

# Development of a 3D Anthropometric Sizing Analysis System for Head Product Designs

Wonsup Lee<sup>1</sup>, Baekhee Lee<sup>1</sup>, Sungho Kim<sup>1</sup>, Hayoung Jung<sup>1</sup>, Ilgeun Bok<sup>2</sup>, Chulwoo Kim<sup>2</sup>,  
Ochae Kwon<sup>2</sup>, Teukgyu Choi<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>Product Development Team, Humanopia, Co. Ltd., Pohang, 790-834

## ABSTRACT

**Objective:** The present study developed a sizing analysis system based on the Civilian American and European Surface Anthropometry Resource (CAESAR) database for head product designs. **Background:** To find representative heads from a huge amount of 3D human scan database, a sizing analysis system is required for efficient analysis of sizing systems based on anthropometric measurements. The CAESAR 3D scan images were required to be post-processed by applying hole-filling, smoothing, and landmarking for better use to the head product design. **Method:** The head parts of the CAESAR data ( $n = 2,299$ ) were manually processed to improve a quality of the 3D image. Twenty one anthropometric landmarks were marked on the processed 3D head images to measure 40 anthropometric dimensions related to the head product design. All head and face dimensions were automatically measured by applying a measurement system coded using Matlab. **Conclusion:** The sizing analysis system which can be used for analysis of measurements, generation of sizing systems, and visualization of representative 3D head images was developed based on the measurement of the CAESAR. **Application:** The processed 3D head images and the developed sizing analysis system can be applied to the head product designs.

Keywords: System development, 3D anthropometry, Sizing analysis, Head and Face, Product design

## 1. Introduction

3차원 인체 scan image는 제품 설계에 유용하게 활용될 수 있다. 3차원 scan 기반의 인체측정은 다양하고 세부적인 인체 부위를 효과적으로 측정할 수 있으며, 길이와 둘레 등의 직접측정 가능한 측정 항목뿐 아니라 면적, 부피, 형상 등과 같은 제품 설계에 직접적으로 필요한 정보들을 제공할 수 있어 제품 설계에 유용하게 활용될 수 있다(Chang et al., 2007; Lee et al., 2010; Lee et al., 2011; Lee et al., 2013a; Weinberg et al., 2004). 예를 들어, Lee et al. (2013a)는 한국 공군 전투기 조종사들의 안면 scan data를 이용하여 한국 공군 조종사에 적합한 산소마스크를 설계하였다.

미국 및 유럽인들의 전신 3D scan database인 Civilian American and European Surface Anthropometry Resource (CAESAR)의 3D scan image들을 제품 설계에 요긴하게 활용하기 위해서는 적절한 post-processing이 필요하다. CAESAR database는 18 ~ 65세 남녀 북미(미국과 캐나다)인 약 2,400명과 유럽인(네덜란드와 이탈리아) 약 2,000명의 전신의 3D scan image들과 landmark 정보와 측정항목들(직접 측정 40개, 3D 측정 60개)로 구성되어 있다. 인종은 백인(Caucasian, Dutch, Italian; 82%;  $n \approx 3,500$ ), 흑인(African-American; 6%;  $n \approx 300$ ), 기타 인종(native American, native Alaskan, Spanish/Hispanic, Asian/Pacific Islander, mixed race; 12%;  $n \approx 600$ )으로 구성되어 있다.

방대한 양의 CAESAR 3차원 인체 database 중에서 제품 설계에 활용할 특정 크기 및 형상을 가진 인

물을 용이하게 선택하기 위해서는 통계적 분석 기능과 인간공학적 인터페이스를 갖춘 system이 요구된다. 먼저, 제품 설계에 필요한 중요 인체 변수(key anthropometric dimension)들이 선정될 필요가 있다. 예를 들어, 안경이나 goggle을 design할 때는 얼굴 폭(face width)과 코뿌리-귀구슬 거리(sellion to trigion distance)와 같은 인체 변수들이 중요 인체 변수로서 선정될 수 있다. 다음으로, 통계 기반의 치수체계(치수체계) 생성 방법(Jung et al., 2010; Lee et al., 2013b)을 적용하여 설계할 제품의 치수의 개수(예: 3개; small, medium, large)에 따라 중요 인체 변수들 측면에서 치수체계가 생성될 필요가 있다. 마지막으로, 통계적 분석 방법을 기반으로 하여 생성된 치수체계들을 가장 잘 대표할 수 있는 대표인체모델(representative human model)들이 체계적으로 선발될 필요가 있다.

