

지자기 센서를 이용한 양이 보청기의 방향성 이득 조절 연구

양혜진¹ · 안선영² · 정재현² · 최인용³ · 우지환^{1,2}

¹울산대학교 대학원 의용생체공학전공, ²울산대학교 전기공학부 의공학전공, ³아이오와 대학교 언어청각학과

Automatic Directional-gain Control for Binaural Hearing Aids using Geomagnetic Sensors

Hyejin Yang¹, Seonyoung An², Jaehyeon Jeong², Inyong Choi³ and Jihwan Woo^{1,2}

¹Interdisciplinary Program of Medical & Biological Engineering, University of Ulsan, Korea

²Department of Biomedical Engineering, School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

³Department of Communication Sciences and Disorders, University of Iowa, USA

(Manuscript received 9 November 2016; revised 29 December 2016; accepted 30 December 2016)

Abstract: Binaural hearing aids with a voice transmitter have been widely used to enhance sound quality in noisy environment. However, this system has a limitation on sound-source localization. In this study, we investigated automatic directional-gain control method using geomagnetic sensors to provide directional information to binaural hearing aid user. The loudness gains of two hearing aids were differently controlled based on the directional information between a speaker position and a viewing direction of hearing aids user. This relative directional information was measured by two geomagnetic sensors on hearing aids user and a speaker. The results showed that the loudness gains were accurately controlled and could provide directional information based on the cue of interaural level differences.

Key words: Binaural hearing aids, geomagnetic sensor, gain control, interaural level difference

1. 서 론

보청기(hearing aid, HA)는 청력 검사상 난청으로 진단된 환자에게 증폭된 소리를 전달해줌으로써, 난청인의 소리 인식을 도와주는 청각보조 기기이다. 난청인의 경우 보청기를 사용하여도, 소음환경에서는 소리의 인지 및 화자의 방향성 인지에 많은 제한 점을 보이고 있다. 이러한 소음환경에서 보청기 사용시 보청기의 성능 향상을 위하여 필터를 이용한 주변 소음제거, 소리 방향성 예측 향상을 위한 방향성 마이크로폰 사용 등의 다양한 연구가 진행되고 있다[1].

방향성 마이크로폰 사용 보청기는 전방에 부착된 마이크를 이용하여 전방에서 오는 소리를 측정하고, 그 외의 추가적인 마이크를 이용하여 측면 또는 후면에서 발생하는 소리를 측정하여, 전방 및 측, 후면에서 오는 소리의 차이를 이용하여 주변의 소음제거 및 보청기의 음질 향상에 도움을 준다 [2]. 이에 기반하여 여러 연구 그룹에서는 zoom control 및 stereo zoom 방식과 같이 다양한 방법들을 제시하여, 보청기 기능 향상을 위한 연구를 진행하고 있다[3,4]. 또한, 한 개의 보청기 사용에 소리 인식의 제한점이 있는 경우, 양쪽 귀에 보청기를 착용하는 양이 보청기를 사용하고 있다[5]. 그러나, 이러한 양이 보청기 사용에도 학회나 파티 등 주변 소음이 큰 환경에서는 정확한 소리 인식에 여전히 제한점이 있다[6]. 최근에는 이러한 소음이 큰 환경에서 소리 인식 제한점을 보완하기 위하여, 특정 화자에게 음성 송신기(voice transmitter) 역할을 하는 펜 또는 목걸이 형태의 마이크로폰을 제공하여 화자의 소리가 보청기로 직접 전달되어, 외부 환경 소음을 줄여 화자의 소리를 잘 들을 수 있도록 하

Corresponding Author : Jihwan Woo

Interdisciplinary Program of Medical & Biological Engineering, University of Ulsan, Korea and Department of Biomedical Engineering, School of Electrical Engineering, University of Ulsan, Korea

TEL: +82-52-259-1308 / E-mail: jhwoo@ulsan.ac.kr

이 연구는 한국연구재단의 지원(NRF-2015R1D1A3A01016128)을 받아 수행하였음.

