

주파수 영역별 Cochlea Dead Region과 증폭 이득에 따른 어음인지능력 평가 연구

A Study on Speech Recognition Estimation of Cochlea Dead Region and Amplification Gains According to Frequency Bands

박규석*, 방동혁, 이상민

G. S. Park, D. H. Bang, S. M. Lee

요 약

감각신경성 난청의 원인 중 하나는 내이에 존재하는 와우(cochlea)의 기능적 이상 때문이다. 와우에서 내유모세포(inner hair cell, IHC)나 신경의 기능적 이상이 있는 곳을 'dead region'이라고 한다. 보청기에서 dead region에 속하는 주파수 영역의 증폭은 효과가 미약한 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 dead region의 위치에 따른 음성신호의 인지 능력 비교와 dead region이 존재할 때 보청기의 효과적인 이득값을 알아보기 위해 WRS 검사와 선호도 조사를 실시하였다. WRS(Word Recognition Score)검사와 선호도 조사를 위해 정상 청력 능력을 지닌 성인 남녀 8명을 대상으로, white noise와 babble noise를 이용하여 신호 대 잡음비(SNR) 0dB의 조건으로 검사음과 혼합하였으며, dead region의 영역을 세 가지로 분류하였다. 주파수 영역에 따라 low-frequency, mid-frequency, high-frequency dead region으로 나누고, 각 dead region에 따라 14.5 dB, 11.5 dB, 6 dB의 증폭 이득을 다르게 하여 결과를 비교하였다. dead region의 위치에 따른 검사 결과는 각 영역별로 차이가 있었다. WRS 검사결과 low-frequency dead region일 때 보다, mid-frequency dead region나 high-frequency dead region일 때의 WRS점수와 선호도 평가가 높게 나왔으며, 증폭 이득값의 차이를 비교해 보았을 때, 14.5 dB의 이득에 비해 낮은 이득을 주었을 때 WRS 검사 결과값이 더 높게 나왔으며, 높은 이득일수록 선호도 조사에서 낮은 점수를 받았다.

ABSTRACT

A sensorineural hearing loss(SNHL) occurs when the cochlea in the inner has functional problem. The region in the cochlea with no(or very few) functioning inner hair cells or neurons called 'dead regions'. Amplification using hearing aid over a frequency range corresponding to a dead region may not a beneficial. In this paper, we compared speech recognition with different location of dead region and gain and searched effective gain for hearing aid with dead region. In order to experiment, eight people who has normal hearing ware tested, and we used white noise and babble noise(SNR=0 dB). we divided by three conditions, low, mid and high frequency dead region. In addition, the gains in dead region ware 14.5 dB, 11.5dB and 6 dB gain. There ware different results by location of dead region. The result of WRS and preference in mid-frequency dead region and high-frequency dead region ware higher than them in low-frequency dead region. When we compared as gains, the score of WRS with

접 수 일 : 2011.11.19

심사완료일 : 2011.12.22

게재확정일 : 2011.12.26

* 박규석 : 인하대학교 전자공학과 석사과정
gyuseok.park@gmail.com (주저자)

방동혁 : 인하대학교 전자공학과 박사과정

dhsbang@biosoundlab.com (공동저자)

이상민 : 인하대학교 전자공학과 교수

sanglee@inha.ac.kr (교신저자)

※ 본 연구는 서울시 산학연 협력사업(SS100022)의 지원에 의하여 이루어졌음.

lower gain was higher than 14.5 dB gain, and the preference was lower as higher gain.

Keyword : hearing aid, cochlea, dead region, WRS, preference

1. 서론

난청은 발생 부위에 따라 전음성 난청, 감각신경성 난청과 혼합성 난청으로 분류되며, 감각신경성 난청은 다시 감각성 난청, 신경성 난청, 중추성 난청으로 구별된다[1]. 감각신경성 난청이 발생하면, 내이의 이상 또는 중추신경계로 청각 신호를 전달하는 과정에 이상이 있다. 감각신경성 난청은 대부분의 경우 와우(cochlea)의 내유모세포(inner hair cell, IHC) 또는 외유모세포(outer hair cell, OHC)가 연령의 증가, 큰 소음에 대한 노출, 약물, 기타 원인 등에 의해 손상을 입으면 발생한다고 알려져 있다[2].