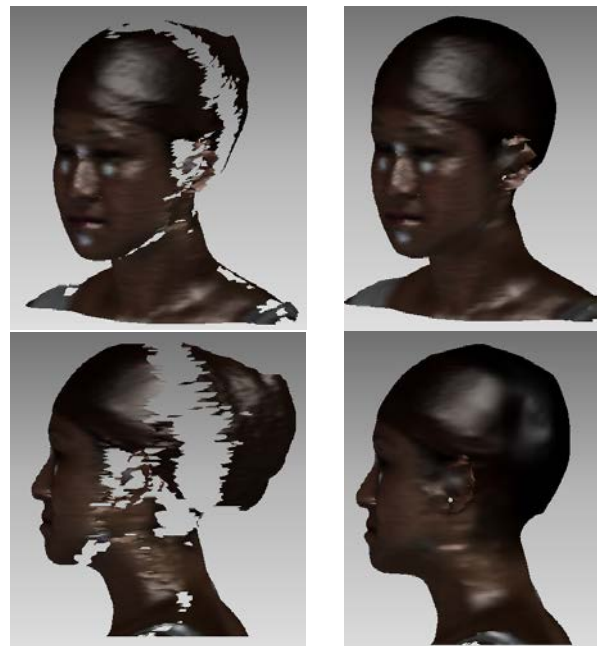
본 연구는 North America CAESAR data의 head 부위를 가공하여 2,299명의 치수와 형상을 확보하고, 이를 기반으로 head 및 face 착용형 제품 설계 시 설계 대상 집단을 대표할 수 있는 사람의 size 및 3차원 형상을 용이하게 분석하기 위한 치수 분석 시스템을 개발하였다.

## 2. Analysis of CAESAR 3D Scan Data

### 2.1 3D Data Editing

North American CAESAR 3D scan image들이 hole-filling, hair style 정리, smoothing 등 측면에서 editing되었다. CAESAR 3D scan image는 그림 1과 같이 scan되지 않은 부분이 있거나 머리 모양이 자연스럽지 못하다. 본 연구는 RapidForm 2006 (INUS Technology, Inc., 대한민국) CAD software를 사용하여 2,299명의 CAESAR 3D scan image들을 가공하였다. CAESAR 3D scan image는 전신의 3D image이지만 본 연구는 CAESAR data를 머리에 착용하는 제품의 설계에 적용하고자 하였기 때문에 어깨 위 부위에 대해서만 editing을 하였다. 북미 CAESAR database에 포함된 2,384명 중 85명 (3.6%)은 소수 인종(Eskimos, American Indians, 및 혼혈) data quality 측면(예: scan되지 않은 부분이 많음, scanning 도중 움직임, 머리모양 및 턱수염이 과도하여 얼굴 및 머리 형상을 알아보기 어려움, 신상 정보 누락)에서 제외

되었다. 본 연구는 2,299명(White 1,818명, African American 258명, Asian 173명, Spanish 50명)의 머리 및 얼굴 부위를 수작업으로 editing (hole-filling, hair style 정리, smoothing, 형상 복원 등)하였다. 특히, CAESAR 3D image들은 귀 부위가 제대로 scanning되어 있지 않았으나, hole-filling과 형상 복원 과정을 통해 귀 부분이 치수 측정이 가능한 수준으로 일부 복원될 수 있었다. 2,299명의 3D data editing에는 총 300시간 정도가 소요되었다.



(a) Before editing

(b) After editing

Figure 1. Editing of CAESAR 3D scan image (illustrated)

### 2.2. Landmark Identification

설계 대상 제품들의 설계와 관련된 인체 측정항목을 측정하기 위한 landmark들을 정하여 3D scan image 상에 표기하였다. 기존 문헌(Ahn and Suh, 2004; Alexander et al., 1979; Clauser et al., 1988; Hack and McConville, 1978; Han and Choi, 2003; Hughes and Lomaev, 1972; Kim, 2004; Kim, 2005; Kim et al., 2004; KATS, 2004; Oestenstad et al., 1990; Oh and Park, 2010; Yokota, 2005; Young, 1993; Zhuang and Bradtmiller, 2005) 조사를 통해 수집된 132개 인체 측정항목 중에서 7 종류의 head 및 face 착용 제품(예: helmet, glasses, goggle, headphone)의 설계 변수(design dimension)와

관련된 40개의 측정항목들(예: head length, head height, head width, head circumference, face width 등)이 선택되었다. 각 40개 측정항목의 측정에 필요한 21개 landmark가 파악되었다. RapidForm 2006을 이용하여 가공된 CAESAR 3D scan data에 인체 측정항목 측정에 필요한 landmark들이 인체측정 전문가 1명에 의하여 표기되었다.