고 있다[7]. ‘로저(Roger)’라 불리는 이 음성 송신기 방식은 마이크와 보청기 사이에 블루투스 통신을 통해 소리정보를 직접 전달하기 때문에 신호대 잡음비가 높아 보청기 사용자가 화자의 소리를 정확히 인지할 수 있게 된다. 그러나, 이러한 로저를 양이 보청기에서 사용할 시에는, 동일한 크기의 신호가 동시에 양쪽 귀에 전달되기 때문에 방향성을 예측할 수 있는 양이 소리크기 차 또는 시간차에 대한 정보를 보청기 사용 청자에게 전달할 수 없다. 따라서, 다수의 화자가 음성 송신기를 사용할 경우, 양이 보청기 사용자는 화자의 방향을 예측하기 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고자, 양이 보청기-로저 사용자에게 소리 방향성 정보를 제공해 줄 수 있는 방식을 연구하고자 한다. 두 개의 지자기 센서를 이용하여, 음성 송신기를 사용하는 화자와 양이 보청기 사용자 사이의 각도를 측정하고, 이 측정된 방향 정보에 기반하여 좌우 두 보청기에 전달되는 소리의 증폭 크기를 달리하여[8] 보청기 사용자가 화자의 방향을 예측할 수 있는 기반 시스템 개발을 목표로 하였다.

II. 연구 방법

1. 각도 측정 모듈

본 연구에서는 로저-보청기 사이의 방향을 측정하기 위하여, 각도 측정 모듈을 이용하여 각 로저 및 보청기의 절대 방위각을 측정하고, 절대 방위각에 기반하여 화자와 보청기 사용자의 상대적 방위각(azimuth)을 계산하였다. 방위각 측정은 3축 지자기센서를 포함하고 있는 9축 관성센서모듈(HMC5883, Honeywell International Inc, USA)을 이용하여 측정하였다. 그림 1은 각도 측정 모듈 및 양이 보청기 출력 이득 조절 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 그림 1(a)는 화자가 소지하는 로저 부분으로 마이크와 지자기 센

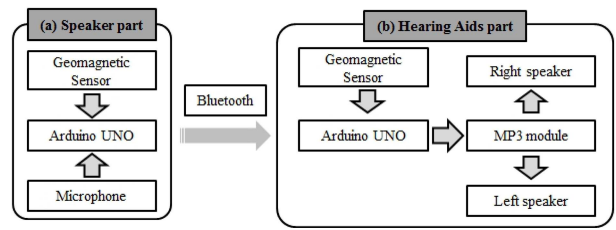


그림 1. 각도 측정 모듈 및 양이 보청기 출력 이득 조절 시스템의 구성도. (a) 9축 관성센서 모듈, 마이크, 아두이노 UNO, 블루투스 마스터 모듈로 구성된 화자의 각도 측정 모듈. 화자의 각도 측정 모듈 데이터는 블루투스 통신을 통해 (b) 보청기 사용자의 각도 측정 모듈로 전달되며, 보청기 사용자의 각도 측정 모듈의 MP3모듈을 이용하여 스피커의 이득이 조정됨.

Fig. 1. Schematic for the overall system to control the binaural gains based on the relative position between a speaker and a hearing aids user. The speaker part of (a) consists of a geometric sensor, microphone, Bluetooth, and Arduino board. The directional data and sounds data are transmitted to the hearing aids part of (b) via Bluetooth. The hearing aids part processes the relative direction between the speaker and the hearing aids and then controls the binaural gains for the two speakers.

210

서로 구성되어 있으며, 소리 데이터와 절대 방위각은 아두이노 UNO보드를 기반으로 측정하였다[7]. 측정된 데이터는 블루투스 통신을 통해 보청기 사용자의 아두이노 UNO 보드로 전달된다. 그림 1(b)는 간단히 구성한 양이 보청기 부분이며, 지자기 센서에서는 보청기의 절대 각도를 측정하게 된다. 블루투스를 통해 전달된 화자의 절대 각도와 보청기의 절대각도에 정보에 기반하여 아두이노 UNO 보드에서는 두 모듈간의 상대 각도를 측정하게 되고, 측정된 상대각도에 기반하여 좌우 스피커의 증폭 이득을 결정하게 된다. 계산된 증폭률에 따른 소리 데이터는 MP3 모듈을 통하여