2001년 Moore는 특정 주파수 영역에서 증폭에 따른 이득이 존재하지 않는 것을 발견하며 이를 cochlea dead region이라고 명명하였다[3]. 실제 저주파 대역의 dead region을 가진 환자보다 고주파 대역의 dead region을 가진 환자들이 많으며 이와 관련된 많은 연구와 논의가 진행 중이다.

Cochlea dead region은 내유모세포 또는 와우가 기능적으로 손상된 부위를 의미하며, 이 부위에 특이적인 주파수에 대한 정보를 중추신경계에 전달하지 못한다. 중고도 난청을 가진 성인 보청기 사용자의 대부분은 dead region을 가진다[4]. 현재 dead region을 진단하기 위해서는 고주파 신호를 주어 그 반응에 따라 dead region의 유무를 판단한다.

본 논문은 주파수 영역별 위치에 따른 dead region을 가상으로 만들어, 보청기의 증폭 이득을 다르게 하여 그 특성을 알아보고자 실험을 구성하였으며 그 결과값을 비교하는 것에 목적이 있다.

2. 본론

2.1 Dead region의 보청기 피팅 접근

Dead region을 가진 보청기 환자들에게 보청기 피팅 방법은 일반적인 난청인들과 다른 피팅 방법이 필요하다. 하지만 대부분의 연구는 난청인들의 청각능력 손실 정도와 지각능력이 따른 dead region의 유무를 판단하는 방법에 중점을 두고 있다. 그 중에서 가장 대표적인 방법이 threshold equalizing noise(TEN) test이다[5]. 이 방법은

오디오미터를 이용하여 피검자에게 500Hz에서 4000Hz까지의 순음을 발생시켜 청각역치에 따라 dead region을 판단한다. 하지만 대부분의 연구에서는 dead region에 대한 보청기 피팅 방법이 구체적으로 제시되지 않은 현실이다. Dead region을 가진 대부분의 난청인들이 고주파 영역에 dead region을 가지고 있기 때문에 높은 주파수 영역에서 자극음을 통한 인지능력 비교에 머물고 있다.

Vickers(2001)와 Baer(2002)의 연구에서는 high-frequency dead region의 낮은 주파수 경계선 가장 자리에서도 약 70%정도의 청각능력을 가지고 있기 때문에 실제 dead region에서의 보청기 증폭은 큰 의미가 없다고 하였다[6][7].

하지만 dead region을 가진 난청인들에게 만족도를 높이고 보청기 성능을 향상시키기 위해서는 dead region에 대한 보청기 피팅은 필수적이다. 현재 dead region의 보청기 피팅에 대한 영향은 아직 확실한 방법이 제안되지 않은 상태이다. 다양한 연구를 통해 dead region과 보청기 피팅이 제안되고 있지만, 개인마다 난청 정도가 다르고 dead region의 위치와 폭이 서로 다르기 때문에 음성 신호 인지의 차이를 보이고 있다[8].

따라서 본 논문에서는 청각필터와 유사한 필터를 설계하여 크게 low-frequency, mid-frequency, high-frequency로 나누고, 각 영역별로 dead region을 구성하였다. 그리고 각 주파수별 나누어진 dead region에 서로 다른 증폭이득을 통해 실제 난청인들의 음성 신호인지에 어떠한 영향을 미치는지 살펴볼 필요가 있다. 다시 말하면, Dead region의 위치, dead region의 증폭 이득과 잡음의 종류에 따라 음성 신호를 인지의 차이를 비교하여 연구한다. 추가적으로 현재 dead region을 가진 보청기 사용자들에게 가장 적합한 보청기 피팅 방법을 제안하기 위해 dead region에서의 보청기 증폭의 이득값을 차이를 두어 그 결과값을 비교 또는 분석해본다.

2.2 실험 구성 및 방법

2.2.1 실험 구성

본 논문에서 정의한 low-frequency, mid-frequency, high-frequency dead region은 다음과 같다. low-frequency 부분에 dead region이 존재하

는 경우 약 1100Hz 대역까지 dead region을 가지는 것으로 하였으며, mid-frequency 부분에 dead region이 존재하는 경우 1350Hz에서 2700Hz 부분의 음성신호를 듣지 못하는 것으로 정하였다. 그리고 high-frequency에 dead region이 존재하여 청력 손실의 어려움을 가지는 경우는 3100Hz 이상의 음성신호를 인지하지 못하는 것으로 판단하였다. 그리고 WRS 검사음의 sampling rate는 16000Hz 이며 dead region을 적용하기 위해 청각필터를 설계 하였다.

