이 있다. 이러한 압축 기술을 사용한 소리의 증폭은 필연적으로 음향되울림(Feedback)을 발생 시키며 음향되울림 제거기(Feedback Canceller)가 필수적으로 동반된다. 음향되울림 현상은 마이크와 스피커의 위치가 상대적으로 가까워 스피커로 출력되는 소리가 다시 마이크로 되돌아서 들어와 소리가 비정상적으로 증폭 되는 현상을 말하는 것으로 난청환자의 청력 손실이 커서 증폭 이득(Gain)이 큰 경우나 폐쇄 된 보청환경에서 자주 발생한다. 다채널의 광역동범위압축이 최근 많이 사용되고 있는데 다채널의 경우 특정 주파수마다 독립적인 이득을 적용 하여 난청환자의 청력손실 커브(Hearing Loss Curve)를 세밀하게 보정 할 수 있고 자연스러운 음질을 출력할 수 있으며 또한 음향되울림 현상을 빠르게 탐지하여 줄이기 위해서도 다채널의 보청기가 효율적인 장점이 있다. 그러나 채널 수가 많아지면 많아질수록 연산량이 증가하게 되고 보청기 단가도 비싸진다.

디지털 보청기에 사용되는 두 번째 분류의 기술로는 소리의 품질을 높이고 난청환자의 어음 인지력을 높이기 위한 음질 개선 기능을 들 수가 있다. 난청 환자들은 일반적으로 잡음이 있는 환경에서 어음 인지력이 떨어지기 때문에 보청기는 이러한 잡음을 제거하여 소리의 품질을 높이고 어음 인지력 향상을 돕기 위한 음질 개선 기술을

포함하고 있다. 대부분의 음질 개선 알고리즘이 소리의 품질은 높이나 음질 개선 과정에서 발생하는 음성의 손상으로 인해 어음 인지력 개선 측면에서는 높은 성능을 기대하기 어렵기 때문에 이에 대한 기술 연구가 진행되고 있고 또한 잡음의 특성이나 난청환자가 보청기를 사용하는 주변 환경의 특성을 반영한 기술들이 개발 되고 있다.

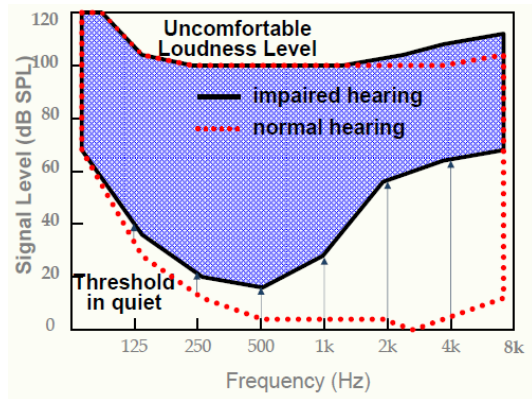
마지막으로 보청기에는 난청 환자의 재활을 돕기 위한 데이터 로깅(Data logging) 기능이 있다. 데이터 로깅 기술은 난청환자가 보청기를 사용하는 시간, 사용 환경 등 보청기의 실제 정보를 기록하여 난청 환자의 보청기 선택에 도움을 준다든지 청능 재활 프로그램 선택 등의 지표로 사용된다.

### 3. 최신 디지털 보청기 기술 동향

#### 3.1 최신 광역동범위압축 기술

난청 환자들에게 난청이 발생한다는 것은 정상인보다 청력 역동 범위가 좁아진다는 것을 의미한다. (그림 2)는 정상인과 난청환자의 가청범위를 나타낸 것으로 난청환자의 가청범위가 정상인보다 좁아진 것을 볼 수 있다. 일반적으로 저주파수 대역 보다 고주파수 대역의 가청 범위가 크게 좁아지며 이러한 고주파 난청에 고통받는 환자가 상당수 차지하고 있다. 청력 역동 범위가 좁아진 난청환자들은 누가 현상(Recruitment)을 겪게 되는데 이는 작은 크기의 소리는 듣지 못하고 큰 크기의 소리는 정상 청각과 비슷하게 듣는 현상을 말한다. 따라서 상대적으로 작은 크기의 소리는 큰 증폭 이득이 필요하고 큰 크기의 소리에 대해서는 작은 증폭 이득이 필요하게 된다.