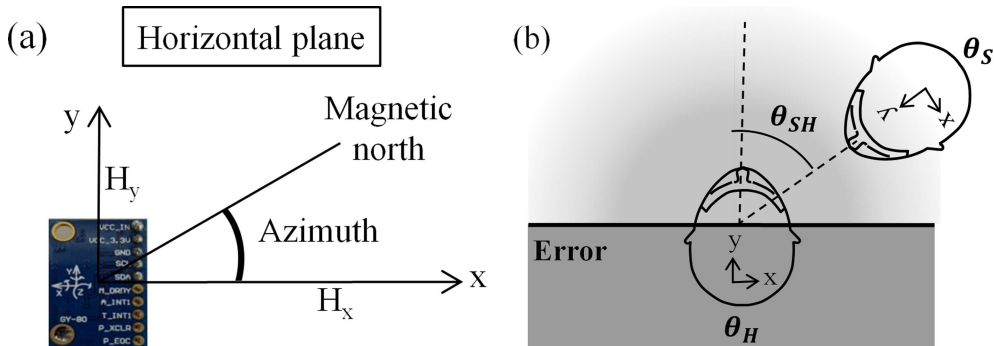


그림 2. (a) 지평면(horizontal plane)에서의 지자기 센서를 이용한 방위각(azimuth) 측정 모식도. (b) 화자와 보청기 사용자 사이의 각도 측정 알고리즘 개요도. 화자의 절대적 방위각(θ_S)과 보청기 사용자의 절대적 방위각(θ_H)을 이용하여 화자와 보청기 사용자 사이의 상대적 각도(θ_{SH})를 측정.

Fig. 2. Schematic of measuring (a) an absolute azimuth angle using a geomagnetic sensor in a horizontal plane and (b) the relative angle (θ_{SH}) between a speaker (θ_S) and a hearing aid user (θ_H).

좌우 스피커로 출력하게 하였다.

2. 각도 측정 알고리즘

그림 2(a)는 로저와 보청기에 있는 각각의 지자기 센서에서 절대 방위각(azimuth)을 측정하는 개요도를 보여주고 있다. 방위각은 지평면(horizontal plane)에서 자북축(magnetic north)과 3축 지자기 센서의 x축 사이의 각도를 의미하며, 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$azimuth(\alpha) = \tan^{-1}\left(\frac{H_x}{H_y}\right) \tag{1}$$

H_x 와 H_y 는 각각 x축, y축 방향의 지자기 센서 측정값을 나타낸다. 방위각은 지평면에 대해 측정되는 수치이기 때문에, 지평면으로부터 수직으로 측정되는 z축 방향의 측정값은 본 연구에서 방위각을 계산하는데 사용하지 않았다. 그림 2(b)는 화자와 보청기 사용자 사이의 상대적 각도 측정 개요도를 나타낸다. 각도는 화자가 보청기 사용자를 바라본 상태와 보청기 사용자가 정면을 응시한다는 가정하에 측정하였다. 먼저 식(1)에 기반하여 화자 방향과 보청기 사용자의 각각의 방위각 θ_S 와 θ_H 를 계산하였다.

$$\begin{aligned} \theta_S &= \alpha_S - 180^\circ \\ \theta_H &= \alpha_H \end{aligned} \tag{2}$$

화자의 방위각(α_S)을 이용하여 화자의 위치각도인 θ_S 를 계산하고, 보청기 사용자의 방위각(α_H)을 이용하여 보청기 사용자의 위치각도인 θ_H 를 이용하여 계산하게 된다. 여기서, θ_S 가 음수이면 화자가 보청기 사용자의 왼쪽에 위치하고, 양수이면 오른쪽에 위치함을 의미한다. 보청기 사용자에 대한 화자의 상대적 각도(θ_{SH})는 측정된 각각의 절대 방위각 θ_S 와 θ_H 에 기반한 식(3)을 이용하여 계산하였다(그림 2(b)).

$$\theta_{SH} = |\theta_S - \theta_H| \tag{3}$$

화자가 보청기 사용자의 중심선에 위치한 경우에는 θ_{SH} 가 0°가 되며, 왼쪽 영역에 위치해 있을 경우는 θ_{SH} 가 -90°에서 0°사이의 값을, 오른쪽 영역에 위치에 있을 경우에는 θ_{SH} 는 0°에서 90°사이의 값을 나타내게 된다. 본 연구에서는 화자가 보청기 사용자의 앞쪽에 위치해 있다고 가정하였기 때문에, θ_{SH} 가 -90°(왼쪽)보다 작아지고, 90°(오른쪽)보다 커지는 경우에는 데이터를 처리하지 않았다. 그림 3은 상대 각도 측정 정확도 평가를 위한 실험 개요를 보여주고 있다. 1 kHz 순음에 대한 최소 가청 각도(minimum audible angle)는 1°-8°인 것에 기반하여[9], 본 연구에서는 보청기-화자의 각도를 -90°-90°의 범위에서 5°씩 변화시키며 상대 각도를