실험에 참가한 피검자는 총 8명으로 연령은 26-29세이다. 또한 피험자 모두 평상시 의사소통이 활발하며 상대방과 대화를 나눌 때 문제점이 없는 건청인을 대상으로 하였다.

청각 필터는 그림 1과 같이 mel-filter의 형태로 설계하였으며 필터의 개수는 35개로 하였다[9].

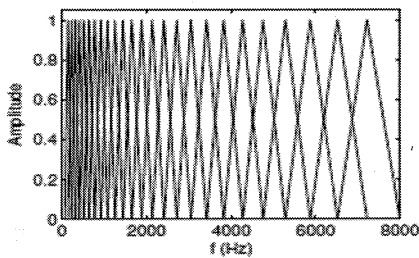


그림 1. 설계된 청각 필터

그림 2는 본 논문에서 사용한 필터 적용방법을 나타낸 것이다. 필터의 적용을 위해 프레임당 512개의 샘플링을 통해 얻은 데이터를 고속 푸리에 변환(fast fourier transform, FFT)을 통해 주파수 영역으로 변환되고, 주파수 성분들을 기반으로 dead region과 나머지 영역의 이득값을 다르게 하였다. 이득을 통한 주파수 성분은 역 푸리에 변환(inverse fourier transform, IFFT)를 거쳐 시간 축으로 출력을 내보냈다.

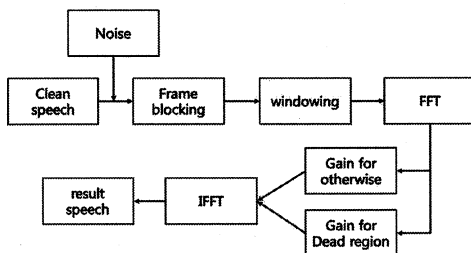


그림 2. 필터 적용의 블록 다이어그램

앞 절에서 언급한 바와 같이 세 가지 영역으로 나누어진 dead region에 필터의 이득을 0으로 하여 적용시켰다. 실제 난청인들의 청각역치는 정상인에 비해 높기 때문에 dead region의 영역이 아닌 나머지 주파수 영역은 필터의 이득을 0.5배 적용시켰다. 그로 인해 검사음이 6dB가 낮아지게 되었다. 잡음의 종류는 white noise 와 babble noise 두 종류를 사용했으며, SNR은 0dB로 고정하였다. 본 논문에서는 dead region의 위치와 dead region 구간의 이득에 따라 검사음의 왜곡을 평가해 보았다.

WRS(Word Recognition Score)검사는 25개의 1 음절 단어로 검사음을 구성되며 피검자가 들은 검사음의 소리의 수를 백분율(%)로 표시하였다. 각 단어의 음성에너지는 동일한 음압으로 이루어 졌으며 white noise 와 babble noise에 따라 low, mid, high-frequency에 존재하는 dead region의 위치와, 각 dead region에 14.5 dB, 11.5dB, 6 dB의 이득을 적용하여 총 21개의 검사음 세트를 표 1과 같이 구성하였다.

표 1. 검사의 구성

Case	잡음종류	Dead region의 영역	Dead region의 이득
1	잡음 없음 / Dead region 없음		
2	White noise	Dead region 없음	
3		Low-frequency	14.5 dB
4			11.5 dB
5			6 dB
6		Mid-frequency	14.5 dB
7			11.5 dB
8			6 dB
9		High-frequency	14.5 dB
10			11.5 dB
11			6 dB
12		Babble noise	Dead region 없음
13	Low-frequency		14.5 dB
14			11.5 dB
15			6 dB
16	Mid-frequency		14.5 dB
17			11.5 dB
18			6 dB
19	High-frequency		14.5 dB
20			11.5 dB
21			6 dB

2.2.2 실험 방법

3. 결과

3.1 WRS 검사

각 세트별 잡음을 혼합하지 않은 검사음의 결과는, 잡음을 혼합한 뒤 dead region의 위치 또는 이득값의 조건을 다르게 한 검사음 결과의 기준값이 된다. 각 검사음 세트의 상대적인 난이도와 유형을 고려하여 표 1에 점수에 따른 상대적 점수를 그림 3에 결과로 나타내었다.