이러한 특성을 반영하여 난청환자가 편안한 소리의 크기로 청음하기 위해서 보청기는 유입되는

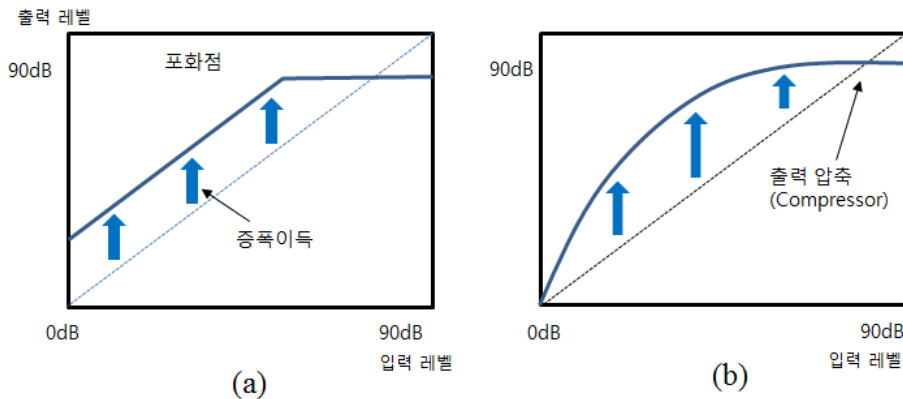


(그림 2) 정상인과 난청환자의 역동 범위와 보청기의 청력 역치 보상

소리의 크기에 따라 적용 되는 증폭 이득을 달리 해주어야 한다. (그림 3)은 보청기의 소리 증폭에 사용되는 선형 증폭 방식과 비선형 증폭 방식을 비교한 그림이다. 아날로그 보청기의 경우 단순히 확장기와 같이 소리를 증폭 시키는 선형적 증폭 방식이 이루어지기 때문에 소리의 크기에 따른 서로 다른 이득을 적용하기 어렵다. 반면에 디지털 보청기에서 광역동범위압축방식을 이용함으로써 인하여 비선형적 증폭이 가능하게 되고 소리의 크기에 따른 이득을 다르게 줄 수가 있어 소리의 왜곡을 최소화 하면서 보다 자연스러운 소리로 편안하게 난청환자에게 들려 줄 수 있다.

난청 환자들이 청력 손실 정도는 주파수 별로 사람마다 다르게 나타나는데 이를 위해서 광역동 범위압축 방식은 특정 주파수 대역별로 나누어서 난청환자에 청력 손실 커브에 맞추어 적용되게 된다. 이렇게 주파수 대역 별로 나누어진 것을 채널(Channel)이라고 부른다. 현재 시중에서 상용화 되고 있는 보청기는 보편적으로 최대 20개의 채널까지 제공되고 있고 이러한 채널은 사람의 달팽이관의 청각 특성에 따라 일반적으로 임계 대역(Critical Band)로 나누고 있다.

채널을 분리하기 위해서 시간 영역의 신호를



(그림 3) 보청기 증폭 방식 비교 (a) 선형 증폭 방식 (b) 비선형 증폭 방식 (광역동압축 방식)

주파수 영역에서 분석하기 위한 필터 뱅크(filter bank) 기술을 사용하며 채널 간 서로 다른 이득이 취해짐으로 인한 상호 간섭(aliasing)을 최소화하고 보청기에서 상대적으로 많은 연산량을 차지하고 있는 만큼 연산량을 줄이기 위한 기술이 고려되고 있다<sup>2)</sup>. 최근에는 보다 세밀한 청각 손실을 보상하기 위해 64채널까지 연구가 진행되고 있으며 사람의 목소리에만 집중되어 왔던 지금까지와는 다르게 음악등 사람의 목소리보다 넓은 주파수대역을 가지는 소리를 포함하는 콘텐츠도 정상인과 같이 들을 수 있도록 그 기술이 발전되고 있다.

### 3.2 최신 음향되울림 제거 기술

음향되울림은 보청기의 패쇄 효과를 줄이기 위한 환풍구(Bent)나 완전히 밀착되지 못한 보청기와 귀 사이의 틈새로 스피커의 출력 소리가 다시 마이크로 되돌아 들어가 출력이 비정상적으로 커지는 현상을 말한다. 보청기 착용 시 답답함을 줄이기 위해 개방형 보청기도 개발되고 있는데 이는 음향되울림 발생 가능성을 증가시키는 것으로 이러한 형태의 보청기는 음향되울림 제거기가 필수적이다. 보청기의 이득과 주변 환경이 음향되울림 발생에