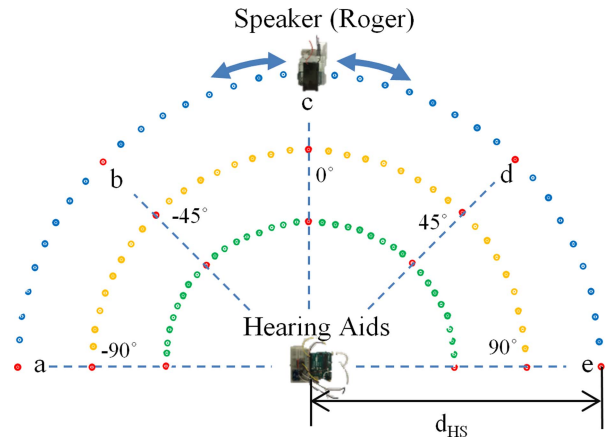


그림 3. 화자와 보청기 사용자 사이의 상대각도(θ_{SH})와 그에 따른 보청기 소리출력 정확도 측정을 위한 실험 개요도. d_{HS} 는 0.50, 0.75, 또는 1.00 m로 설정함.

Fig. 3. The experimental setup to measure an accuracy of relative angle (θ_{SH}) and that of loudness gain change in accordance to the position of speaker (θ_{SH}).

표 1. 화자 위치에 따른 화자와 보청기 사용자의 상대 각도(θ_{SH})와 양이 보청기 출력 이득값.

Table 1. The Lookup table for the binaural loudness gains in accordance with the relative position of speaker.

Position (ref. Fig. 3)	θ_{SH} (°)	Output gain (dB)	
		Left	Right
(a)	-90	1.2	0.8
(b)	-45	1.1	0.9
(c)	0	1.0	1.0
(d)	45	0.9	1.1
(e)	90	0.8	1.2

측정 하였다. 또한, 화자와 보청기 사용자의 거리에 따른 상대 각도 측정의 정확성을 평가하기 위하여 두 모듈 사이의 거리를 0.5, 0.75, 1.0 m로 변화시켜 상대 각도를 측정하였다. 각도 측정 모듈의 정확도 측정 실험은 다수의 전자기기와 전선 등이 외부로 노출되어 있지 않은 장소에서 진행하였다.

3. 소리출력 이득 조정 알고리즘

본 연구에서는 화자와 보청기 사용자 사이의 각도에 따라 보청기 사용자의 소리 출력 이득을 조정하고, 이를 통해 보청기 사용자가 화자의 방향을 예측할 수 있도록 하였다. 화자가 보청기 사용자의 왼쪽에 위치해 있으면, 왼쪽 스피커의 출력이 오른쪽 스피커의 출력보다 크게 증폭되도록 이득을 조정하고, 화자가 보청기 사용자의 오른쪽에 위치해 있을 경우, 왼쪽 스피커의 출력보다 오른쪽 스피커의 출력을 크게 증폭시켜 보청기 사용자가 화자의 위치, 즉, 소리의 방향의

예측하도록 하였다. 소리 방향 예측을 위한 스피커 출력 이득 조절에 대한 실험은 그림 3과 같이 보청기 사용자의 각도 측정 모듈은 정면으로 위치시키고, 화자의 각도 측정 모듈의 위치는 보청기 사용자를 바라본 상태에서 -90° , -45° , 0° , 45° , 90° 로 변경하였다. 이에 따라 각 위치에 따른 보청기 사용자의 소리출력 이득은 표 1과 같이 조정하였다. 출력 이득의 변화 값은 일반적인 대화의 소리크기인 50 dB SPL를 기준으로, 보청기 사용자가 소리크기의 변화를 확실하게 감지할 수 있는 수준으로 설정하였다. 화자와 보청기 사용자가 마주보고 있는 (c)위치에서는 오른쪽과 왼쪽 스피커 출력 이득을 동일하게 하였고, 화자가 보청기 사용자의 왼쪽에 위치하는 (a)-(b)-(c) 구간에서는 보청기 사용자의 왼쪽 스피커 출력 이득을 0.1 dB씩 증가시켰고, 오른쪽 스피커의 출력 이득은 0.1 dB씩 감소시켰다. 반대로, 화자가 보청기 사용자의 오른쪽 위치인 (c)-(d)-(e) 구간으로 위치를 변경할 시에는 보청기 사용자의 오른쪽 스피커 출력 이득을 0.1 dB씩 증가시켰고, 왼쪽의 스피커 출력 이득은 0.1 dB씩 감소시켰다. 소리 머리 전달 함수(Head-Related Transfer Function)에 따른 1 kHz 소리의 양이 크기 차이(interaural level difference)가 최대 약 20 dB임을 감안하여, 본 연구에서도 실제 좌우 스피커 출력 차가 이와 비슷한 수준이 나오도록, 스피커 출력 이득 변화를 0.1 dB로 설정하였다[9]. 소리 출력 이득 조정 측정 실험은 방음실 내에서 이루어 졌으며, 출력 소리는 1 kHz 순음을 이용하였고, 소리 크기 측정은 소음 측정기(Orbiter 922, GN Otometrics, Denmark)를 이용하여 측정하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 방위각 및 각도 예측

