ASR
pISSN 2635-5019 / eISSN 2635-5027 / Audiol Speech Res 2025;21(1):25-32 / https://doi.org/10.21848/asr.240176
RESEARCH PAPER

Comparison of in-the-Ear Hearing Aids Made with Ear Impressions and Digital Medical Imaging: Preliminary Study

Hyeong Gyun Kim

Department of Radiological Science, Gimcheon University, Gimcheon, Korea

Received: December 20, 2024
Revised: January 12, 2025
Accepted: January 17, 2025

Correspondence:
Hyeong Gyun Kim, PhD
Department of Radiological Science, Gimcheon University, 214 Daehak-ro, Gimcheon 39528, Korea
Tel: +82-54-420-4177
Fax: +82-54-420-4462
E-mail: jung7818@hanmail.net

Purpose: To compare the fit and acoustic performance of hearing aids fabricated using digital medical imaging (DMI) with those produced using the conventional ear impression method. **Methods:** The participants included individuals with normal hearing (one ear) and those with moderate to severe hearing loss (five ears). Ear canal models were created using DMI and the ear impression method. Hearing aids were then fabricated through 3D printing, and the shell shape, wearing satisfaction, functional gain, and reserve gain of both methods were compared. **Results:** The results showed morphological differences in the hearing aids produced by the two methods, particularly in the shell surface and the sizes of specific features (concha, tragus). More participants reported that the DMI hearing aids felt "slightly loose" in the ear canal after fitting. The sense of closure, an indicator of psychological discomfort, was more pronounced with the ear impression method. The DMI method also achieved higher functional and reserve gain values, suggesting relatively better acoustic characteristics. **Conclusion:** The feasibility of manufacturing DMI in-the-ear hearing aids was confirmed. With proper quality control in future manufacturing methods, it may be possible to mitigate safety concerns, such as infections and eardrum damage, associated with traditional ear impression techniques.

Key Words: In-the-ear hearing aid, Ear impression, Digital medical imaging (DMI), Functional & reserve gain, External auditory canal (EAM).

INTRODUCTION

최근 보청기 제조 기술들은 전통적인 몰드 형태와 3D 프린팅을 적용한 방법들이 혼합되는 형태로 발전하고 있다. 3D 프린팅 기술은 귓본을 3D 스캔하여 디지털 데이터로 모델링하고 3D 프린터로 출력하여 쉘을 제조하는 방법이다(Cortez et al., 2014; Jarng, 2011; Kim, 2016b). 그러나 이러한 귓속형 보청기 기술들은 모두가 개인 외이도에 귓본(impression) 채취하는 방법으로 보청기를 제조하고 있다(Kim, 2016b). 이러한 이유로 귓본 채취 과정에서 감염과 고막 손상, 삽입 귓본이 제거되지 않는 응급 상황이 발생되기도 하며 실제 보청기 제작 후 귓본 크기가 맞지 않아 헐겁거나 통증을 유발하는 사례들도 있다. 보청기 만족도 조사에 의하면 응답자의 24%에서 보청기 크기가 맞지 않아 통증이 유발되는 사례들이 보고되고 있다(An et al., 2011; Kim, 2016b). 또한 사용자의 불만으로 다시 제공되는 사례를 포함한다면 이보다 더 높다고 할 수도 있다. 이는 사용자에게 보청기 착용이 적응되기 전에 나타나는 불편일 수도 있겠지만 많은 제조공정에 의한 기술자의 의존도와 귓본 채취 후 경화 과정의 물질변형으로 나타나는 환경요인도 있을 수 있다.

최신 보청기 기술 동향에서 Park & Baek(2014)은 보청기가 아날로그에서 디지털 보청기 시대로 전환되면서 그 성능과 기능이 크게 발전하였다고 소개하고 있으며, Ku et al.(2013)은 보청기가 세밀한 청각손실을 보상하기 위해 다수 채널 사용에 의한 연산량을 줄이고 상호간섭(aliasing)을 최소화할 수 있는 기술들을 소개하고 있다. 또한 Akhtar & Nishihara(2013)는 디지털 보청기의 필터 알고리즘 개발로 최신 음향 되울림 제거 방법들을 소개하고 있다. 이와 같이 최근의 보청기 연구 동향들은 대부분 보청기 S/W 기술에 초점을 맞추고 있으며 H/W 부분의 제조 연구들은 많이 부족한 편이다. 이러한 성능 변화가 음질 개선에 효과가 높겠지만 보청기의 특성상 장시간 착용하는 사용자 입장에서 맞춤형 형태도 매우 중요하다고 할 수 있다. 이에 본 연

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

구에서는 의료영상기반(digital medical imaging, DMI) 데이터를 이용하여 귓속형 보청기를 제조 후 기존 귓본 보청기와 비교하는 예비 연구를 하였다. 이러한 DMI 방법은 외이도의 변화가 이루어지지 않은 자연 상태에서 외이도 모델링이 가능하기 때문에 개인 맞춤형에 보다 효과적일 수 있으며 고막 근처 귓본 채취가 어려운 초소형 보청기 제작에 유리할 것이라는 판단 때문에 연구를 하게 되었다. 본 연구는 DMI 방법으로 외이도를 추출하는 맞춤형 보청기 융합기술에 주안점을 두었으며 기존 연구의 기초적 실험들을 보완하여 기술하고자 하였다(Kim, 2017 & 2019). 보청기 제조에서 DMI 방법은 인체 외이도 단면을 3차원 표면 모델링으로 추출하는 기술(Choi & Kim, 2009; Kim & Goo, 2016)과 이를 입체적으로 출력할 수 있는 3D 프린팅 기술이 가능하기 때문이다(Kim et al., 2016; Kim, 2019; Rengier et al., 2010). 본 연구에서는 이러한 기술들을 바탕으로 DMI 방법을 통한 보청기 제조 가능성을 확인하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