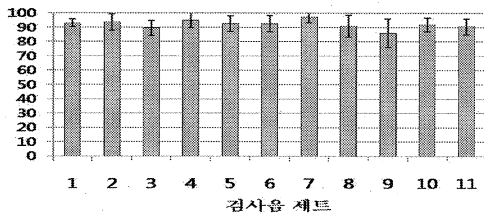
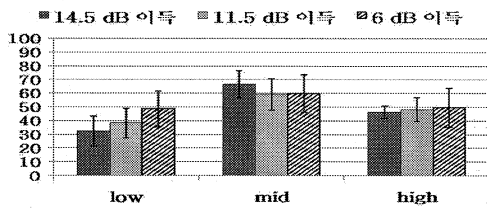
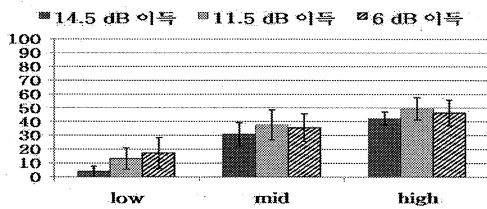


그림 3. 잡음이 혼합되지 않은 검사음의 WRS 결과

그림 4과 같이 low frequency 영역에 dead region이 존재하는 경우 mid-frequency, high-frequency에 dead region이 존재할 때보다 WRS 검사 결과가 낮다. 이는 대부분의 음성 신호가 저주파 영역에 많은 정보를 가지고 있기 때문에, 저주파 부분에 dead region이 적용된 검사음의 음성 정보가 낮아졌다고 볼 수 있다. 다시 말하면, dead region이 low-frequency에 존재한다면 많은 음성신호의 정보를 잃게 되어 보청기를 통해 증폭이 이루어지더라도 실제로 많은 효과를 보지 못한다고 판단된다.



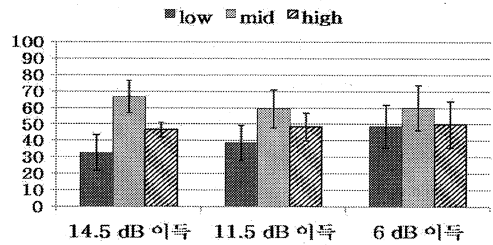
(a) babble noise



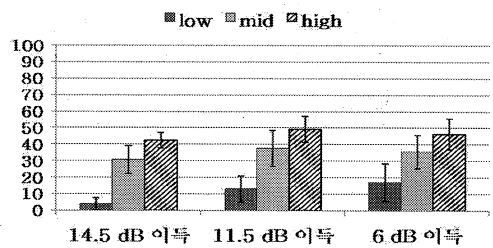
(b) white noise

그림 4. 서로 다른 잡음 상태에서 Dead region의 위치에 따른 WRS결과 그래프

저주파 영역을 벗어난 mid-frequency와 high-frequency dead region에서는 잡음의 종류에 따라 WRS 결과가 다르게 나타났다. 고주파 부분에 dead region이 존재 하는 경우가 아닌 경우, 모두 white noise(b) 혼합 검사음의 점수가 낮아졌지만, high frequency dead region에서는 babble noise(a)에 비해 점수 차이가 크지 않다. 이는 다른 주파수에 비해 high frequency에는 음성신호의 정보가 많지 않기 때문에 잡음의 차이에 따른 음성 정보 손실 차이가 크지 않기 때문이다.



(a) babble noise



(b) white noise

그림 5. 서로 다른 잡음 상태에서 Dead region의 이득값에 따른 WRS결과 그래프

그림 5는 dead region에 주어진 이득값의 차이를 두었을 때 총 8명의 피검자들의 평균 WRS 결과값 그래프이다. dead region이 low frequency에 존재한다면, 이득값이 크면 오히려 WRS결과값이 좋지 않았다. Dead region이 아닌 다른 주파수 영역과 같은 6 dB의 이득을 주었을 때 가장 좋은 검사결과가 나타난 것을 볼 수 있다. 이와 반대로 dead region이 mid-frequency나 high-frequency에 있을 때에는 이득값에 따라 다양한 결과를 유추 해 볼 수 있다. 만약 잡음이 white noise(b)라면 다른 이득값에 비해 11.5 dB의 이득을 주었을 때 다른 이득보다 약간의 장점을 보이는 것으로 나타났지만, babble noise(a) 상태에서는 이득에 따른 규칙적인 연관성을 찾기 힘들다. 이는 실제 dead region의 이득을 크게 하여도 inner hair cell에서 자극의 전달 동작이 이루어지지 않기 때문에 큰 차이를 가져오지 못한 것으로

판단되며, low-frequency dead region에서는 오히려 높은 이득으로 인해 약간의 점수 감소가 나타난 것을 볼 수 있다.