화자와 보청기 사용자의 각도 측정 모듈을 이용하여 절대 방위각을 측정하고, 측정된 절대 방위각에 기반하여 화자와 보청기 사용자 사이의 상대 각도를 계산하였다. 그림 4(a)는 지자기 센서를 이용한 방위각 측정의 정확도 검증을 위해 지자기 센서를 0° - 180° 의 범위에서 회전시키며 측정한 방위각의 변화량(Δ Azimuth)을 나타내고 있다. 지자기 센서를 5° 씩 변화시키며 세 번 반복 측정한 결과, 방위각의 변화량은 2° 에서 10° 사이에서 분포하였으며, 평균적인 방위각의 변화량은 5.10° (회색 실선)이고, 표준편차는 1.41° (검정색 점선)이다. 화자와 보청기 사용자 사이의 각도 계산에 대한 정확도를 측정하기 위해, 그림 4(b)는 화자와 보청기 사용자의 방위각을 기반으로 계산된 화자와 보청기 사용자 사이의 상대각도에 대한 오차를 나타내며, 세 번의 측정을 통해 계산되었다. 보청기 사용자의 각도 측정 모듈을 고정시킨 상태에서, 화자의 각도 측정 모듈을 5° 씩 이동시키며 -90° - 90°

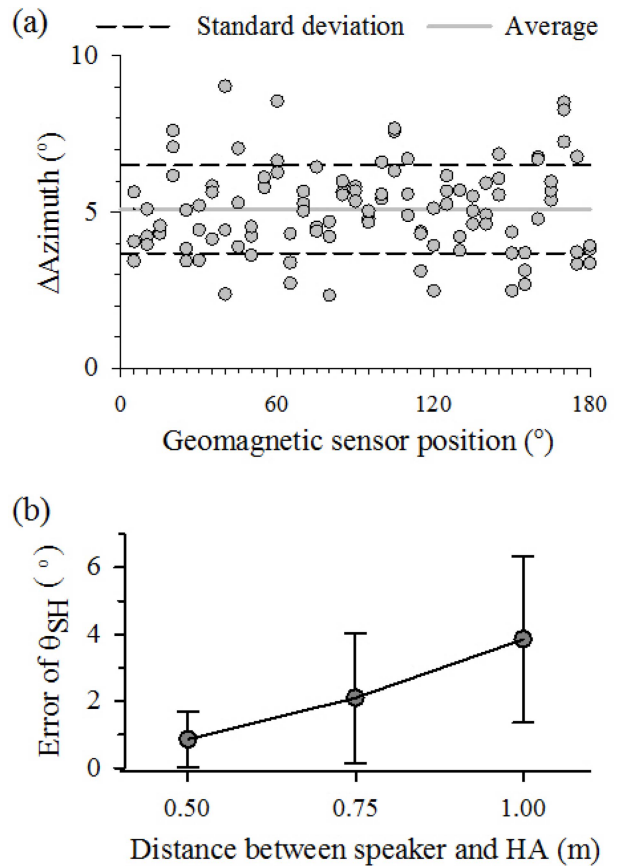


그림 4. (a) 개별 지자기 센서를 이용하여 0° - 180° 범위에서 5° 간격으로 위치 변경 시 절대 방위각 변화량과 (b) 화자와 보청기 사용자 사이의 거리 변화에 따른 상대적 각도(θ_{SH})의 측정 오차. 개별 지자기 센서의 절대 방위각 변화량 그래프에서 회색 실선과 검정색 점선은 각각 측정 데이터의 평균과 표준편차를 나타냄.

Fig. 4. (a) The measured change of absolute azimuth in accordance with rotating the geomagnetic sensor from 0° to 180° by 5° step and (b) the error of relative angle (θ_{SH}) in accordance to distance between a speaker and hearing aids.

사이의 θ_{SH} 를 측정하였다. 화자와 보청기 사용자 사이의 거리에 따라서 오차의 평균과 표준편차를 계산하였으며, 0.5, 0.75, 1.0 m 각 거리에 대한 오차의 평균은 각각 0.87, 2.10, 3.85이며, 표준편차는 0.84, 1.95, 2.49로, 오차는 대부분 5° 이하로 분포하였다. 화자와 보청기 사용자 사이의 거리가 멀어질수록 상대각도의 오차가 증가하였고, 표준편차도 증가하여 상대각도의 정확도가 감소하였다. 그러나, 대부분의 측정에서 화자와 보청기 사용자 사이의 상대각도가 실사용에서 영향을 주지 않는 범위인 $\pm 5^\circ$ 의 오차범위로 측정되었다.