전체 실험 방법

본 연구는 임상실험연구(Institutional Review Board, IRB)의 승인(FEUIRB-180402-01-4)을 받은 정상 청력인(1귀)과 중고도 난청 참여자(5귀)를 대상으로 하였다. 정상 청력인은 ISO(2017)의 기준에 따라 이학적으로 정상적인 상태를 대학병원 이비인후과 전문의 진료 및 검사 후 진행하였으며 Table 1은 참여자들의 정보 및 순음청력 검사(pure tone audiometry, PTA) 결과이다. 실험은 Figure 1과 같이 기존 귓본 채취 과정과 DMI 방법으로 각각 모델링된 외이도를 보청기 제조에 맞게 시뮬레이션하여 3D 프린팅 출력하는 동일 방법을 적용하였다. 단, Figure 1에서 제시된 귓본(ear impression)으로 몰드를 만드는 인베스트먼트(investment)의 전통적 방법은 실험 범위에 포함되지 않았다.

귓본(impression) 및 DMI 방법의 적용 모델링

귓본 방법은 보청기 제조사 교육팀 경력(20년)의 전문가에 의해 외이도 확인, 이어코튼 삽입(고막 보호), 인상재 믹스, 인상재 주입, 인상재 굳은 후(약 5분) 빼는 방법으로 귓본 획득 후 3D 스캐너(DS Production; Smart optics, Bochum, Germany) 장치에서 스캔된 데이터를 제조사에서 디지털 모델링 프로그램(3Shape, Copenhagen, Denmark)으로 invisible-in-canal, in-the-canal type에 맞도록 보청기 쉘 편집을 거친 후 3D 프

Table 1. General information about the experimental participant

Classification	Gender	Age (yr)	Target ear	PTA (dB)	HA type	Comparative evaluation of ear impression and DMI methods			
						Shell shape	Participant evaluation	Funtional gain	Real ear insertion gain
A	M	45	L	3.3	ITC	Y	Y	N	Y
B	M	39	L	56.7	ITC	Y	Y	N	Y
C	M	66	L	43.3	ITC	Y	Y	Y	N
D	M	81	L	37.5	IIC	Y	Y	Y	N
E	F	88	R	43.3	ITC	Y	Y	Y	N
F	F	71	R	50.8	IIC	Y	Y	Y	N

PTA: pure tone audiometry, HA: hearing aid, DMI: digital medical imaging, M: male, L: left, ITC: in-the-canal, Y: yes (a comparative evaluation was conducted), N: no (no comparative evaluation was conducted), IIC: invisible-in-canal, F: female

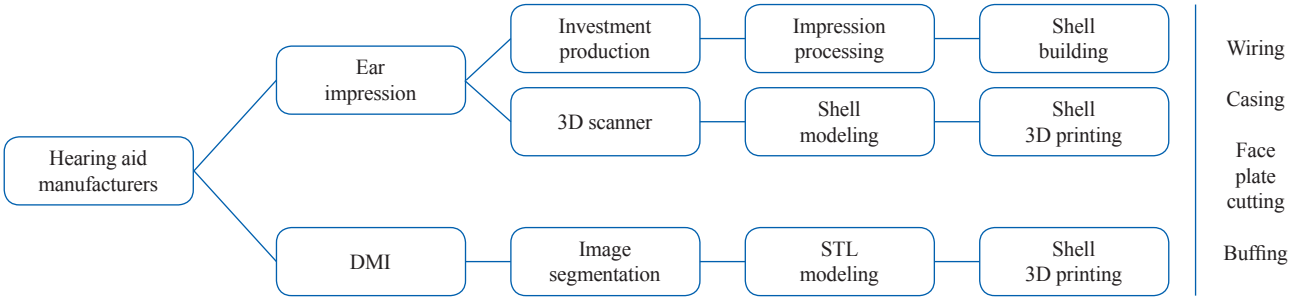


Figure 1. The process of manufacturing an in-the-ear hearing aid. DMI: digital medical imaging, 3D: three-dimensional, STL: standard triangulated language.

린팅 방법에 의해 제작하였다. DMI 방법은 전산화단층촬영(computed tomography) 장치인 640 Multislice Computed Tomography (Aquilion ONE; Toshiba, Otawara, Japan)에서 검사된 참여자의 0.5 mm 두부(brain) 영상 볼륨 데이터를 이용하여 외이도 내 공기(air)와 연부조직(soft tissue)을 구분하는 영상 세분화(image segmentation) 분할 기술을 적용하여 고막(eardrum)까지 추출하였다.