3.2 선호도 조사

각 dead region의 위치에 따라 dead region의 이득값을 서로 다르게 주었을 때, 그림 6과 같이 low-frequency dead region에서는 WRS검사 결과와 마찬가지로, 일반적인 6 dB의 증폭도를 가졌을 때 가장 신호음의 구별이 쉬웠다고 느꼈다.

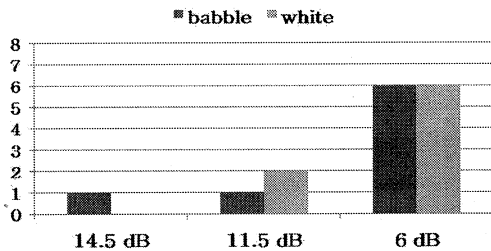


그림 6. Low-frequency dead region에서 이득값에 따른 선호도 그래프

그림 7과 그림 8에서 나타난 바와 같이 mid-frequency dead region과 high-frequency dead region에서는 이득이 11.5 dB일 때 신호음의 구별이 다른 이득을 주었을 때 보다 쉽다고 피검자들은 느꼈다.

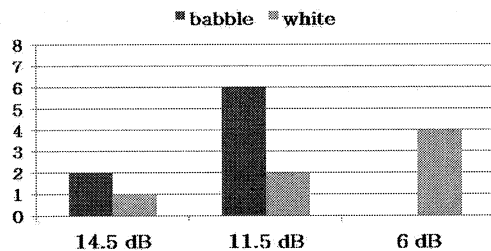


그림 7. Mid-frequency dead region에서 이득값에 따른 선호도 그래프

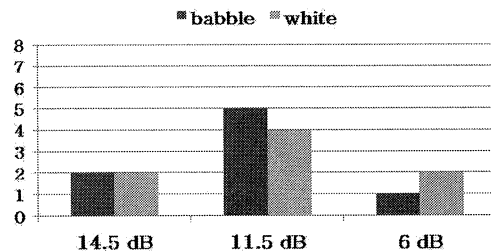


그림 8. High-frequency dead region에서 이득값에 따른 선호도 그래프

4. 결론

본 논문에서는 dead region을 가진 난청인의 어음인지 능력과 음성신호의 왜곡 차이를 알아보기 위해, 주파수 영역별로 dead region을 나누어 보고, 각 영역마다 이득값을 다르게 하여 실험을 구성하였다.

본 실험을 통해 dead region의 위치에 따라 각 영역별 차이를 알아보았다. Low-frequency dead region이 존재하는 경우, 14.5 dB의 이득을 주었을 때 보다 주변주파수와 같은 이득값인 6 dB의 이득을 주었을 때 WRS 결과가 14.9 ± 2.1 점 높게 나왔으며, 선호도 평가에서도 두 잡음 조건 모두 각각 6명의 피검자가 가장 만족한다고 대답하였다. 이것은 저주파 영역에 분포되어 있는 대부분의 음성 신호 정보가 low-frequency dead region에서 잡음과 함께 전달되지 inner hair cell로 전달되지 못하기 때문이다.

이와 반대로 dead region이 mid-frequency와 high-frequency에 존재 하는 경우, low-frequency dead region에 비해 WRS 검사 결과와 PESQ 값이 크게 향상되었지만, 각 dead region 위치에서 이득값에 따른 결과는 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 dead region이 존재하는 주파수가 높아질수록 음성 신호의 왜곡이 낮아지는 것을 의미 한다. 다시 말하자면, low-frequency dead region을 가진 환자가 mid-frequency나 high-frequency에 dead region을 가진 환자보다 dead region에 대한 보청기 증폭 효과가 미약하다는 것을 의미한다. 그리고 dead region이 고주파 영역일수록 음성 신호 인지가 높은 것을 확인하였다.