2. 소리 출력 이득 조정

각도 측정 모듈을 이용하여 계산된 화자와 보청기 사용자 사이의 각도에 따라서 양이 보청기 사용자의 양 쪽 스피커의 출력 이득을 조정하였다. 이 때, 출력되는 소리의 크기를

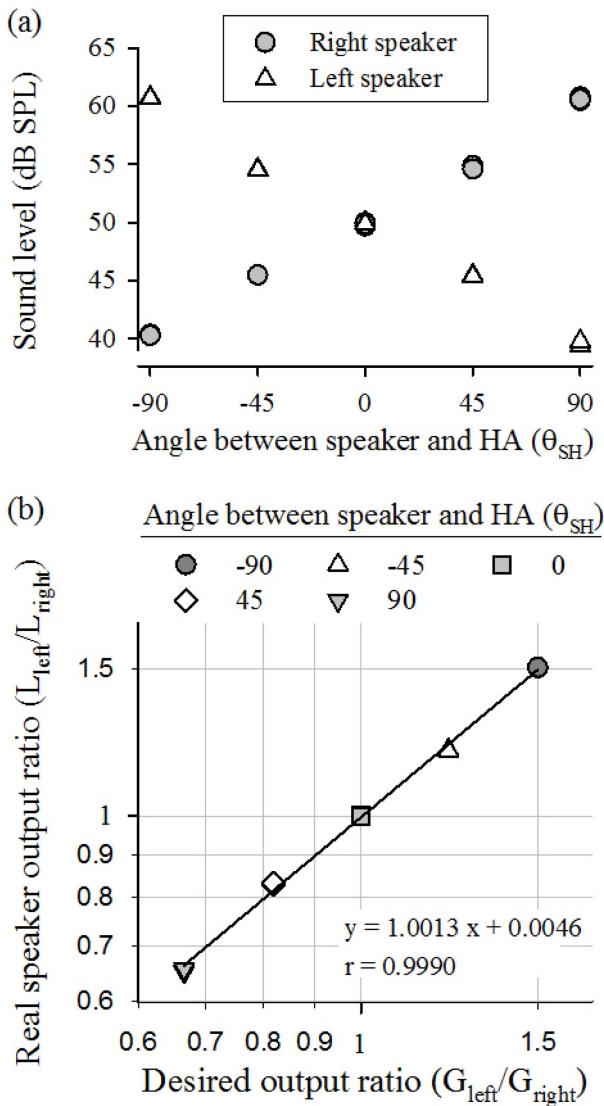


그림 5. (a) 보청기사용자에 대한 화자의 상대적 위치(θ_{SH}) 따라 측정된 좌우 스피커 소리 출력 크기. (b) 측정된 좌우 스피커 출력 비율(L_{left}/L_{right})과 이상적 좌우 스피커 출력(G_{left}/G_{right}) 비율과의 관계.

Fig. 5. (a) The measured loudness of sound from the left (triangle) and right (circle) speaker as a function of a relative position of speaker to hearing aids. (b) The comparison between the measure and desired output ratio of the left and right speaker. Different symbols denote the relative position of speaker.

측정하여 각도에 따른 출력 이득 조정의 정확성을 검증하였다. 그림 5(a)는 화자와 보청기 사용자 사이의 거리가 0.5 m 이고, 보청기 스피커에서 50 dB SPL 소리가 출력될 시, 화자와 보청기 사용자 사이의 상대 각도가 변화에 따른 양쪽 스피커 출력의 변화를 보여주고 있다. 각각의 상대 각도 위치에서 세 번 반복하여 스피커의 출력을 측정한 결과를 나타낸다. 반복에 따른 측정값의 편차가 크지 않으며, 각도의