비교평가실험

Figure 2 와 같이 귓본과 DMI 방법으로 각각 제조된 보청기의 쉘 표면과 쉘 크기, 실제 착용 상태에서의 폐쇄감(occlusion), 착용감(comfort), 음향적 특성(sound acoustics)에 대해 리컷트(Likert) 척도(5점) 만족도로 평가하였다. 평가는 최초 착용, 그 후 1주 간격으로 교체 착용 후 4번의 주기를 평가한 결과를 바탕으로 하였으며 정상인(A)은 본인 의사에 의해 교체 착용하는 실험은 하지 않았으며 대조군과 비교하는 예비이득(reserve gain) 실험에 참여하여 평가하였다. 또한 음장 검사(sound field test)를 통한 기능이득(funtional gain)과 실이측정(real ear measurement)을 통한 예비이득(reserve gain) 값을 비교하여 실험 결과로 나타냈다. 비교된 모든 값의 통계처리는 SPSS version 12.0 프로그램(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하였으며 유의수준 0.05로 검정하였다.

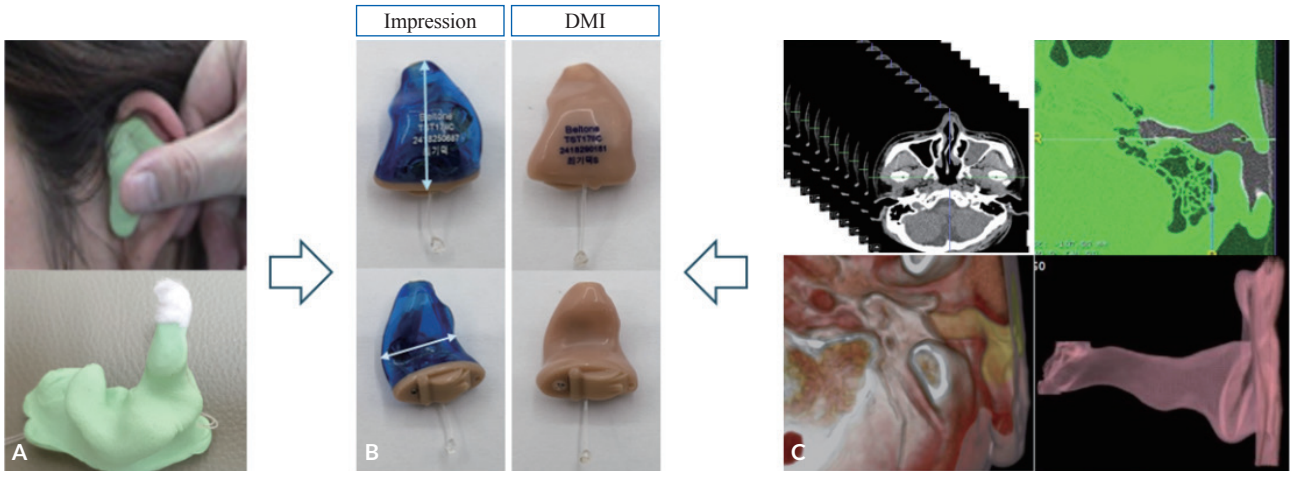


Figure 2. Comparison of hearing aid manufacturing methods and shell shapes. (A) The figure shows the ear impression method, (B) the figure shows the measurement of the longitudinal and transverse lengths of hearing aids manufactured using the two methods, and (C) the figure shows the digital medical imaging (DMI) method.

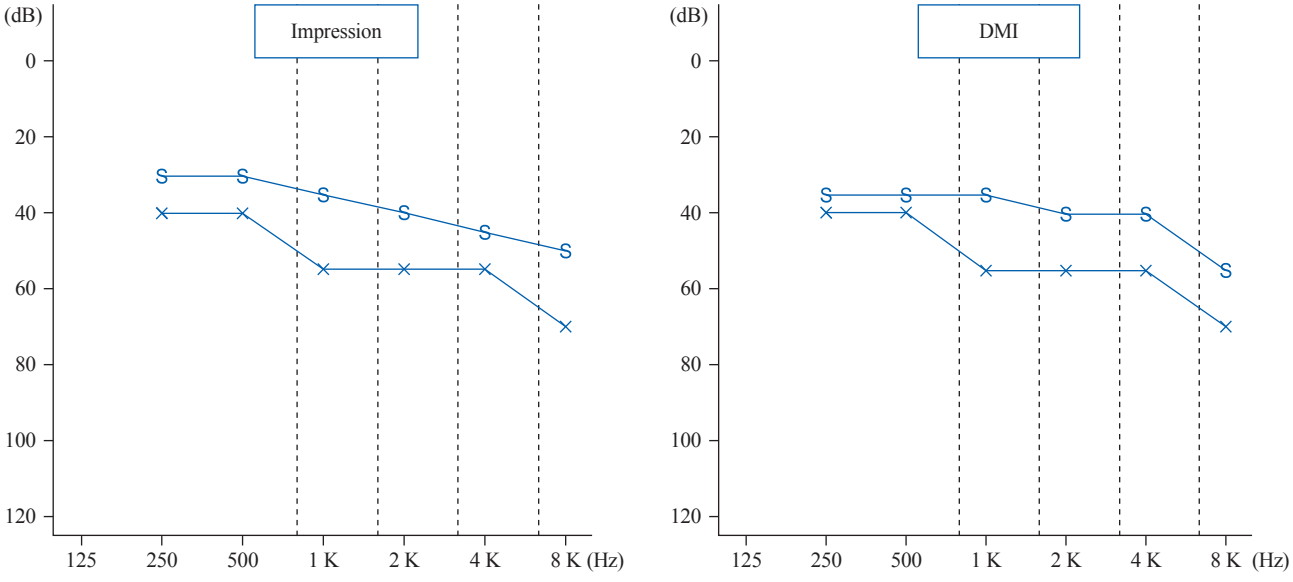


Figure 3. Comparison of sound field test and functional gain by experimental method. Hearing measurement values from sound field test after wearing a hearing aid. DMI: digital medical imaging.