영향을 주며 보통 2~5Khz사이의 주파수 대역에서 잘 발생한다. 음향되울림은 상대적으로 고막 가까이 위치한 보청기에서 순수음(Pure tom)으로 강하게 발생하기 때문에 이를 제거하지 않을 경우 보청기를 사용하는 난청환자들이 굉장한 불편을 겪게 된다. 음향되울림 제거기는 최대한 신속하게 음향되울림 발생을 감지하고 제거해야 한다. 이전에는 협대역 필터(notch filter)를 이용한 제거 기술이 사용되었는데 이는 빠르게 변하는 음향되울림 경로를 잘 추적하기 어렵고 3개 이상의 음향되울림 주파수를 찾아서 제거하지 못하는 어려움이 있었다. 이를 극복하기 위하여 적응 필터(adaptive filter)를 이용한 알고리즘들이 개발되고 있다. 적응 필터의 경우 여러 주파수 대역의 음향되울림 경로를 빠르게 추정할 수 있고 큰 음질의 왜곡 없이 음향되울림 현상을 제거할 수 있으나 상대적으로 높은 연산량이 문제 되어 왔다. 하드웨어의 발달과 더불어 실시간 적응 필터 기술이 적용되고 있으나 복잡한 알고리즘 보다 비교적 단순한 최소평균자승(least mean square - LMS) 계열의 알고리즘이 구현단계에서는 널리 사용되고 있다<sup>3)</sup>.

### 3.3 최신 잡음 제거 기술

디지털 보청기에 구현되는 잡음 제거 기술은 난청 환자가 잡음이 존재하는 환경에서도 목표가 되는 대상의 소리를 잘 들을 수 있도록 품질을 높이고 어음 인지력을 높이기 위해 사용된다. 잡음 제거 기술은 크게 잡음 자체를 제거하는 기술, 잡음과 음성의 주파수 대역을 나누어 음성대역만을 강조하는 기술, 바람에 의해 발생하는 귀에서의 난기류(turbulence)로 인한 잡음을 제거하는 기술, 3가지로 나눌 수 있다. (그림 4)는 보청기에서 잡음 제거와 음성 강조를 통해 난청환자들에게 보다 나은 소리 품질을 들려주기 위한 기술의 예들이다. 난청환자가 접하게 되는 잡음의 종류는 매우 다양하며 에어컨이나 환풍기의 소음과 같은 정적(stationary)인 신호 특성을 가지는 잡음, 카페테리아(cafeteria), 도로 잡음과 같은 동적(non-stationary)인 신호 특성을 가지는 확산 잡음(diffuse noise) 등이 있다.

잡음 제거 또한 저전력으로 효과적으로 잡음을 제거하기 위한 기술들이 개발 되어 왔으며 간단하게 음성 검출기(voice activity detector)를 이용하여 음성이 없는 구간에서 잡음의 에너지를 추정하고 이를 제거하는 방식을 취해왔다. 최근에는 잡음 제거 기술이 소리의 품질을 높이는 것에는 효과적이거나 잡음 제거 과정에서의 음성의 손상과 낮은 신호 대비 잡음비(signal to noise ratio - SNR) 환경에서의

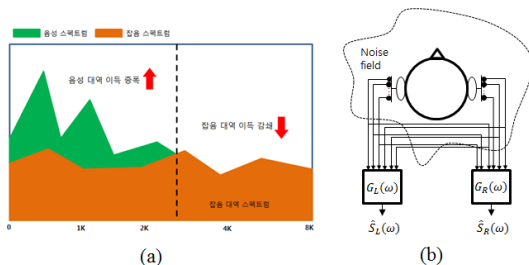
부정확한 SNR 추정으로 인하여 어음 인지력 향상이 미미하여 이를 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 하드웨어 측면에서도 음성의 손상을 최소화하기 위하여 다중 마이크로폰(microphone array) 및 지향성 마이크로폰(directional microphone)이 도입되고 있다. 다중 마이크로 폰의 경우 방향성이 있는 잡음 제거를 위해 필요하지만 빔형성(beamforming) 기술과 다채널 위너 필터(multi-channel wiener filter)를 이용한 잡음 제거를 통해 다중 마이크로 음성의 손상을 최소화 하면서 효과적인 성능을 보장하는 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>.

이러한 음질 개선 기술을 보조하기 위해서 또한 난청환자가 청음하는 환경이 어떠한지를 판별해주는 환경 분류(environmental classification) 기술이 개발되고 있다. 즉, 난청 환자가 상대적으로 조용한 환경에서 청음 할 때 잡음 제거 기술을 약하게 적용하고 시끄러운 환경에 청음 할 때 강하게 적용하여 불필요한 연산을 줄이고 상대적으로 과도한 잡음 제거를 피하여 음질 손상을 최소화 할 수 있도록 한다.