### 2.3. Anthropometric Measurement

Matlab 2013a를 이용하여 개발된 인체 측정항목 자동 측정 system을 이용하여 2,299명의 40개 측정항목들이 측정되었다. System은 CAESAR의 3D scan image 정보와 본 연구에서 표기된 landmark 정보들 이용하여 다양한 측정항목들을 자동 측정하도록 개발되었다. 길이와 너비 항목들은 landmark 간의 Euclidean distance로서 측정되었으며, arc와 둘레 항목들은 landmark와 함께 3D scan image를 이용하여 측정되었다.

## 3. Development of Anthropometric Sizing Analysis System

본 연구는 head 및 face 착용형 제품 설계 시 설계 대상 집단을 대표할 수 있는 사람의 size 및 3차원 형상을 용이하게 생성하고 분석하는 치수 분석 시스템을 개발하였다. 시스템의 치수체계생성은 S1. 설계 대상 제품 선정, S2. 대상 인구 선정, S3. 중요 변수 선정 단계, S4. 치수체계 설정 단계로 구분된다. 설계 대상 제품 선정 단계(S1)에서는 head 및 face 착용형 제품인 helmet, glasses, goggles 등을 선택된다. 대상 인구 선정 단계(S2)에서는 인종(예: Asian, Spanish 등), 성별(남, 여), 연령(예: 20대, 30대 등)이 선정된다. 중요 변수 선정 단계(S3)에서는 대상 제품 치수체계의 중요변수로 사용될 인체 변수가 1개 또는 2개 선정된다. 치수체계 설정 단계(S4)에서는 치수 개수를 선정하고 치수 위치 또는 치수 크기를 변경하여 치수체계가 생성된다. 생성된 치수체계의 분석 결과로는 인구수용비율, 시각화된 치수체계, 그리고 대표 형상의 3D scan image가 제공된다.

## 4. Discussion

CAESAR 3D data의 정밀 후가공을 통해 안면 착용형 제품 설계에 필요한 세부 안면 치수들을 측정할 수 있었다. CAESAR database를 구축을 위해 3D scanning이 진행되었던 1998년 당시는 3D scanning 해상도가 낮아 3D image의 세부적인 부분(예: 귀, 미간, 크기가 작은 부위, 손가락 사이, 겨드랑이 등)에서 품질이 낮거나 3D scan image에 구멍이 남아 있는 경우가 많았다. 본 연구에서는 3D 인체측정 전문가들의 정교한 수작업을 통해 3D scan image의 머리 부분을 제품 설계 등과 같은 실무 업무에서 요긴하게 사용할 수 있는 수준으로 복원할 수 있었다. 복원된 2,299명의 CAESAR 머리 3D image들은 형상뿐 아니라 머리 및 안면 측정과 관련된 주요 landmark 정보도 포함되어 있어 향후 새롭게 측정하고자 하는 부위가 생기면 해당 부위를 용이하게 측정할 수 있다.

본 연구는 제품 특성(제품 종류, 치수 개수, 중요 설계 변수)과 인체 특성(설계 대상 인구, 중요 인체 변수)을 체계적으로 고려하여 제품 설계에 필요한 치수체계를 제안해주는 특화된 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 설계 대상 제품, 설계하고자 하는 치수의 개수, 제품 사용 대상 인구, 그리고 해당 제품 설계와 관련이 큰 중요 인체 변수들을 용이하게 선정할 수 있는 interface를 갖추고 있다. 제품 설계자는 본 시스템을 이용하여 제품의 설계 과정에서 참조할 수 있는 대표적인 3차원 안면 형상을 용이하게 선택할 수 있으며, 이를 참조하여 대상 인구 집단에 적합한 인간공학적 제품 형상을 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- Ahn, Y., and Suh, M., A study on the head type of Korean women's for headgear pattern making. *The Research Journal of the Costume Culture*, 12(6), 1021-1030, 2004.
- Alexander, M., McConville, J. T., and Tebbetts, I., *Anthropometric Sizing, Fit-Testing, and Evaluation of the MBU-12/P Oral-Nasal Oxygen Mask*, AMRL-TR-79-44, Wright-Patterson Air Force Base, OH: Aerospace Medical Research Laboratory, 1979.
- Clauser, C., Tebbetts, I., Bradtmiller, B., McConville, J. T., and Gordon, C., *Measurer's Handbook: U.S. Army Anthropometric Survey 1987-1988*, NATICK/TR-88/043, Natick, MA: U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, 1988.
- Chang, C.-C., Li, Z., Cai, X., and Dempsey, P. Error control and calibration in three-dimensional anthropometric measurement of the hand by

