

모바일 기기의 청각 UI 착용성 향상을 위한 3차원 귀 형상 기반 이어폰 설계

Development of a 3D Ear Scan Based Earset Design for Effective Fit of Auditory User Interface in Mobile Devices

최영근

Younggeun Choi

포항공과대학교 산업경영공학과
IME POSTECH
sidek@postech.ac.kr

정하영

Hayoung Jung

포항공과대학교 산업경영공학과
IME POSTECH
niceterran36@postech.ac.kr

이원섭

Wonsup Lee

델프트공과대학교
Delft University of Technology
w.lee@tudelft.nl

길혜진

Hyejin Kil

LG 전자
LG Electronics.
hyejin.kil@lge.com

배진완

Jinwan Bae

LG 전자
LG Electronics.
jw.bae@lge.com

유승훈

Seunghoon Ryu

LG 전자
LG Electronics.
huniro.ryu@lge.com

서기열

Kiyeal Seo

LG 전자
LG Electronics.
sky.seo@lge.com

이정훈

Junghoon Lee

LG 전자
LG Electronics.
jungh.lee@lge.com

유희천

Heecheon You

포항공과대학교 산업경영공학과
IME POSTECH
hcyou@postech.ac.kr

요약문

3차원 귀 형상을 반영한 이어폰 설계는 착용감을 향상시킬 수 있다. 본 연구는 한국인 및 북미인 296명의 3차원 귀 형상을 측정하고 이들 특성을 분석하여 이어폰의 주요 부품 설계에 반영하였다. 개발된 이어폰 설계는 가상 착의 분석을 통해 90% 이상의 사용자들을 수용할 수 있을 것으로 추정된다. 본 연구의 3차원 귀 형상 기반 설계 방법은 다양한 귀 착용 제품 설계에 유용하게 활용될 수 있다.

주제어

이어폰 설계, 3D scan, 귀 형상, 가상 착의 분석

1. 서론

이어폰은 타인을 방해하지 않고 음향을 청취하기 위한 제품으로 다양한 형태로 설계되어 사용되고 있다. 이어폰은 사용 용도에 따라 형태, 재질, 음색, 음량, 음향 전송 방식 측면에서 다양한 특성을 가지도록 설계되고 있다. 예를 들면, 다양한 귀 형상을 수용하기 위해 형태 측면에서 원반형, 커널형, concha 형 등으로 개발되고 있다.

다양한 형태로 개발된 이어폰들은 사용자의 귀 형상과 맞지 않아 통증과 불편함을 유발하기도 한다. Jung & Jung(2003)에 의하면 지름 18 mm 원반형으로 설계된 housing 들은 한국인 earhole length 의 75thile 크기와 유사하여 concha 크기가 작은 사용자들의 경우 통증이 발생하기도 한다. 반면, concha 의 크기가 크거나 형태가 독특한 사용자의 경우 이어폰이 잘 고정되지 않고 쉽게 탈착되는 현상이 발생하기도 하여 귀 형상 분석 기반의 적합한 이어폰 설계에 대한 연구가 필요하다.

귀 형상을 분석한 기존 연구들은 귀 외부의 전반적 치수에 대해서만 측정하여 이어폰의 복잡한 형상의 설계에 적용 한계가 있으며, 귀 내부 치수에 대한 연구들도 이어폰 설계에 적용한 경우는 드물다. 귀 형상을 연구한 대부분의 연구들은 ear length 와 ear width 만을 분석하였다. 예를 들어, Jung & Jung(2003)은 한국인 600명과 서양인 30명의 귀 외부 치수를 분석하여 이어폰과 헤드폰의 전반적인 크기 설계를 제안하였으나 귀 내부의 형상에 대한 추가연구가 필요한 실정이다. 한편, 귀 내부 치수에

대해 분석한 연구들[1,2,3,5]도 분석 결과를 이어폰 설계에 적용하지는 않았다.

본 연구는 다양한 귀 크기와 형상을 수용할 수 있는 이어폰 개발을 위해 내외국인 296 명의 3 차원 귀 형상을 측정하고 이어폰 주요 부품들의 형상을 설계 하였으며 가상 착의 방법을 통해 수용성을 분석하였다.

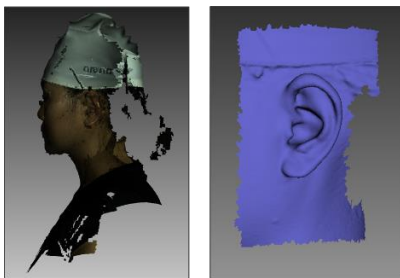
2. 방법

2.1 실험 참여자

본 연구는 296 명의 3 차원 귀 형상 데이터를 획득하여 이어폰 설계에 활용하였다. 다양한 귀 형상을 고려한 이어폰 설계를 위해 20 대 ~ 50 대의 한국인 남성 100 명, 한국인 여성 100 명, 북미인 남성 50 명, 북미인 여성 46 명의 3 차원 귀 형상을 측정하였다.

