

# Development of an Ear Measurement Method for Ear Product Designs

Hayoung Jung<sup>1</sup>, Wonsup Lee<sup>1</sup>, Sungho Kim<sup>1</sup>, Ilgeun Bok<sup>2</sup>, Chulwoo Kim<sup>2</sup>, Ochaekwon<sup>2</sup>,  
Teukgyu Choi<sup>3</sup>, Hogeun Kim<sup>3</sup>, Heecheon You<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, 790-784

<sup>2</sup>Design Team, Mobile Communication Division, Samsung Electronics, Seoul, 137-965

<sup>3</sup>Humanopia, Co. Ltd., Pohang, 790-834

## ABSTRACT

**Objective:** The present study developed an ear measurement method based on a 3D scanner and ear casting tools for ear product designs. **Background:** Detail dimensions and a shape of the ear are required for the ear product design; however, there is a limitation of a 3D ear scanning due to a complex shape of the ear. **Method:** The present study collected the shape and dimensions of the ear from 100 Korean participants (50 males and 50 females) aged 20 to 59. The overall shape of the ear was scanned in 3D; and inner complex shape of the ear was cast by applying the ear casting tools, then the cast shape was scanned in 3D. Anthropometric landmarks were marked on the 3D shapes of the overall and cast ear, respectively; then 18 ear dimensions were automatically measured by applying an ear measurement system coded using Matlab. **Conclusion:** The method for the ear measurement and the 3D ear shape establish was developed and applied to the analysis of the ear of 100 Koreans. **Application:** The developed ear measurement method and the measurements of the ear can be applied to the ear product designs.

Keywords: Ear measurement, 3D anthropometry, 3D ear scanning, Ear casting, Ear product design

## 1. Introduction

3차원 인체 측정 data는 인간공학적 제품 설계에 적용된다. Jose et al. (2005)는 신발을 설계하기 위하여 발을 3차원 스캔하고 6가지 발 측정 항목을 도출하여 설계에 반영하였다. Lee et al. (2011)는 손을 사용하는 제품의 사용성 향상을 위하여 3차원 손치수 측정 및 평가 방법을 개발하여 핸들 설계에 적용 가능한 연구를 수행하였다. 핸들이나 신발과 같은 일상적인 제품 외에 Smart watch, Smart glass와 같은 wearable 제품 설계 시 관련 3차원 인체 측정 data가 유용하게 활용 될 수 있다. Size Korea는 신수요 산업제품 설계 시 인체치수 측정 자료를 제공하기 위해 3차원 전신 스캔 방법을 활용하여 인체 치수를 측정할 database를 생성하여 제공하고 있다.

귀에 착용하는 제품 설계를 위해서 귀와 관련된 세부적인 치수 및 형상이 필요하지만, 귀의 형상은 상당히 복잡하기 때문에 3D scanner만으로는 세부적인 3D 형상

수집이 어렵다. 귀의 외측 형상은 돌출된 형태이므로 3D scanning을 통한 측정이 용이한 편이지만 귀의 내측 형상은 안으로 울퉁불퉁하고 일부는 가려져 있어 3D scanner를 이용하여 정확한 측정이 어렵다(Lee et al., 2011). 특히 귓구멍 부위는 3D scanning이 불가능하다. 따라서 Size Korea나 Civilian American and European Surface Anthropometry Resource (CAESAR)와 같은 기존 인체 측정 database들 및 기존 귀 측정 연구들에서 귀 관련 치수는 대부분 직접 측정으로만 수집되었으며, 귓구멍을 포함한 세부적인 3차원 귀 형상 자료를 수집하지 못하였다.

본 연구는 귀 착용 제품 설계 적용을 위하여 3D scanner와 컷본 제작 방법을 적용 귀 측정 방법을 개발하였다. 얼굴 상에서의 귀의 위치, 각도, 전반 형상을 파악하기 위해서 3D scanner를 활용하여 귀 전반 형상이 3차원 scan되었다. 3D scan이 어려운 귀 내부 형상은 컷본 제작 도구를 이용하여 casting된 후, 3D scan 되었다. 수집된 귀 전반 형상과 귀 내부 형상에 landmark를 표기한 후, 치수들이 측정되었다.

## 2. Ear Measurement Method

### 2.1 Participants

실험은 한국인 100명을 대상으로 수행되었다. 연령대(20대 ~ 50대)별과 성별에 따라 25명씩의 실험 참여자가 모집되었다.