또한, 귓본 채취와 DMI 방법으로 각각 제조된 귓속형 보청기 착용 후 음향적 특성(sound acoustics)을 비교하였으며 Figure 3은 참여자의 음장 검사(sound field test) 그래프를 보여주고 있다.

RESULTS

보청기 형상 비교

쉘 표면

Figure 4는 보청기 쉘의 표면 형태로 귓본(Figure 4A, C)과 DMI 방법(Figure 4B, D)으로 제조된 보청기의 경사진 전면부(front)와 후면부(rear)를 나타내고 있다. 후면부 Figure 4C, D는 인체 해부학적 기준으로 후두부(occipital) 방향, 전면부 Figure 4A, B는 얼굴(face) 방향으로 앞뒤 두께를 포함하여 나타내고 있다. 귓본 방법(Figure 4C)은 DMI 방법(Figure 4D)에 비해 후면부 이갑개(Figure 4C, black arrow)는 언덕 형태로 두툼하게 외이도 2nd 위치(Figure 4D, black arrowhead)는 굴곡(bending) 형태가 보다 선명하게 나타났다. 또한 전면부 앞뒤방향 두께는 DMI 방법(Figure 4B)에서는 얇게(red arrow), 이주(tragus)의 외이도 내측면(red arrow and arrowhead)에서는 오목(fossa) 형태로 나타났다.

쉘 크기

Table 2는 쉘 형태 크기(length, width, and face plate)를 분석한 결과를 나타내고 있다. 실험군 4귀에서 제조된 보청기 모두 face plate 크기는 동일하였으나 장축 길이는 DMI에서 평균 3.6 mm 길게, 직각 방향의 폭은 E 참여자를 제외하고 impression 방법에서 모두 크게 나타났다.

만족도 평가

동일 프로그램(Muse iQ 1600; Starkey, Eden Prairie, MN, USA)에서 피팅(fitting)된 보청기를 1주일 간격으로 교체 착용하는 방법으로 각각 4번 평가하고 분석하여 Table 3과 같이 나타냈다. 결과적으로 보청기 착용 시 참여자가 느끼는 폐쇄감(occlusion)은 귓본 보청기에서는 높게, DMI 보청기에서는 상대적으로 낮게 나타났다. 착용감(comfort)은 귓본 방법의 보청기(일부 빡빡하다)에서 대체적으로 만족도가 높은데(like) 비해 DMI 보청기에서는 대부분 '헐겁다'는 평가 결과가 나타났다. 또한 참여자들이 듣는 음향적 특성은 DMI 보청기에서 선명하고 울림이 덜 하다고 하였다. 리컷트(Likert) 척도 평가에서 DMI

Table 2. Comparison of hearing aid earshell size and shape by earmold and digital medical imaging (DMI) methods

Classification	HA type	Method	Impression: DMI
C	ITC	Length	< 4 mm longer
		Width	>
		Face plate	Same
D	IIC	Length	Same
		Width	> 2 mm smaller
		Face plate	Same
E	ITC	Length	< 5 mm longer
		Width	Same
		Face plate	Same
F	IIC	Length	< 3 mm longer
		Width	>
		Face plate	Same