2.2 3 차원 귀 형상 측정

3 차원 귀 형상은 3 차원 scan 방법을 활용하여 실험 참여자의 오른쪽 귀 전반 형상과 귀 내부 형상을 개별적으로 측정한 후 병합하여 획득되었다. 귀 전반 형상은 3D scanner(Artech 3D Eva, Artec Group INC., Luxembourg)를 사용하여 측정되었으며(그림 1.a), 측정 시 실험 참여자는 수영 모자를 착용하여 주변 머리카락을 고정시킨 후 고정된 자세를 유지하도록 하였다. 귀 전반 형상 측정이 완료되면 그림 1.b 와 같이 ear casting 재료(Otoform, Dreve Otoplastik GmbH, Germany)를 사용하여 귀 내부의 3 차원 형상을 본 뜬 후 깃본을 3D scanning 하였다.



(a) 귀 전반 3 차원 scan



(b) 귀 내부 casting 및 scan

그림 1. 3 차원 귀 형상 측정 예

개별 측정된 귀 전반과 내부의 형상은 후처리를 통해 병합되었다. 3D scanner 로 측정된 3 차원 형상 data 는 Artecstudio10(Artec Group INC., Luxembourg)를 활용하여 거친 면을 부드럽게 하고 유실된 구멍을 메우는 후처리 기술이 적용되었다. 후처리된 귀 전반 형상과 내부 형상은 공통 부위인 cavum concha 를 기준으로 정렬되고 병합되었다.

2.3 3 차원 귀 형상 분석

3 차원 귀 형상 분석은 이어폰 설계 시 필요한 귀 인체 변수를 선정하고 측정된 치수 정보를 분석하여 수행되었다. 분석 대상 귀 인체 변수는 Lee et al.(2016)에서 제안된 귀 측정 기준점과 인체 변수를 참고하여 그림 2 와 같이 길이, 곡률, 둘레길이, 각도 등의 항목이 선정되었다. 예를 들면, concha 부위의 인체 변수로 concha length 와 concha width 가 선정되었다. 귀 인체 변수의 크기는 측정 기준점들 사이의 수평 길이, 수직 길이, 각도 등이 측정되어 분석되었다.

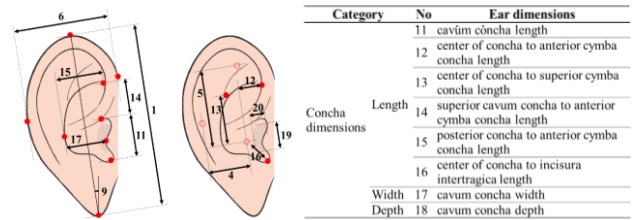


그림 2. 귀 인체변수 예시

귀 인체변수별 치수 정보를 기반으로 이어폰 설계에 활용하기 위한 3 가지 크기(25thile, 50thile, 75thile)의 대표 귀 형상이 선정되었다. 대표 귀 선정 시에는 성별, 연령, 인종을 고려하여 혼성 집단(composite group)이 생성되고 주요 귀 인체 변수의 실제 측정치가 25thile, 50thile, 75thile 추정치와 유사한 실제 귀들이 small, medium, large 크기 대표 귀로 각각 선정되었다.

2.4 이어폰 주요 부품 설계

본 연구는 이어폰 주요 부품별 설계 인자를 정의하고 대표 귀 3 종의 형상 정보를 기반으로 부품 설계안을 개발하였다. 예를 들면, Housing 의 주요 설계 인자로는 housing width, housing height, 그리고 housing depth 가 정의되었으며, 대표 귀 3 종의 concha width, concha height, 그리고 concha depth 정보가 활용되었다.

2.5 가상 착의 분석

설계된 이어폰 주요 부품들은 가상 착의 분석 방법을 이용하여 다양한 귀 형상에 대한 수용성이 분석되었다. 가상 착의 분석 방법[6]은 이어폰 3차원 설계를 사전 연구에서 파악된 이어폰 착용 특성을 기반으로 그림 3과 같이 3차원 귀 형상 데이터에 자동으로 착의시킨 후 이어폰 형상과 귀 형상 간의 간격이 적절한 수준인지 분석하여 설계의 적합성을 검토할 수 있도록 개발되었다. 가상 착의 분석은 이어폰 착용 특성 분석을 통해 귀 측정 기준점에 상응하는 이어폰의 설계 기준점들을 정의하고, 가상 착의 시 귀 측정 기준점과 이어폰 설계 기준점들간의 간격이 최소가 되도록 이어폰을 자동 착의 시킨 후, 분석 기준점에서 귀와 이어폰의 중첩 영역을 측정하여 이루어졌다.