### 2.2 Apparatus

3D scanner와 컷본 제작 도구를 사용하여 컷구멍을 포함한 귀 형상이 수집되었다. 컷바퀴와 귀뿌리 등의 귀 전반 형상은 Artec Eva 3D scanner (Artec Group, Inc., Luxembourg)를 사용하여 수집되었다. Artec 3D scanner는 귀 내부의 복잡한 형상을 정확하게 scan하지 못하기 때문에, 컷구멍을 포함한 귀 내부 형상은 보청기 제작에 이용되는 재료인 Otoform (Dreve Otoplastik GmbH, Germany)을 사용하여 컷본으로 제작된 후, Artec Eva 3D scanner를 이용하여 3D scan 되었다.

### 2.3 Experimental procedure

귀 형상 측정실험은 세 단계 절차(S1. 실험 준비, S2. 귀 전반 형상 3D scanning, S3. 컷본 제작, S4. 귀 사진 촬영)를 통해 수행된다. 첫째, 실험 준비 단계에서는 피실험자에게 실험에 대한 설명을 전달되고 실험 참여 동의를 구해진다. 둘째, 3D scanning 단계에서는 수영모자를 착용하여 귀를 가릴 수 있는 주변 머리카락을 수영모자 속으로 고정시킨 후 3D scanner를 이용하여 컷바퀴와 귀뿌리 부위를 포함한 귀 전반 형상이 scanning된다. 셋째, 컷본은 실이 연결된 숨을 컷구멍에 삽입한 후, Otoform을 귀에 주입함으로써 제작된다. 마지막으로, 귀 분석 시 참조될 수 있도록 실험참여자의 귀를 사진촬영 해둔다.

### 2.4 Ear post-processing

수집된 귀 전반 3D scan 형상과 컷본의 3D scan 형상이 각각 후가공된다. 3D scan된 귀 전반 형상은 Artec Studio 9 (Artec Group, Inc., Luxembourg)과 RapidForm 2006 (INUS Technology, Inc., 대한민국)을 사용하여 잘못 scan된 부위 제거, hole-filling, smoothing, remeshing, XYZ 축으로 귀 형상 alignment 등으로 후가공된다. 컷본은 Artec 3D scanner로 scanning된 후, 귀 전반 형상의 후가공과 마찬가지로 후가공된다. 후가공을 진행할 때 사진 촬영해둔 실험참여자의 귀와

비교하면서 후가공이 제대로 되었는지를 검토한다.

### 2.5 Ear measurement

귀 세부 측정항목들을 측정하기 위해 필요한 landmark를 표기한 후, 자동측정 프로그램을 이용하여 귀를 측정한다. 귀 측정항목들 및 landmark들은 기존 귀 측정 연구 21편(Alexander and Laubach, 1968; Algazi et al., 2001; Barut and Aktunc, 2006; Bozkir et al., 2006; Buckley et al., 2005; Dellepiane et al., 2008; Hammond et al., 2004; Herskovits, 1930; Jung, 2000; Jung and Jung, 2003; Kalcioğlu et al., 2003; Kaushal and Kaushal, 2011; Liu, 2008; Meijerman, et al., 2007; Mohamed et al., 2013; Nathan et al., 2008; Paulsen, 2004; Porter and Olson, 2001; Tauraet al., 2013; Yoon and Jung, 2002)을 참고로 하여 선정되었으며, 기존 연구에서는 측정하지 않았으나 귀에 착용하는 제품 설계에 필요한 측정항목들은 인간공학 연구진들의 논의에 의해 선정되었다. 귀 전반 3D scan 형상들에는 8개 측정 항목(ear length, ear breadth, ear angle, ear protrusion, otobasion superius to otobasion posterius horizontal length, otobasion superius to otobasion posterius vertical length, otobasion superius to otobasion inferius length, upper otobasion arc)을 측정하기 위한 7개 landmark (tragion, otobasion superius, otobasion posterius, otobasion inferius, superior auricle, posterior auricle, inferior auricle)가 표기되었다. 컷본의 3D scan 형상들에는 10개 측정 항목(concha length, earhole length, concha width, earhole angle  $\angle XY$ , earhole angle  $\angle XZ$ , earhole angle  $\angle YZ$ , earhole major axis length, earhole minor axis length)을 측정하기 위한 9개 landmark(tragion, incisura intertragica, inferior cymba conchae, superior cavum conchae, posterior conchae, inferior external acoustic canal, anterior external acoustic canal, posterior external acoustic canal)가 표기되었다. Matlab 2013b (Math Work, Inc., USA)을 이용하여 개발된 귀 치수 자동 측정 프로그램을 사용하여 landmark가 표기된 한국인 100명의 좌우 귀 전반 3D scan 형상들과 컷본 3D scan 형상들로부터 각각 측정항목들이 자동 측정되었다.