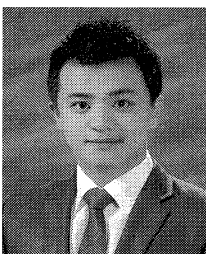
결론적으로, dead region이 low-frequency에 있을 경우는 높은 이득값의 증폭 보다는 주변 주파수와 같은 이득을 통해 음성신호의 왜곡을 최대한 줄이며, 고주파 영역으로 갈수록 증폭의 크기를 높여 dead region의 영역 범위와 청력손실에 알맞은 이득값을 찾는 것이 중요하다.

참 고 문 헌

- [1] 대한청각학회 편. 청각검사지침. 학지사. 2008.
- [2] 이정학, 이경원. 보청기평가. 학지사. 2005.
- [3] B.C.J. Moore, Alcántara JI., "The use of psychophysical tuning curves to explore dead regions in the cochlea", *Ear & Hearing*, vol. 22, issue.4, pp.268-278, 2001.
- [4] Cox, Robyn M., Alexander, Genevieve C., Johnson, Jani, and Rivera, Izel, "Cochlea Dead Regions in Typical Hearing Aid Candidates: Prevalence and Implications for Use of High-Frequency Speech Cues", *Ear &*

Hearing, vol.32, issue.3, pp.339-348, 2011.

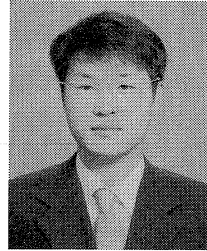
- [5] B.C.J. Moore, and M. Huss, D.A. Vickers, B.R. Glasberg, J.I. Alcántara, "A test for the diagnosis of dead region in the cochlea", *British Journal of Audiology*, vol.34, no.4, pp.205-224, 2000.
- [6] Vickers, D. A., and Moore BC, Baer, "Effect of low-pass filtering in the intelligibility of speech in quiet for people with and without dead region at high frequencies", *J Acoust Soc Am*, vol.110, issue.2, pp.1164-1175, 2001.
- [7] Baer, T., Moore, B. C. J., and Kluk, K., "Effect of low pass filtering on the intelligibility of speech in noise for people with and without dead region at high frequencies", *J Acoust Soc Am*, vol.112, issue.3, pp.1133-1144, 2002.
- [8] Preminger JE, Carpenter R, and Ziegler CH., "A clinical perspective on cochlea dead regions: intelligibility of speech and subjective hearing aid benefit", *J Am Acad Audiol*, vol.16, no.8, pp.600-613, 2005.
- [9] Sigurdur Sigurdsson, Kaare Brandt Petersen, and Tue Lehn-Schiøler, "Mel Frequency Cepstral Coefficients: An Evaluation of Robustness of MP3 Encoded Music", *Proceedings of The International Symposium on Music Information Retrieval*. pp.286-289, 2006.



박규석

2010년 2월 인하대학교 전자공학화 졸업(학사)
 2010년 3월 - 현재 인하대학교 전자공학부 석사과정

관심분야 : 음성 신호처리, 심리음향

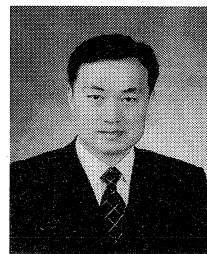


방동혁

1999년 6월 - 2003년 7월 에이스테크놀로지 사원
 2007년 2월 : 광주대학교 전자공학과 졸업(학사)

2009년 2월 : 인하대학교 전자공학부 졸업(석사)
 2011년 3월 - 현재 : 인하대학교 전자공학부 박사과정

관심분야 : 잡음제거, 심리음향, 의용관련 응용 소프트웨어 구현



이상민

1987년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업

1989년 인하대학교 전자공학과 석사 졸업

2000년 인하대학교 전자공학과 박사 졸업

1989년 1월 - 1994년 7월 LG이노텍 선임연구원

1995년 1월 - 2002년 3월 삼성종합기술원 책임연구원

2002년 4월 - 2005년 2월 한양대학교 의공학교실 연구교수

2005년 3월 - 2006년 8월 전북대학교 생체정보공학부 조교수

2006년 9월 - 현재 인하대학교 전자전기공학부 교수

관심분야 : Healthcare system design, Psycho-acoustic, Brain-machine interface