HA: hearing aid, ITC: in-the-canal, IIC: invisible-in-canal

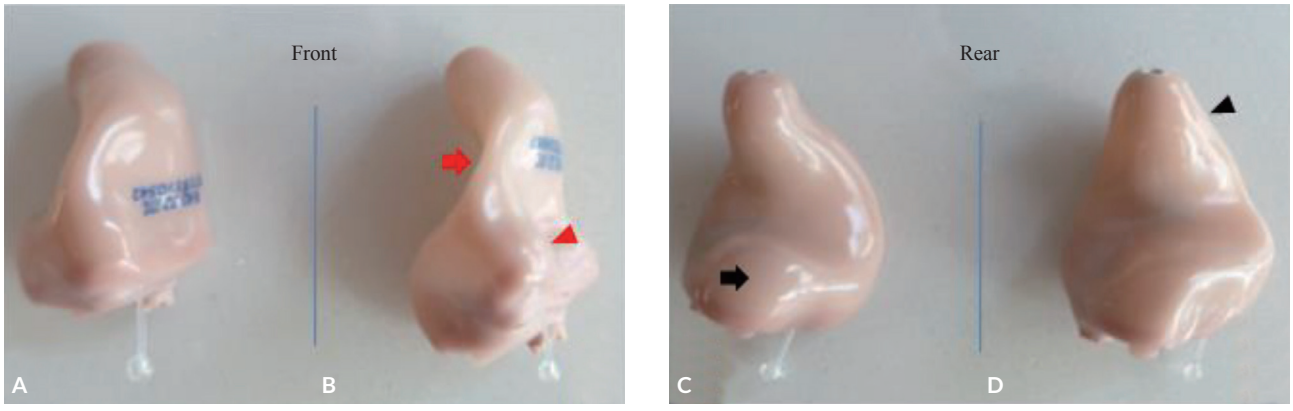


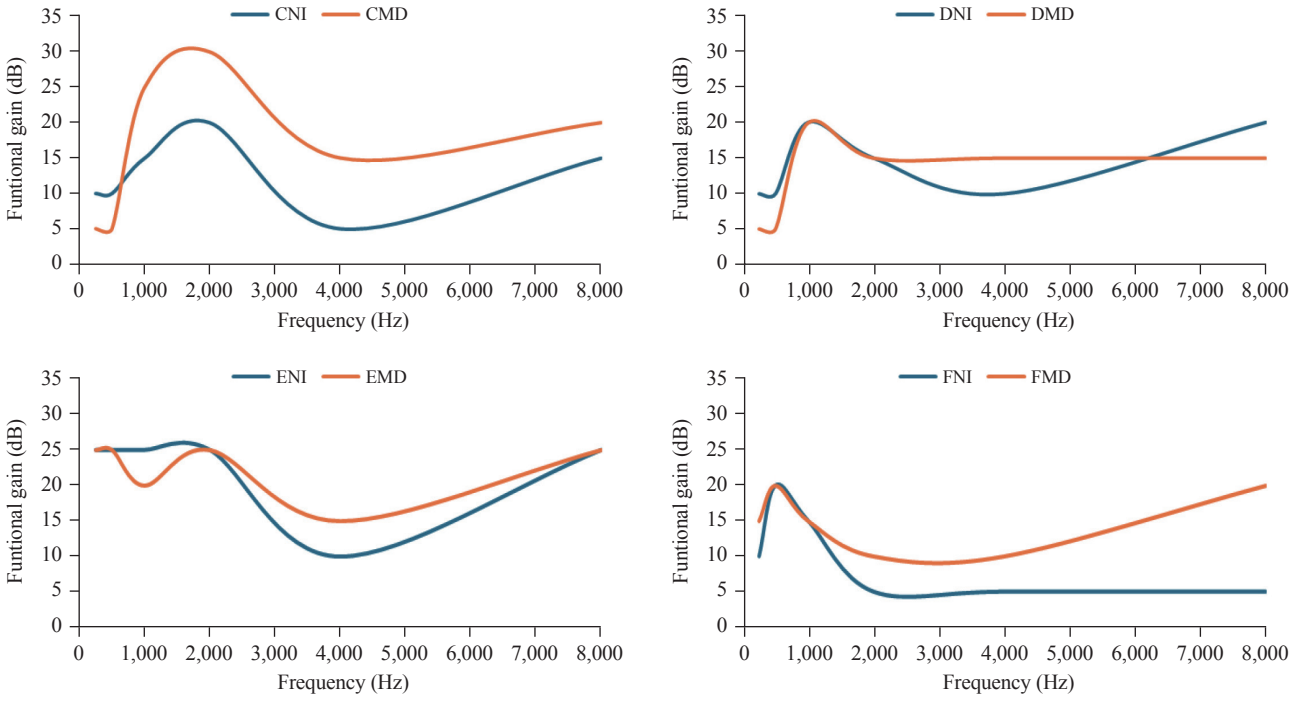
Figure 4. Comparison of hearing aid earshell surface shapes by earmold and digital medical imaging methods. (A, C) are hearing aids manufactured by the earmold method, and (B, D) are hearing aids manufactured by the DMI method. The black arrow in (C) indicates the conchae, and the black arrowhead in (D) indicates the 2nd location of the external auditory canal. The red arrow & arrowhead in (B) indicate that the shape appears thin and concave. DMI: digital medical imaging.

보청기의 불만족(dissatisfaction)이 다수 그룹에서 나타났지만 만족도에 대한 대응 표본 통계량(평균) t 검정에서는 귓본 보청기(3.00)와 DMI 보청기(3.80) 간에 유의미한 차이(t = 4.000; $p < 0.05$)가 있고, DMI 보청기에서 조금 더 높게 나타났다.

Table 3. Evaluation of the wearing condition after fitting of hearing aids manufactured using ear molds and digital medical imaging (DMI) method

Classification	HA type	Method	Occlusion	Comfort	Sound acoustics	Overall subjective evaluation (Likert scale)
B	ITC	Impression	High	Tight	Like	Usually
		DMI	Middle	Loose	Like	Usually
C	ITC	Impression	High	Like	Little echo	Usually
		DMI	Low	Loose	Like	Dissatisfaction
D	IIC	Impression	Middle	Like	Many echo	Usually
		DMI	Middle	Like	Little echo	Satisfaction
E	ITC	Impression	Middle	Like	Sounds loud	Usually
		DMI	Low	Loose	Like	Dissatisfaction
F	IIC	Impression	Middle	Like	Like	Usually
		DMI	Low	Loose	Like	Dissatisfaction

HA: hearing aid, ITC: in-the-canal, IIC: invisible-in-canal



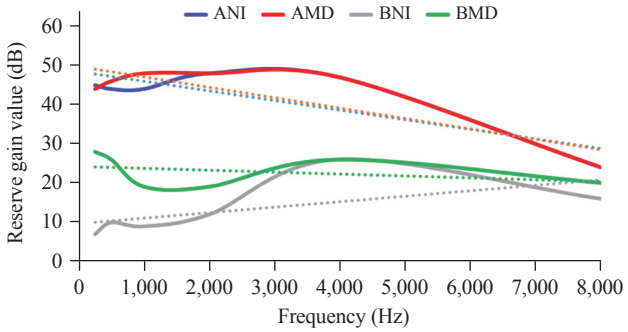
Frequency (Hz)	CNI	CMD	DNI	DMD	ENI	EMD	FNI	FMD
250	10	5	10	5	25	25	10	15
500	10	5	10	5	25	25	20	20
1,000	15	25	20	20	25	20	15	15
2,000	20	30	15	15	25	25	5	10
4,000	5	15	10	15	10	15	5	10
8,000	15	20	20	15	25	25	5	20

Figure 5. Comparison of functional gains through sound field tests. The blue lines (CNI, DNI, ENI, FNI) in the graph represent the functional gains of hearing aids manufactured by the ear mold method. Also, the red lines (CMD, DMD, EMD, FMD) in the graph represent the functional gains of hearing aids manufactured by the DMI method. DMI: digital medical imaging.