## 3. Results

한국인 100명의 귀 측정 결과에 대한 기술통계치(평균, 표준편차, 최소값, 최대값, 백분위)이 Table 1과 같이 파악되었다.

Table 1. Examples of descriptive statistics of Korean ear anthropometric data

dimension	mean	SD	min	max	Percentile		
					25%	50%	75%
ear length	63.5	4.2	53.2	76.4	60.6	63.6	66.4
ear breadth	31.3	2.9	22.8	39.2	29.5	31.2	33.5
ear angle	4.9	1.6	1.0	8.7	4.4	4.9	5.7
ear protrusion	17.1	3.0	11.1	26.8	14.9	16.8	19.1
concha length	17.2	1.3	12.9	21.2	16.4	17.3	18.1
concha width	16.9	1.8	11.6	21.5	15.6	16.9	17.9

## 4. Discussion

본 연구는 귀 형상 측정을 위하여 3D scanner와 Otoform을 이용하여 전반 형상과 내측 형상을 각각 획득하고, 각각의 3D shape을 merge 하는 방법을 이용하여 귀 형상을 세부적으로 측정하는 방법을 개발하였다. 귀 형상은 측정이 어렵기 때문에 귀 세부 치수를 활용한 제품 개발 사례가 적었다. 본 연구는 귀 세부적인 형상을 비교적 정확하게 측정할 수 있는 측정 방법을 이용하여 귀 형상 및 치수를 측정하였기 때문에 이를 다양한 제품 설계에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 측정된 귀 세부 치수 정보들은 귀 관련 제품의 설계에 측정 결과를 유용하게 활용할 수 있다. 본 연구를 통해 측정된 귀 전반 형상과 세부 치수들은 다양한 종류의 headphone 및 earphone을 설계하는데 유용하게 활용될 수 있다.

## References

- Alexander, M., and Laubach, L. L., *Anthropometry of the Human Ear: A Photogrammetric Study of USAF Flight Personnel*. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Aerospace Medical Research Laboratories, Aerospace Medical Division, Air Force Systems Command, AMRL-TR-67-203, 1968.
- Algazi, V. R., Duda, R. O., Thompson, D. M., and Avendano, C., The CIPIC HRTF database. *Proceedings of Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, 2001 IEEE Workshop on the, 99-102, 2001.
- Barut, C., and Aktunc, E., Anthropometric measurements of the external ear in a group of Turkish primary school students. *Aesthetic Plastic Surgery*, 30(2), 255-259, 2006.
- Bozkir, M. G., Karakas, P., Yavuz, M., and Dere, F., Morphometry of the external ear in our adult population. *Aesthetic Plastic Surgery*, 30(1), 81-85, 2006.
- Buckley, P. F., Dean, D., Bookstein, F. L., Han, S., Yerukhimovich, M., Min, K. J., and Singer, B., A three-dimensional morphometric study of craniofacial shape in schizophrenia. *The American Journal of Psychiatry*, 162(3), 606-608, 2005.
- Dellepiane, M., Pietroni, N., Tsingos, N., Asselot, M., and Scopigno, R., Reconstructing head models from photographs for individualized 3D-audio processing. *Computer Graphics Forum*, 27(7), 1719-1727, 2008.
- Hammond, P., Hutton, T. J., Allanson, J. E., Campbell, L. E., Hennekam, R. C., Holden, S., Patton, M. A., Shaw, A., Temple, I. K., Trotter, M., Murphy, K. C., and Winter, R. M., 3D analysis of facial morphology. *American Journal of Medical Genetics, Part A*, 126A(4), 339-348, 2004.
- Herskovits, M. J., *The anthropometry of the American Negro*. New York: Columbia University Press, 1930.
- José, G. H., Stella, H., Alfons, J., Roberto, P., Beatriz, N., Sandra, A., Enrique, A., Juan, C. G., The MORFO3D Foot Database. *Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis*, Estoril, Portugal, 2005.
- Jung, H., Analyzing the Size and the Characteristics of Korean Ear for the Ergonomic Design of Ear Related Products. *IE Interfaces*, 13(2), 147-156, 2000.
- 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), 361-373, 2003.
- Kalcioglu, M. T., Miman, M. C., Toplu, Y., Yakinci, C., and Ozturan, O., Anthropometric growth study of normal human auricle. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 67(11), 1169-1177, 2003.
- Kaushal, N., and Kaushal, P., Human Earprints: A Review. *Journal of Biometrics and Biostatistics*, 2(5), 2011.
- Lee, W., Yoon, S., and You, H., Development of a 3D semi-automatic measurement protocol for hand anthropometric measurement. *IE Interfaces*, 24(2), 105-111, 2011.
- Liu, B. S., Incorporating anthropometry into design of ear-related products. *Applied Ergonomics*, 39(1), 115-121, 2008.
- Meijerman, L., van der Lugt, C., and Maat, G. J., Cross-sectional anthropometric study of the external ear. *Journal of Forensic Sciences*, 52(2), 286-293, 2007.
- Mohamed, K., Mani, U. M., Seenivasan, M. K., Vaidhyanathan, A. K., and Veeravalli, P. T., Comparison of two impression techniques for auricular prosthesis: pilot study. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 50(8), 1079-1088, 2013.
- Nathan, N., Latham, K., Cooper, J., Perlyn, C., Gozlan, I., and Thaller, S. R., Anthropometry of the External Ear in Children With Cleft Lip and Palate in Comparison to Age-Matched Controls. *Journal of Craniofacial Surgery*, 19(5), 1391-1395, 2008.
- Paulsen, R. R., *Statistical shape analysis of the human ear canal with application to in-the-ear hearing aid design*. Denmark: Technical University of Denmark, 2004.
- Porter, J. P., and Olson, K. L., Anthropometric facial analysis of the African