변화에 따라 양쪽 스피커의 출력 차가 최대 20 dB 정도 나타남을 알 수 있다. 화자와 보청기 사용자 사이의 상대 각도가 0°로 마주보는 위치에서는 오른쪽, 왼쪽 스피커의 출력이 동일하였으며, 화자가 보청기 사용자의 왼쪽 영역으로 이동하게 되면($0^\circ \rightarrow -90^\circ$), 오른쪽 스피커의 출력이 줄어 들고, 왼쪽 스피커의 출력이 증가된다. 또한, 화자가 보청기 사용자의 오른쪽으로 이동할 경우($0^\circ \rightarrow +90^\circ$), 오른쪽 스피커의 출력은 점차 증가하고, 왼쪽의 스피커 출력은 점차 감소하게 된다. 그림 5(b)는 화자의 위치 변화에 따른 이론상 오른쪽 스피커 출력 대비 왼쪽 스피커의 출력 이득 비율(G_{left}/G_{right})과 실제 측정된 오른쪽 스피커 출력 대비 왼쪽 스피커의 출력 비율(L_{left}/L_{right})의 상관관계를 보여주고 있다. 화자가 보청기 사용자의 왼쪽에 위치해 있는 경우는 비율이 1보다 크게 나타나고, 오른쪽에 위치해 있는 경우에는 비율이 1보다 작게 나타났다. 또한, 화자와 보청기 사용자가 마주보고 있는 위치에서는 왼쪽과 오른쪽의 출력 이득이 같기 때문에, 오른쪽왼쪽 스피커의 출력 비율이 1로 계산되었다. 이러한 위치에 따라 입력된 좌우 스피커 출력 비율과 실제 측정된 좌우 스피커의 출력 비의 상관 관계는 매우 높게 측정되어($r = 0.9990$), 측정된 화자와 보청기 사용자 사이의 상대각도에 기반한 양이 보청기 출력 조절이 정확하다는 것을 보여주고 있다.

IV. 결론 및 토의

본 연구에서는 지자기 센서에 기반한 양이 보청기 사용자가 마이크론을 사용하는 화자의 위치를 예측할 수 있는 방법을 개발하였으며, 개발한 방식으로 출력되는 센서에서 출력된 상대적 위치의 정확성 및 상대적 위치에 따른 양쪽 스피커 출력의 정확성을 검증하였다. 연구 결과, 개발한 각도 측정 모듈은 보청기에서 사용할 수 있는 정확도를 가졌음을 실험을 통해 검증하였고, 화자와 보청기 사용자 각도에 따른 보청기 사용자의 소리 출력 이득 조정도 정확하게 실행됨을 검증하였다.

정상청력인의 경우, 수평면 상에서 소리의 위치가 변화하는 정도를 감지할 수 있는 최소 인지 각도(minimum audible angle, MAA)는 약 1°-8°이다[10,11]. 하지만, 청력 손실이 있는 난청인의 경우, 소리의 주파수 영역에 따라 15°-35°로 최소 인지 각도가 증가하게 된다[12]. 이를 감안했을 때, 본 연구에서 개발된 각도측정 모듈에서 발생하는 오차는 5°미만므로, 보청기 사용자가 마이크론을 사용하지 않는 화자의 위치를 예측할 수 있는 각도 보다 작기 때문에, 화자의 위치의 변화를 민감하게 반영할 수 있을 것으로 보이며, 추가적인 임상시험을 통해 보청기 사용자의 화자위치 예측 정확도를 알아볼 예정이다.

각도 측정을 위해 본 연구에서 사용한 지자기 센서는 구의 자기장을 이용하여 방위각을 측정하는 센서이기 때문에, 주변 전자기장의 영향을 받는다. 본 연구에서는 전자기장의 발생이 미미한 환경에서 진행되어 시스템 출력이 정확하게 나타났으나, 전자기장의 발생이 많은 곳에서 화자와 보청기 사이 각도 측정에 오차가 발생할 수 있으리라 예상된다. 따라서, 주변의 전자기장 영향을 고려할 수 있는 보정 알고리즘 개발과 같은 시스템의 안정성을 향상 시킬 수 있는 추가적인 알고리즘 또는 각도 측정 방식 개발이 필요하다[13]. 또한, 본 연구에서는 화자와 보청기 사용자가 같은 수평면에 있다는 가정 하에 시스템을 개발하였기 때문에, 센서의 기울어짐을 보상하기 위해 가속도 센서와 같은 추가적인 센서를 함께 이용하거나, 지자기 센서의 z축을 추가로 사용하여 센서의 기울어짐을 보상에 줄 수 있는 알고리즘을 적용할 필요가 있다[14]. 소리의 방향 예측은 양이에 도달하는 소리의 크기 차 뿐만 아니라, 소리의 시간(또는 위상)차(interaural time difference) 또한 중요한 요소가 된다[9]. 본 연구에서는 양이의 크기차만을 이용하였으나, 추후 보청기 사용자와 화자간의 위치에 따른 양이 시간차를 이용한 방향 정보를 주고자 한다. 양이 크기차 또는 위상차는 머리 전달 함수에 따라서 발생하게 되고, 소리의 주파수에 따라서 양이에 전달되는 소리의 크기나 시간차가 달라진다. 본 연구에서는 하나의 출력이득 테이블에 기반하였으나, 대화나 일상 생활에서의 소리는 다양한 주파수에 대한 정보를 갖고 있기 때문에 소리 주파수에 따른 출력 이득 테이블을 이용한 방식에 대하여 추후 진행하고자 한다.