기능이득(funtional gain) 및 예비이득(reserve gain)

기능이득(funtional gain)

음장 검사(sound field test)를 통한 기능이득(funtional gain) 값을 Figure 5와 같이 비교하여 나타냈다. 각 그룹의 대응 표본 t 검정 결과 C 그룹에서 CNI (12.50)와 CMD (16.67) 간에는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(t = -1.387; p < 0.05). F그룹에서도 FNI (10.00)와 DMD (15.00) 간에는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(t = -2.236; p < 0.05). D그룹에서는 DNI (14.17)와 DMD (12.50) 간에는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(t = 1.000; p < 0.05). 이러한 평균 통계량 결과로 볼 때 C, F그룹에서는 DMI 방법을 통한 기능이득 값이 높고 D그룹에서는 귓본 방법의 기능이득 값이 높았다. 하지만 E그룹은 ENI (22.50)와 EMD (22.50) 간에는 유의미한 차이가 없었다(t = 0.000; p > 0.05). Figure 5의 그래프에서는 일상생활의 가청주파수 영역인 1 K에서 4 K (Hz) 영역에서 DMI 보청기의 기능이득 값이 뚜렷이 높음을 알 수 있다.



Frequency (Hz)	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
ANI	45	44	44	48	47	24
AMD	44	46	48	48	47	24
BNI	7	10	9	12	26	16
BMD	28	26	19	19	26	20

Figure 6. Preliminary gain evaluation according to ear mold and DMI method. In the graph, blue and gray (ANI, BNI) represent the preliminary gain values of the ear impression method, and red and green (AMD, BMD) represent the preliminary gain values of the DMI method. In addition, red and blue represent the preliminary gain values of the normal person (A), and green and gray are the preliminary gain graphs of the control group (B, hearing impaired). DMI: digital medical imaging.

예비이득(reserve gain)

Figure 6과 같이 revers type의 PTA (6분법)으로 예비이득(reserve gain)을 측정한 정상 청력 기반의 귓속형 보청기(빨강색, 파랑색)는 주파수별 예비이득(reserve gain)이 전체이득(full on gain) 범위로 각 방법에 대한 차이가 없었지만 대조군인 난청인 보청기(초록색, 회색)의 DMI 방법에서는 예비이득(reserve gain)이 4~21 dB (250~3,600 Hz) 더 높은 결과를 나타냈다. 대응표본 t 검정 결과 정상인의 ANI (42.00)와 AMD (42.833) 간에는 유의미한 차이가 없었지만 (t = -1.112; p > 0.05), BNI (13.33)와 BMD (23.00) 간에는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타나(t = -3.050; p < 0.05), 난청인의 경우 DMI 방법에서 귓본 보청기보다 예비이득(reserve gain)을 더 높일 수 있는 것으로 판단된다.

DISCUSSIONS

본 연구에서 의료영상 기반 DMI 기술은 Figure 7과 같이 인체 내부의 기저 질환뿐만 아니라 고막까지의 용적(volume), 2nd 굴곡 이후의 외이도 방향성을 확인할 수 있어(Figure 7C) 보청기 쉘 크기 및 리시버 방향 설정에 매우 유리하였다.

본 연구 실험은 중고도 난청 참여자에게 폐쇄감, 착용감 등의 만족도 차이를 비교한 후 DMI 방법을 통한 보청기 제조 가능성을 판단해 보고자 하였다. 보청기는 개인 맞춤화가 매우 중요하기 때문에 동일인에 대한 쉘 형상 비교가 필요하다. 쉘 형상 비

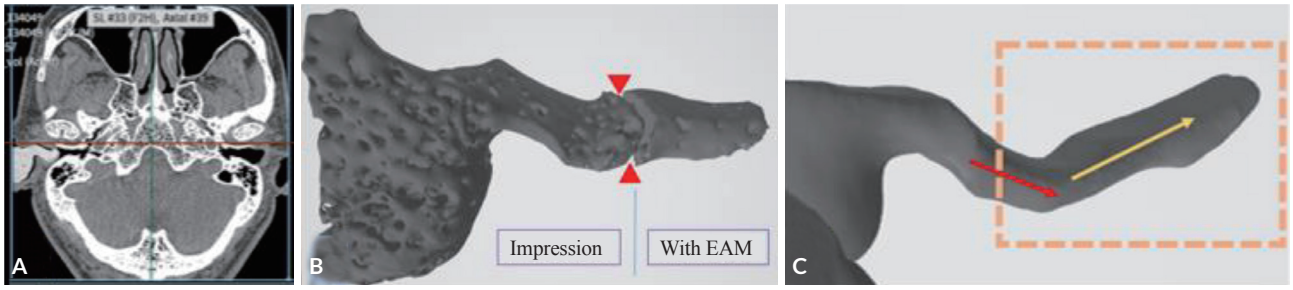


Figure 7. Information on spatial modeling of the external auditory canal (EAM) by the DMI method. In the image, (A) is a computed tomography image including the ear mold, and (B) shows the ear mold area (red arrowheads) and the entire external auditory canal. In addition, (C) shows that the external auditory canal (red arrow) is significantly bent toward the tympanic membrane (yellow arrow) after the second bend. DMI: digital medical imaging.