### 3.4 양이 보청기

보청기가 단일 보청기에서 양이보청기로 그 관심이 옮겨지면서 양이 보청기를 기반으로 한 보청 기술과 다양한 응용 기술들이 개발 되고 있다. 양이 보청기를 사용하면 소리의 방향 정보를 난청 환자에게 제공해 줄 수 있고 가청범위도 단일 보청기를 사용할 때보다 확장된다. 또한 양쪽 귀로 듣게 되기 때문에 증폭 이득을 줄일 수 있어 음향되올림 현상도 감소하며 한쪽 귀로 들을 때의 집중도가 분산되어 난청환자의 피로감도 줄일 수 있다.

양이 보청기가 난청환자에게 소리의 방향 정보를 전달하기 위해서는 소리의 방향 정보를 손상시키지 않고 보존할 필요가 있다. 이러한 소리의 방향 정보로는 두 귀에 도달하는 소리의 세기 차이



(그림 4) 최신 잡음 제거 기술들 (a) 어음 강조 기술 (b) 다채널 위너 필터 기술

(inter-aural level difference - ILD)와 시간 차이(inter-aural time difference - ITD)가 있다<sup>[5]</sup>. 방향 정보를 인지하는데 가장 중요한 요소인 ILD와 ITD를 보존하기 위하여 두 보청기의 적용되는 증폭 이득 및 잡음 제거 시에 적용되는 감쇄 이득이 이론적으로 같아져야 하지만 두 귀에서의 청력 손실 커브 및 SNR이 같지 않기 때문에 동일한 이득을 적용하기 어렵다. 따라서 이러한 상황을 고려하여 양이보청기는 광역동범위압축 단계에서 전체적인 출력값과 이득을 조절해 주며 잡음 제거 단계에서도 소리의 방향을 보존하면서 잡음을 효율적으로 제거하는 기술의 연구가 진행되고 있다. 또한 소리의 앞뒤를 구분할 수 없는 전후방 혼돈(front-back confusion) 문제가 발생할 수 있는데 뒤쪽에서 들리는 소리를 상대적으로 3~4dB 정도 감쇄시켜 귓바퀴 효과를 연출하여 앞쪽 소리에 집중할 수 있도록 하는 기술도 선보이고 있다.

양이 보청기를 사용하면 두 개의 프로세서를 사용하기 때문에 연산을 분산해서 처리할 수가 있어 연산량의 부하를 줄일 수 있지만 반대로 두 보청기 사이의 상호 통신이 필요하게 되어 최소한의 데이터 비트율(data bit-rate)로 신호 및 데이터 교환시의 시간 지연, 음의 왜곡, 소리의 울림등과 같은 문제를 최소화하기 위한 노력들이 이루어지고 있다.

## 4. 최신 디지털 보청기 융합 기술

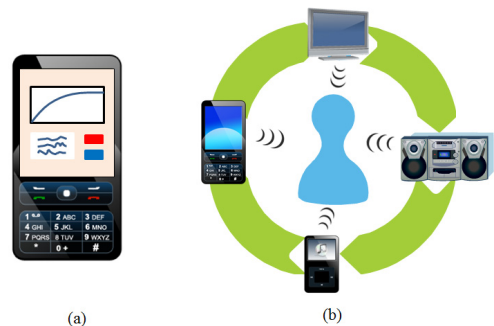
### 4.1 스마트폰 앱을 이용한 피팅(fitting) 소프트웨어

난청 환자가 사용하는 보청기의 각 채널에 적용되는 이득은 난청환자의 주파수에 따른 청력 손실에 기반을 둔다. 이러한 청력 손실 정도를 측정하여 보청기에 적용될 이득을 설정해 주는 것이 피팅 소프트웨어이다. 청력 손실 측정은 일반적으로 자격

을 가진 청각사(청능사)들에 의해 이루어지며 난청 환자들의 재활과 치료를 돕는다. 그러나 환자의 청각 손실 정도가 달라지거나 이득을 바꾸어줄 필요가 있는 경우 매번 병원을 방문해야 하는 번거로움이 따른다. 최근에 스마트폰용 앱을 이용한 피팅 소프트웨어 개발이 이루어지고 있고 난청환자가 직접 앱을 통하여 자신의 청력 손실 정도를 측정하고 보청기에 세팅 할 수 있도록 하는 노력이 이루어지고 있다. 즉, 스마트폰으로 자신의 청력 손실 정도를 환자 자신이 직접 측정하고 이를 기반으로 피팅 소프트웨어로 착용하고 있는 보청기의 이득을 바꿀 수 있게 하는 것이다.