- laser scanning with glass support. *Measurement*, 40(1), 21-27, 2007.
- Hack, A. L., and McConville, J. T., Respirator protection factors: Part I - Development of an anthropometric test panel. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39(12), 970-975, 1978.
- Han, D., and Choi, K., Facial dimensions and predictors of fit for half-mask respirators in Koreans. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 64(6), 815-822, 2003.
- Hughes, J. G., and Lomaev, O., An anthropometric survey of Australian male facial sizes. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 33(2), 71-78, 1972.
- Jung, K., Kwon, O., and You, H., Evaluation of the multivariate accommodation performance of the grid method. *Applied Ergonomics*, 42, 156-161, 2010.
- Lee, B., Jung, K., You, H. Development of a Distributed Representative Human Model Generation and Analysis System for Multiple-Size Product Design. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, San Diego: CA, USA, 2013.
- Lee, W., Jeong, J., Park, J., Jeon, E., Kim, H., Jung, D., Park, S., and You, H. Analysis of the facial measurements of Korean Air Force pilots for oxygen mask design. *Ergonomics*, 56(9), 1451-1464, 2013.
- Lee, W., Park, J., Jung, J., Jeon, E., Kim, H., Park, S., and You, H., Analysis of the Facial Anthropometric Data of Korean Pilots for Oxygen Mask Design, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 56th Annual Meeting*, Boston: MA, USA, 2012.
- Lee, W., Yoon, S., and You, H. "Development of a 3D semi-automatic measurement protocol for hand anthropometric measurement". *Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society 54th Annual Meeting*, San Francisco: CA, USA, 2010.
- 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.
- Kim, S., Analysis on the measurement and shape classification of the head and face for Korean female children aged 9~12 years. *The Research Journal of the Costume Culture*, 12(5), 757-768, 2004.
- Kim, S., Analysis on the shape classification of the head of Korean female children for the headwear 치수체계. *The Research Journal of the Costume Culture*, 13(2), 200-208, 2005.
- Kim, S., Lee, H., and Choi, H., Analysis on the measurement and shape classification of the head and face for Korean male children aged 9~12 years. *The Research Journal of the Costume Culture*, 12(6), 933-944, 2004.
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS), *The Report on the 5th Size-Korea (Korean Body Measurement and Investigation)*, Seoul, Korea: Size Korea, Ministry of Knowledge Economy, 2004.
- Oestestad, R. K., Dillion, H. K., and Perkins, L. L., Distribution of faceseal leak sites on a half-mask respirator and their association with facial dimensions. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 51(5), 285-290, 1990.
- Oh, Y., and Park, S., The facial anthropometry with 3D head scanner for designing Korean gas mask. *Proceedings of Society of CAD/CAM Engineers Conference*, 2010.
- Yokota, M., Head and facial anthropometry of mixed-race U.S. Army male soldiers for military design and sizing: A pilot study. *Applied Ergonomics*, 36(3), 379-383, 2005.
- Young, J. W., *Head and Face Anthropometry of Adult U.S. Civilians*, DOT/FAA/AM-93/10, Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Aviation Medicine, 1993.
- Weinberg, S. M., Scott, N. M., Neiswanger, K., Brandon, C. A., and Marazita, M. L. Digital three-dimensional photogrammetry: Evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 41(5), 507-518, 2004.
- Zhuang, Z., and Bradtmiller, B., Head-and-face anthropometric survey of U.S. respirator users. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2(11), 567-576, 2005.

## Author listings

**Wonsup Lee:** mcurry@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

**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