교는 보청기 장축이 고막 가까이 접근할 수 있고 착용 후 음향적 만족도가 높게 나오는 것이 이상적 비교 방법이라 판단하였다. 따라서 음향적 특성을 확인하기 위해 기능이득(funtional gain) 및 예비이득(reserve gain) 값을 비교하여 동일인에 대해 귓본과 DMI 기술 방법이 음향적으로 어떻게 비교되는지 근거를 제시하고 싶었다. 하지만 본 연구 실험에 의한 통계 검정을 신뢰도 있게 제시하기에는 샘플 수가 낮아 예비 연구(preliminary study) 비교로 제한하였다. 낮은 샘플 수는 기능이득(funtional gain) 실험 결과에서도 보여주듯이 4그룹(C, D, E, F) 중 3그룹에서 두 가지 방법이 통계적으로 유의미한 차이는 있지만 그룹 간 상반되는 결과가 나타나 실험 모수를 높여야 하는 이유를 설명하고 있다.

2014년 장애인 실태 조사에 따르면 청각장애인의 57.1% (2008년), 60.4% (2011년), 61.8% (2014년)에서 보청기 사용이 점차 증가하였지만 보청기에 만족하며 지속적으로 사용하는 경우는 절반에도 미치지 못하고 있다(Kim, 2016a). 그 이유로는 보청기 착용이 기대한 만큼 큰 효과가 없고 착용하기 불편하며 부정적인 사회적 인식과 기기의 저조한 품질 상태라고 조사되었다(Kim, 2016a). 이와 같이 일상적으로 사용해야 하는 난청인에게 보청기 착용 상태는 매우 중요하다. 본 연구에서는 두 가지 방법에 대한 만족도 결과 대응 표본 통계량(평균) t 검정에서 귓본 보청기(3.00)와 DMI 보청기(3.80) 간에 유의미한 차이($t = 4.000$; $p < 0.05$)가 나타났지만 새로운 기술(DMI 방법)에 대한 정도 관리(quality control) 연구가 많이 필요한 부분이라 판단된다.

최근 보청기 귓본 획득 방법은 외이도 내 실리콘 주입 과정에서 두려움, 불쾌감, 감염, 고막 손상 위험이 많다. 이는 귓본 획득 과정에서 실리콘이 고막 안전에 심각한 손상을 줄 수도 있으며 경우에 따라서 외이도 내부가 넓어 귓본 제거가 되지 않는 응급 상황이 발생할 수도 있다. 이에 반해 본 연구에서 실험된 DMI 방법은 기존 귓본 획득 과정에서 발생되는 감염의 우려와 특이한 외이 형태에 대한 예측 적용이 가능하여 안전상의 문제점들이 상대적으로 낮다고 할 수 있다. 또한 귓본 획득 시 외부적 압력이 없고 이물질이 없는 자연 상태의 외이도 추출이 가능하여 정밀성을 높일 수 있는 기술이라 판단한다. 하지만 본 연구 실험에서는 DMI 방법으로 제조된 보청기가 귓본 방법에 비해 착용감(confort)에서 '헐겁다'라고 했다. 아마도 이는 의료영상 획득 시 자연 상태에서 외이도 모델링이 추출되었기 때문이라 판단되며 향후 의료영상 데이터 획득 시 영상(image)의 두께 변화, 영상 세분화(image segmentation) 알고리즘 분석, 쉘 모델링 편집, 3D 프린팅 적층 기술 연구들이 추가 실험되면 충분히 정도관리될 수 있으리라 본다. 또한 귓본 방법에서 착용자의 폐쇄감(occlusion)이 더 높게 나타난 이유는 귓본 채취 압력으로 높은 크기의 정보값으로 모델링에 반영된 결과로 판단된다. DMI 방법에서 기능이득(funtional gain)과 예비이득(reserve gain) 값이 상대적으로 높았는데 이는 고막 가깝게 쉘을 디자인할 수 있는 기술이 가능하기 때문이며 이는 소리를 증폭시킬 수 있는 유리한 조건에 해당된다. 따라서 보청기가 깊게 삽입되면 에코(또는 폐쇄 효과)가 낮게 발생되는 장점이 될 수도 있다.

본 연구에서 DMI 영상의 3차원 시각화는 인체 질병 진단, 외과적 수술 계획, 모의수술, 방사선치료계획(radiation treatment planning), 중재적(interventional) 시술 및 영상유도수술(image guided surgery)에 효과적으로 이용되고 있다(Lee et al., 2013; Robb, 2000). 이는 인체와 동일한 3차원 시각화가 가능하여 질병을 진단하고 치료하는 데 중요한 역할을 하기 때문이다(Lee et al., 2019). 이러한 인체의 3차원 시각화 기능으로 외이도에 적용된 맞춤형 보청기 제조 기술에 앞으로도 많이 응용되길 기대한다.