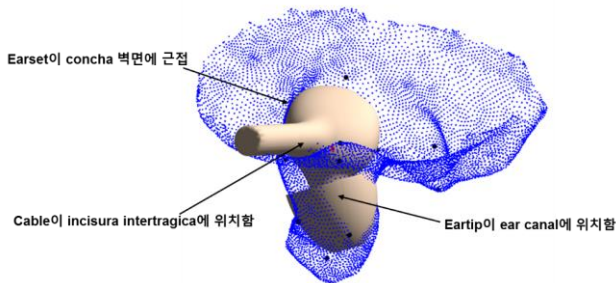


그림 3. 이어폰 가상 착의 예

3. 결과

한국인 및 북미인의 귀 인체변수별 기술통계치가 파악되었으며 3 가지 크기의 대표 귀가 선정되었다. 예를 들면, 한국인 및 북미인의 concha length 는 11.3 mm ~ 22.2 mm 로 파악되었으며, concha width 는 12.2 mm ~ 22.0 mm 로 파악되었다(표 1). 3차원 귀 인체 치수 dataset 을 기반으로 인체 변수별 25thile, 50thile, 그리고 75thile 에 해당하는 치수가 도출되고 이에 근접한 실제 귀 형상 3 종(small, medium, large)이 대표 귀로 선정되었다(그림 4).

표 1. 귀 인체 변수 측정 결과 예 (단위: mm)

Dimension	Mean(SD)	Min	Max	Percentile		
				25 th	50 th	75 th
Concha length	16.6(1.9)	11.3	22.2	15.3	16.6	17.8
Concha width	17.1(1.8)	12.2	22.0	15.9	16.9	18.5

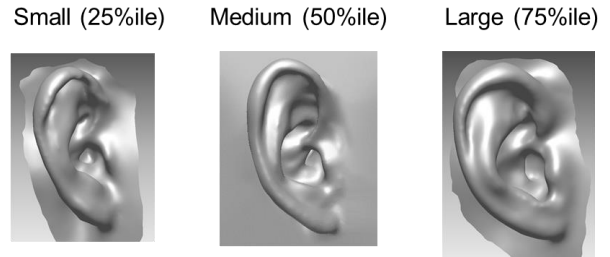
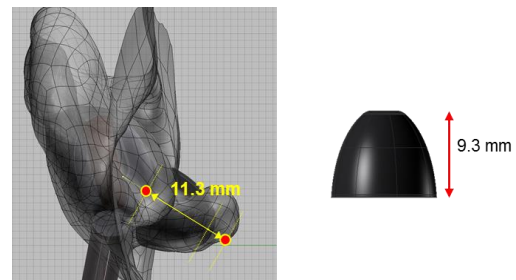
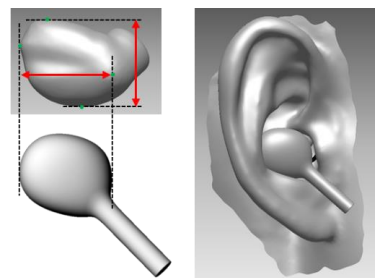


그림 4. 한국인 및 북미인 대표 귀 형상

이어폰 주요 부품들은 대표 귀 형상의 치수를 기반으로 설계되었다(그림 5). 예를 들면, ear-tip 은 ear canal 의 length 대비 width 의 비율이 사람에 따라 큰 변동을 가지는 것을 고려하여 부드러운 재질의 돔형으로 설계되었으며, ear-tip height 의 경우 ear canal 입구에서 벽면까지의 거리 11.3 mm 에 2.0 mm 의 여유량을 적용하여 9.3 mm 로 설계되었다. Housing 은 각 대표 귀 cavum concha 의 length, width, depth 측정 결과를 적용하여 부드럽게 착용될 수 있도록 설계 되었다.



(a) Ear-tip



(b) Housing

그림 5. 이어폰 주요 부품 설계 예시

개발된 이어폰 housing 부품은 가상 착의 분석 결과 한국인 및 북미인 실험참여자의 90% 이상을 수용하는 것으로 파악되었다. 가상 착의 분석 시 부위별 여유 및 압박 허용량은 전문가 토의를 통해 후방 -2 mm ~ 3 mm, 하방 -1 mm ~ 2 mm, 측방 -1 mm ~ 2 mm 로 설정되었다 (그림 6). 신규 이어폰 housing 의 가상 착의 분석 결과 한국인 및 북미인의 92% ~ 94%를

수용하는(후방: 94%; 하방: 93%; 측방: 92%) 것으로 파악되었다(표 2).