### 4.2 디지털 보청기와 가전 제품의 융합 기술

보청기 사용 환자들이 가정에서 TV나 전화를 직접 사용하는 것이 쉽지가 않다. 전화를 사용하는 경우 수화기를 귀 가까이 대기 때문에 음향되울림 현상이 강하게 발생하기 쉽고 수화기를 통해 전달되는 소리를 정확하게 청음하기 쉽지 않은 문제가 있다. 따라서 최근의 보청기는 블루투스 텍(Tek)과 같은 리모컨을 통하여 TV, 스마트폰과 같은 오디오 장치와 무선으로 연결하여 소리를 보청기 안에서



(그림 5) 보청기 융합 기술의 예 (a) 스마트폰 앱을 이용한 피팅 소프트웨어 (b) 블루투스를 이용한 보청기 통신 연결



직접 들을 수 있도록 하고 있다. 비단 TV, 스마트폰 뿐 아니라 MP3 플레이어와 같은 거의 모든 오디오 장치와 무선으로 연결하여 양이 보청기의 경우 마치 스테레오 헤드셋을 사용하는 것과 같은 역할을 보청기가 수행한다<sup>[6]</sup>.

## 5. 결론

본 고에서는 디지털 보청기의 최신 기술 동향에 대해 살펴보았다. 디지털 보청기는 신호 처리 기술의 집합체라고 볼 수 있을 정도로 그 발전 가능성이 무궁무진하며 최근에는 단순히 청음을 위한 기능을 벗어나 난청 환자의 삶의 질적 수준을 정상인에 가깝도록 하는 융합 기술의 발달로 기술의 연구 범위 또한 확대되고 있다. 현재는 국내 독자적 기술이 부족하고 국내 보청기 보급률이 저조한 상태이지만 보청기에 대한 인식의 전환을 위한 노력과 기술 개발의 노력이 계속 되고 있는 지금 국내 보청기 시장도 매력적인 시장이 될 것으로 전망된다. 안경을 착용한 사람이 그렇지 않은 사람보다 생활에 큰 불편을 느끼지 않는 만큼 보청기 기술의 발달은 보청기를 착용한 사람과 그렇지 않은 사람과의 삶의 질 수준 차를 줄일 것이며 더 나아가 미래에는 음성 통역과 같은 보청기 착용자만이 누릴 수 있는 더 많은 응용 기술들이 융합될 것으로 기대된다<sup>[7]</sup>.

### 참고 문헌

- [1] Puder, Henning. "Hearing aids: an overview of the state-of-the-art, challenges, and future trends of an interesting audio signal processing application." Image and Signal Processing and Analysis (ISPA), 2009.
- [2] Ku, Y., Sohn, J., Han, J., Baek, Y., & Kim, D. "A high performance hearing aid system

with fully programmable ultra low power DSP". In Consumer Electronics (ICCE), 2013.

- [3] Akhtar, Muhammad Tahir, and Akinori Nishihara. "Acoustic feedback neutralization in digital hearing aids—A two adaptive filters-based solution." Circuits and Systems (ISCAS), 2013.
- [4] Van den Bogaert, Tim, et al. "Speech enhancement with multichannel Wiener filter techniques in multimicrophone binaural hearing aids." The Journal of the Acoustical Society of America 125,1 2009.
- [5] Wightman, Frederic L., and Doris J. Kistler. "Factors affecting the relative salience of sound localization cues." Binaural and spatial hearing in real and virtual environments 1,1997.
- [6] Siemens, <http://hearing.siemens.com>
- [7] 강순석, "10년 후의 보청기 융합 기술 예측", 제 어로봇시스템 학회, 2011

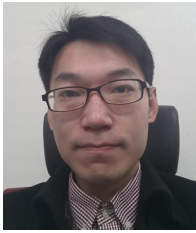
## 저자 약 력



**박 영 철**

이메일 : young00@yonsei.ac.kr

- 1986년 연세대학교 전기전자공학과(학사)
- 1988년 연세대학교 전기전자공학과(석사)
- 1993년 연세대학교 전기전자공학과(박사)
- 2002년~현재 연세대학교 컴퓨터 정보통신공학부 교수



**백 용 현**

.....  
이메일 : hyen0330@yonsei.ac.kr

- 2009년 연세대학교 정보기술학부(학사)
- 2002년~현재 연세대학교 전산학과 석박사 통합과정