인체 질병 진단과 치료에 응용되는 DMI 기술을 활용하여 외이도 내부를 추출하는 새로운 보청기 제조 기술을 실험하고 기존 귓본 방법과 비교된 쉘의 형상, 착용 만족도, 기능이득(funtional gain) 및 예비이득(reserve gain)의 음향적 특성을 분석하였다. 그 결과 보청기 쉘 폭이 귓본 방법에 비해 얇아 실제 착용 시 폐쇄감이 낮고 '약간 헐겁다'는 착용 상태를 보였으나 고막 가까이 형상 정보를 나타낼 수 있어 상대적으로 더 깊게 보청기 쉘을 제조할 수 있었다. 결과적으로 DMI 방법의 귓속형 보청기 제조 시 귓본을 안전하고 더 깊게 채취할 수 있어 보청기 착용 시 청력의 개선 및 에코(occlusion) 개선에 효과적이라 판단된다. 향후 DMI 기술이 보편적으로 정도관리된다면 기존의 귓본 방법에서 일어날 수 있는 감염, 고막 손상 등을 보완할 수 있는 새로운 기술이 되리라 확신한다.

중심 단어: 귀속형 보청기, 귓본 채취, 디지털 의료영상, 기능 & 예비이득, 외이도.

Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board at the university (FEUIRB-180402-01-4).

Acknowledgments

Author thank to all participants.

Declaration of Conflicting Interests

There is no conflict of interests.

Funding

This work was supported by the Gimcheon University Research Grant of 2023 (gc23009).

Author Contributions

Conceptualization: Hyeong Gyun Kim. Data curation: Hyeong Gyun Kim. Formal analysis: Hyeong Gyun Kim. Methodology: Hyeong Gyun Kim. Writing—original draft: Hyeong Gyun Kim. Writing—review & editing: Hyeong Gyun Kim.

ORCID iD

Hyeong Gyun Kim https://orcid.org/0000-0001-8178-9637

REFERENCES

Akhtar, M. T. & Nishihara, A. (2013, May 19-23). *Acoustic feedback neutralization in digital hearing aids—A two adaptive filters-based solution*. IEEE Xplore. Retrieved from https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6571897.

An, J. H., Kim, Y. H., & Seo, H. S. (2011). Domestic aids use of hearing loss and failure analysis. *State Institute of Health and Medical Research Report*, 1-273.

Choi, S. Y. & Kim, C. S. (2009). Surface rendering in abdominal aortic aneurysm by deformable model. *The Journal of the Korea Contents Association*, *9(6)*, 266-274.

Cortez, R., Dinulescu, N., Skafte, K., Olson, B., Keenan, D., & Kuk, F. (2004). Changing with the times: Applying digital technology to hearing aid shell manufacturing. *Hearing Review*, *11(3)*, 30-41.

ISO. (2017, Jan 9). *Acoustics — statistical distribution of hearing thresholds related to age and gender*. ISO. Retrieved from https://www.iso.org/standard/42916.html.

Jarng, S. S. (2011). Digtal hearing aid face plate manufacturing using FPCB, The Korean Institute of Electrical Engineers. *Information and Control Symposium*, 335-336.

Kim, G. B., Lee, S., Kim, H., Yang, D. H., Kim, Y. H., Kyung, Y. S., et al. (2016), Three-dimensional printing: Basic principles and applications in medicine and radiology. *Korean Journal of Radiology*, *17(2)*, 182-197.

Kim, G. G. (2016a). An analysis study of features for hearing aid satisfaction questionnaires: Satisfaction with amplification in daily life, client oriented scale of improvement, international outcome inventory for hearing aids (master's thesis). Chuncheon: Hallym University.

Kim, H. G. (2016b). A novel modeling method for manufacturing hearing aid using 3D medical images. *Journal of Radiological Science and Technology*, *39(2)*, 257-262.

Kim, H. G. (2017). A study of the characteristics of the human external auditory canal using 3-dimensional medical imaging. *Journal of the Korean Society of Radiology*, *11(6)*, 467-473.

Kim, H. G. (2019). A study on the acoustic analysis method of the external ear canal using DICOM images. *Journal of the Korea Convergence Society*, *10(3)*, 73-79.

Kim, K. B. & Goo, E. H. (2016). Image evaluation for a kind of patient fixing pad in 64 multi-channel detector computed tomography. *Journal of the Korea Convergence Society*, *7(1)*, 89-95.

Ku, Y., Sohn, J., Han, J., Baek, Y., & Kim, D. (2013). A high performance hearing aid system with fully programmable ultra low power DSP. *International Conference on Consumer Electronics*, 352-353.

Lee, J. K., Kim, Y. M., & Kim, D. Y. (2013). Segmentation and visualization of human anatomy using medical imagery. *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, *8(1)*, 191-197.

Lee, S., Kim, T., Hong, D., Ock, J., Kwon, J., Gwon, E., et al. (2019). A review of three-dimensional printing technology for medical applications. *Journal of the Korean Society of Radiology*, *80(2)*, 213-225.

Park, Y. C. & Baek, Y. H. (2014). Trends in the latest digital hearing aid technology. *Korea Information Processing Society Review*, *21(5)*, 35-41.

Rengier, F., Mehndiratta, A., Von Tengg-Kobligk, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H. U., et al. (2010). 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, *5*, 335-341.

Robb, R. A. (2000). Virtual endoscopy: Development and evaluation using the visible human datasets. *Computerized Medical Imaging and Graphics, 24(3)*, 133-151.