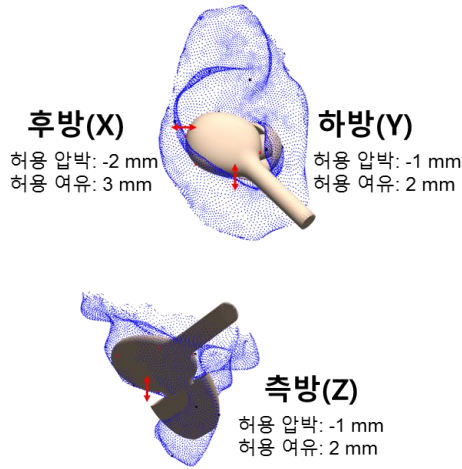


그림 6. 이어폰 부위별 여유량 설정 예

표 2. 신규 이어폰 housing 설계안 가상 착의 분석 결과

수용률	후방(X)	하방(Y)	측방(Z)	Mean	Min.
수용 범위	-2 ~ 3 mm	-1 ~ 2 mm	-1 ~ 2 mm		
수용(적정)	94%	93%	92%	93%	92%
과도 압박	0%	5%	3%	2.7%	0%
과도 여유	6%	2%	5%	4.3%	2%

4. 토의

본 연구는 다양한 형태의 이어폰 설계에 활용 가능한 3차원 귀 형상을 심층적으로 분석했다. 기존 연구들이 귀 외부의 전반적 치수에 대해서만 분석했던 반면, 본 연구는 3차원 scan 기술을 활용하여 귀의 외부와 내부 형상을 세부적으로 측정하고 치수 산포 특성을 분석하였다.

본 연구는 3차원 귀 형상 기반의 이어폰 설계 방법을 개발하였다. 이어폰 주요 부품별 설계 변수와 관련 인체 변수를 정의하였으며, 다양한 귀 형상을 대표하기 위한 3가지 크기의 대표 귀 형상을 도출하였다. 이어폰 주요 부품들은 각각 주요 설계 변수가 정의되고 3가지 대표 귀 형상의 인체 치수를 기반으로 설계 치수가 도출되었다. 개발된 3차원 귀 형상 기반 이어폰 설계 방법은 다양한 귀 착용 제품 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

개발된 신규 이어폰 설계는 가상 착의 분석을 통해 설계 적절성이 검토되었다. 이어폰의 3차원 설계안을

3차원 귀 형상에 가상으로 착용시켜 설계의 여유 및 압박 정도를 분석한 결과 90%이상의 사용자를 수용할 수 있을 것으로 추정되어 설계의 적절성이 검토되었다.

본 연구에서 개발된 신규 이어폰 설계는 가상 환경에서만 평가되어 시제품 제작을 통한 검증이 필요하다. 가상 착의 분석은 전문가의 경험에 의해 여유 및 압박 허용량이 설정되어 실제 사용자들의 주관적 만족 여부를 검증하는 것은 한계가 있다. 따라서, 최적 설계 개발을 위해서는 시제품을 제작하여 사용자들을 대상으로 반복적인 검증 평가 및 설계 보완을 수행할 필요가 있다.

참고 문헌

- Ahmed, A. A., and Omer, N. 2015. Estimation of sex from the anthropometric ear measurements of a Sudanese population. *Legal Medicine* (2015).
- Algazi, V. R., Duda, R. O., Thompson, D. M., and Avendano, C. "The CIPIC HRTF database". In *Proceedings of Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 2001 IEEE Workshop on the* (2001), 99-102.
- Bozkir, M. G., Karakas, P., Yavuz, M., and Dere, F. Morphometry of the external ear in our adult population. *Aesthetic Plast Surg*, 30, 1 (2006), 81-85.
- Jung, H., and Jung, H. Surveying the dimensions and characteristics of Korean ears for the ergonomic design of ear-related products. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 6 (2003), 361-373.
- Kalcioğlu, M. T., Miman, M. C., Toplu, Y., Yakinci, C., and Ozturan, O. 2003. Anthropometric growth study of normal human auricle. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 67, 11 (2003), 1169-1177.
- Lee, W., Jung, H., Bok, I., Kim, C., Kwon, O., Choi, T. and You, H. "Measurement and application of 3D ear images for earphone design". In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES) 60th Annual Meeting, Washington, DC, UAS* (2016).