본 연구 결과는 양이 보청기 사용자가 마이크로폰을 사용하고 있는 화자의 방향을 예측할 수 있는 시스템을 제안하였고, 지자기 센서를 이용하여 측정한 화자와 양이 보청기 사용자 사이의 각도를 기반으로, 보청기 사용자의 양이 소리출력 이득을 조정이 가능함을 보였다. 개발된 시스템은 향후 양이 보청기와 로저 시스템에 적용되어 사용자에게 효과적인 정보를 제공할 수 있기를 기대한다. 양이 보청기 뿐만 아니라, 양이 인공와우, 인공와우-보청기 등 양이에 착용하는 청각보조기기에 적용하여 방향성 정보를 제공할 수 있으며, 최근 지자기 센서가 내장된 스마트폰과 연계된 화자-청각보조기기 사용자와의 통신에서도 위치 정보를 제공할 수 있는 방식으로 사용될 수 있으리라 기대된다.

References

- [1] Levitt H, "Noise reduction in hearing aids: a review," *J Rehabil Res Dev*, vol. 38, no. 1 pp. 111-121, 2001.
- [2] Ricketts TA, "Directional hearing AIDS," *Trends Amplif*, vol. 5, no. 4 pp. 139-176, 2001.
- [3] Luts H, Maj JB, Soede W, and Wouters J, "Better speech perception in noise with an assistive multimicrophone array for hearing AIDS," *Ear Hear*, vol. 25, no. 5 pp. 411-420, 2004.
- [4] Appleton J and Konig G, "Improvement in speech intelligibility and subjective benefit with binaural beamformer technology," *Hearing Review*, vol. 21, no. 10 pp. 40-42, 2014.
- [5] Schreurs KK and Olsen WO, "Comparison of monaural and binaural hearing aid use on a trial period basis," *Ear Hear*, vol. 6, no. 4 pp. 198-202, 1985.
- [6] Nabelek AK and Pickett JM, "Monaural and binaural speech perception through hearing aids under noise and reverberation with normal and hearing-impaired listeners," *J Speech Hear Res*, vol. 17, no. 4 pp. 724-739, 1974.
- [7] Ceulaer GD, Bestel J, Mulder HE, Goldbeck F, Varebeke SPJd, and Govaerts PJ, "Speech understanding in noise with the Roger Pen, Naida CI Q70 processor, and integrated Roger 17 receiver in a multi-talker network," *Eur Arch Otorhinolaryngol*, vol. 273, no. 5 pp. 1107-1114, 2015.
- [8] Middlebrooks JC and Green DM, "Sound localization by human listeners," *Annu Rev Psychol*, vol. 42, pp. 135-159, 1991.
- [9] Yost WA, "Sound Localization and Binaural Hearing," in *Fundamentals of Hearing: an introduction: Fifth Edition*, ed: Academic Press, Elsevier, Inc., 2013.
- [10] Perrott DR and Saberi K, "Minimum audible angle thresholds for sources varying in both elevation and azimuth," *J Acoust Soc Am*, vol. 87, no. 4 pp. 1728-1731, 1990.
- [11] Grantham DW, Hornsby BWY, and Erpenbeck EA, "Auditory spatial resolution in horizontal, vertical, and diagonal planes," *J Acoust Soc Am*, vol. 114, no. 2 pp. 1009-1022, 2003.
- [12] Van den Bogaert T, Klasen TJ, Moonen M, Van Deun L, and Wouters J, "Horizontal localization with bilateral hearing aids: without is better than with," *J Acoust Soc Am*, vol. 119, no. 1 pp. 515-526, 2006.
- [13] Gebre-Egziabher D, Elkaim GH, Powel JD, and Parkinson BW, "Calibration of strapdown magnetometers in magnetic field domain," *J Aerospace Eng*, vol. 19, no. 2 pp. 87-102, 2006.
- [14] Xisheng L, Ruiqing K, Xiongying S, and Guanghua Y, "Tilt-Induced-Error Compensation for 2-Axis Magnetic Compass with 2-Axis Accelerometer," in *2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering*, USA, 2009, pp. 122-125.