American woman. *Archives of Facial Plastic Surgery*, 3(3), 191-197, 2001.

Taura, M. G., Adamu, L. H., and Modibbo, M. H., External ear anthropometry among Hausas of Nigeria: the search of sexual dimorphism and correlations. *World Journal of Medicine and Medical Science Research*, 1(5), 91-95, 2013.

Yoon, H., and Jung, S., A study of measurement on the head and face for Korean adults. *IE Interfaces*, 15(2), 199-208, 2002.

## Author listings

**Wonsup Lee:** mcury@postech.edu

**Highest degree:** PhD, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Position title:** Post-doc researcher, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Areas of interest:** Ergonomic product design, 3D Anthropometry, Virtual fit analysis, Engineering design

**Baekhee Lee:** x200won@postech.edu

**Highest degree:** MS, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Position title:** PhD Student, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, Digital human modeling & simulation, Vehicle ergonomics

**Sungho Kim:** ksh1220@postech.edu

**Highest degree:** B.S., Electronic Engineering, R.O.K Air Force Academy, 2009

**Position title:** MS Student, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Areas of interest:** Human factors in aviation and aerospace, User-centered product design & development, Usability testing

**Hayoung Jung:** niceterran36@postech.edu

**Highest degree:** BS, Department of Industrial and Media Design, Handong University

**Position title:** MS Student, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Areas of interest:** Ergonomic Product Design & Development, Industrial Design, HCI & UX Design

**Ilguen Bok:** ig94.bok@samsung.com

**Highest degree:** MS, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Position title:** Senior Designer, Mobile Design Team, Samsung Electronics

**Areas of interest:** Physical user interface (PUI), Mobile user interface design

**Chulwoo Kim:** churu.kim@samsung.com

**Highest degree:** PhD, Department of Industrial Engineering, Purdue University

**Position title:** Senior Designer, Mobile Design Team, Samsung Electronics

**Areas of interest:** Mobile user interface design, Mobile user experiences, Text input design

**Ochae Kwon:** ochae.kwon@samsung.com

**Highest degree:** PhD, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Position title:** Principal Designer, Mobile Design Team, Samsung Electronics

**Areas of interest:** Ergonomic product design, Physical user interface (PUI), Usability

**Teukgyu Choi:** heartily0421@gmail.com

**Position title:** Researcher, Product Development Team, Humanopia, Co. Ltd.

**Areas of interest:** Ergonomic medical and healthcare product development

**Hoguen Kim:** diverkhh@naver.com

**Position title:** Researcher, Product Development Team, Humanopia, Co. Ltd.

**Areas of interest:** Ergonomic medical and healthcare product development

**Heecheon You:** hcyou@postech.edu

**Highest degree:** PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

**Position title:** Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing