

# Analysis of the Facial Anthropometric Data of Korean Pilots for Oxygen Mask Design

Jeongrim Jeong<sup>1</sup>, Wonsup Lee<sup>1</sup>, Jangwoon Park<sup>1</sup>, Baekhee Lee<sup>1</sup>, Eunjin Jeon<sup>1</sup>, Donghoon Son<sup>2</sup>,  
Seikwon Park<sup>2</sup>, Daehan Jung<sup>2</sup>, Hee-Eun Kim<sup>3</sup>, and Heecheon You<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Air Force Academy, Cheongwon, Chungbuk, 363-849

<sup>3</sup>Department of Clothing & Textiles, Kyungpook National University, Daegu, 702-701

## ABSTRACT

**Objective:** The present study is to identify the facial features of Korean pilots for designing an oxygen mask which is properly fit to Korean pilots. **Background:** It is important to design an oxygen mask based on facial anthropometric data of pilots in terms of wearing comfort, oxygen supply effectiveness, and safety. **Method:** Twenty two facial dimensions were selected from a literature review and an expert panel discussion. The faces of 284 Korean pilots and 52 female cadets were measured by the Martin's anthropometer and a 3D scanner. The facial anthropometric data of the Korean pilots were compared with those of Korean male civilians, US Army personnel, and US Air Force pilots. **Results:** The average face width of Korean male pilots was narrower than that of US Air Force pilots. The average face length of Korean pilots was longer than those of Korean male civilians and US Air Force pilots. The average lip width of Korean male pilots was wider than those of Korean male civilians and US Air Force pilots. The average head breadth of Korean male pilots was wider than those of Korean male civilians and US Army personnel, whereas the average head length of Korean male pilots was shorter than that of US Army personnel. **Conclusion:** The facial comparison results show that the Korean pilots are significantly different from those of Korean civilians, US Army personnel, and US Air Force pilots. **Application:** The identified facial features of Korean pilots would be applied to develop a proper sizing system and an ergonomic design of an oxygen mask for Korean pilots.

Keywords: Korean pilot; 3D scanning; Facial anthropometric data; Oxygen mask

## 1. Introduction

조종사들의 안면부 인체치수를 고려한 산소 마스크 (oxygen mask) 설계는 고성능 전투기 조종사들의 안전한 비행, 원활한 산소 공급, 그리고 착용 안락감 측면에서 중요하다. 전투기 조종사 산소 마스크는 산소가 부족한 고도의 비행 환경에서 조종사에게 산소를 공급하기 위해 제공되는 생명 장치이며, 조종사의 안면부(예: 코돌출뼈점, 입술밑 함몰점)에 밀착되어 사용되고 있다. 이러한 산소 마스크는 조종사의 안면부와 밀착되어 사용되기 때문에 산소의 누설을 방지하면서, 조종사의 착용 안락감을 높이기 위해 조종사의 안면부 인체크기에 적합한 설계가 요구된다.

한국인 조종사의 안면부 인체크기에 적합한 산소 마스크 설계를 위해 한국인 전투기 조종사에 대한 안면부 인체 측

정과 분석이 필요하다. 정기호 외(2007)는 한국형 헬리콥터 조종실의 인체측정학적 설계를 위해 한국인 조종사의 인체크기를 측정하여 한국 일반인, US Army 인체측정자료와 비교하였다. 비교 결과, 한국인 조종사들은 한국 일반인에 비해 하체 관련 인체변수(앉은엉덩이너비, 오금높이, 앉은넙다리 높이)에서, US Army에 비해 상체 관련 인체변수(앉은키, 앉은눈높이, 앉은어깨높이)에서 유의하게 큰 것을 파악하였다. 그러므로 한국인 조종사에 적합한 산소 마스크의 인체측정학적 설계를 위해서는 한국인 조종사들을 대상으로 한 안면부 인체측정자료가 확보되고, 조종사들의 안면부 특성에 대한 이해가 필요하다.

본 연구는 조종사 산소 마스크의 인체측정학적 설계를 위해 한국인 전투기 조종사의 안면부 특성을 분석하였다. 이를 위해, 기존 문헌 조사를 통한 안면부의 인체 측정 항목을 추출하고, 직접 계측 및 3D 계측을 통해 한국인 조종

사 336명의 안면부 인체크기를 계측하여, 한국 일반인 남성, US Army, US Air Force 안면부 인체측정자료와 비교 분석하였다.

## 2. Methods

### 2.1 Selection of facial anthropometric dimensions

본 연구는 4 단계(머리 및 마스크 관련 문헌 조사, 반면형 마스크 관련 문헌 조사, 사용자 불편부위 관련 항목 조사, 전문가 논의)의 절차를 거쳐 한국인 조종사 산소 마스크 설계를 위한 안면부 측정 항목을 선정하였다. 머리 및 마스크 관련 문헌 조사 단계(국외 7 개, 국내 6 개)에서는 109 개의 안면부 측정 항목이 파악되었다. 반면형 마스크 관련 문헌 조사 단계에서는 109 개 안면부 측정 항목 중 반면형 마스크 관련 문헌을 filtering 하여 측정항목 31 개가 선정되었다. 사용자 불편부위 관련 항목 조사 단계에서는 31 개 측정 항목 중 조종사 산소 마스크의 사용자 불편도 분석에서 설계 개선 부위로 파악된 코, 광대뼈, 턱 부위 관련 27 개 항목이 선정되었다. 마지막으로 전문가 논의 단계에서는 인간공학 및 의류학 전문가 논의를 통하여 22 개(둘레 4 개, 길이 10 개, 높이 1 개, 너비 6 개) 항목이 선정되었다(Figure 1).

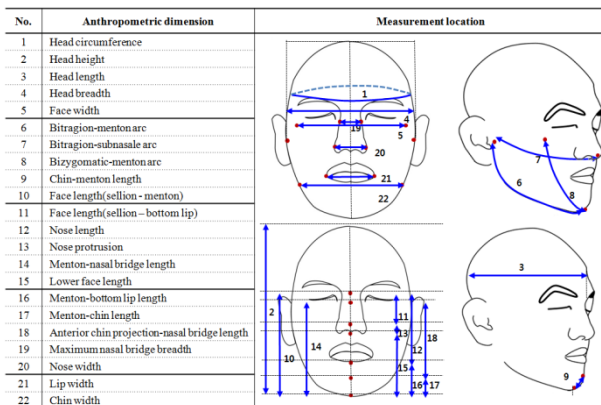


Figure 1. Facial anthropometric dimensions

### 2.2 Measurement of pilots' face size

선정된 22 개 안면부 측정 항목의 계측은 직접 계측법과 3D 계측법을 병행하여 실시되었다. 한국인 남성 조종사 278 명(연령 23 ~ 46 세), 한국인 여성 조종사 6 명(연령 23 ~ 26 세), 공군사관학교 여생도 52 명(연령 19 ~ 22 세)의 안면부 계측이 실시되었다. 직접 측정법은

Martin 식 인체계측기(anthropometer, spreading caliper, measuring tape)를 사용하여 5 개 항목(머리둘레, 머리수직길이, 머리두께, 머리너비, 얼굴너비) 계측에 사용되었다. 3D 계측법은 REXCAN 560(Solutionix Corp., Korea)를 사용하여 22 개 안면부 측정항목 중 직접계측 5 개 항목을 제외한 17 개 항목의 계측에 사용되었다. 본 연구에서는 3D 계측 시 빛의 control 을 위해 특수 제작된 압막(150 × 150 × 170 cm)안에 피험자를 위치시킨 후, 압막 내부에 표시된 정면, 측면(좌, 우 30 도, 60 도) 5 개 방향의 시선 고정점을 따라 자세를 취하도록 하여 얼굴 scanning 이 수행되었다. 5 개 각도에서 scanning 된 data 는 사후 data 처리 단계를 거쳐 병합되어 사용되었다. 3D 계측 및 분석에 사용된 program 은 ezScan(Solutionix Korea., Korea)이며, Rapidform 2006(Solutionix Corp., Korea), MATLAB™ 2008a(MathWorks, Inc., USA)를 이용하여 측정 자료가 분석되었다.

### 2.3 Comparison of facial anthropometric data

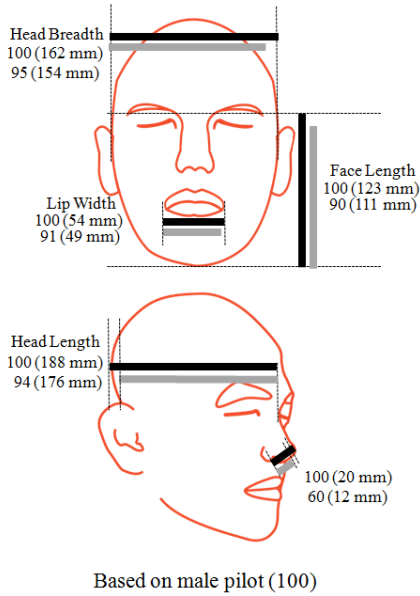
Mask 설계 관련 인체 변수(예: 얼굴수직길이, 입너비, 얼굴너비, 코뿌리너비)들의 기술통계치(평균, 표준편차, 최소값, 최대값, 변동계수)가 분석되어, 한국인 일반 남성(Size Korea; 연령 25 ~ 40세; 803명; 2004), 미국 육군(US Army; 연령 25 ~ 40세; 914명; 1988), 미국 공군 조종사(US Air Force; 연령 23 ~ 36세; 2420명; 1967), 한국인 여성 조종사 및 여생도(연령 19 ~ 26세; 57명)와 비교되었다. 안면부 치수 분석에는 missing data(3D 안면부 측정 시 landmark의 위치가 누락된 25 명)를 제외하고 총 311명의 계측 자료가 사용되었다.

## 3. Results

### 3.1 Korean male pilots vs. Korean male civilians

한국인 남성 조종사와 한국인 일반 남성의 안면부 치수 비교 결과, 한국인 남성 조종사의 경우 머리너비와 코높이는 평균 8 mm 크고, 머리두께와 얼굴수직길이는 평균 12 mm 크며 입너비는 평균 5 mm 큰 것으로 파악되었다. Figure 2 와 같이 한국인 남성 조종사의 안면부 치수의 기준이 100 일 경우 한국인 일반 남성의 치수는 머리너비 95, 머리두께 94, 입너비 91, 코높이 60, 얼굴수직길이 90 인 것으로 나타났다. 특히, 입너비, 코높이, 얼굴수직길이에서 조종사가 일반인에 비해 산포가 0.3 ~ 0.4 배 수준으로 더

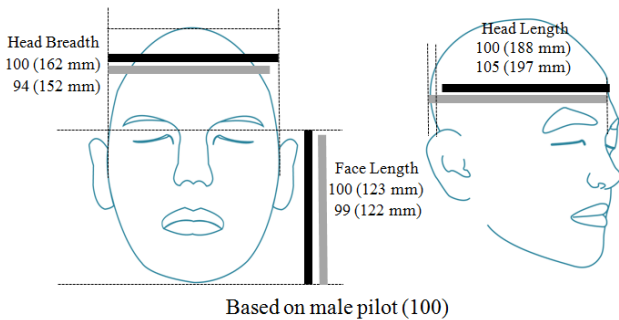
조밀한 것으로 나타나, 한국인 남성 조종사와 한국인 일반 남성의 안면부 특성이 상이한 것으로 파악되었다.



**Figure 2.** Korean male pilots vs. Korean male civilians (head breadth, head length, lip width, nose protrusion, face length)

### 3.2 Korean male pilots vs. US Army personnel

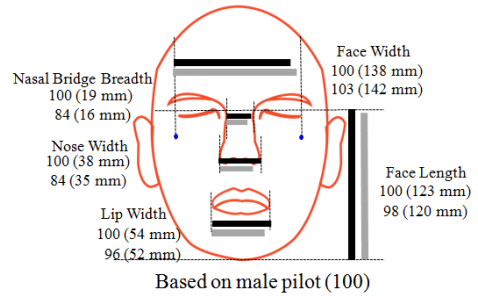
한국인 남성 조종사와 미국 육군의 안면부 치수 비교 결과, 한국인 남성 조종사의 경우 머리너비는 평균 10 mm 크고 머리두께는 9 mm 작은 것으로 파악되었다. Figure 3과 같이 한국인 남성 조종사의 안면부 치수의 기준이 100일 경우 미국 육군의 치수는 머리너비가 94, 머리두께는 105인 것으로 나타났다.



**Figure 3.** Korean male pilots vs. US Army personnel (head breadth, head length, face length)

### 3.3 Korean male pilots vs. US Air Force pilots

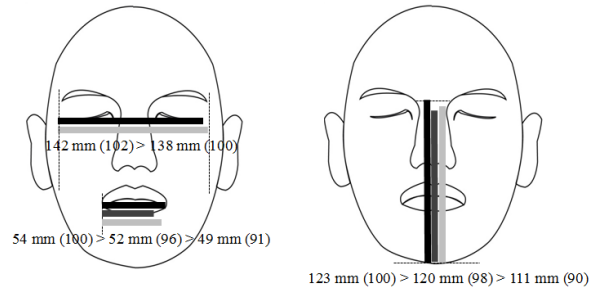
한국인 남성 조종사와 미국 공군 조종사의 안면부 치수 비교 결과, 한국인 남성 조종사가 미국 공군 조종사에 비해 평균적으로 코뿌리너비와 코너비는 3 mm, 입너비는 2 mm 더 큰 것으로 파악되었다. Figure 4와 같이 한국인 남성 조종사의 안면부 치수의 기준이 100일 경우 미국 공군의 치수는 코뿌리너비, 코너비가 84, 입너비는 96인 것으로 나타났다.



**Figure 4.** Korean male pilots vs. US Air Force pilots (nasal bridge breadth, nose width, lip width, face width, face length)

### 3.4 Comparison by measurement dimensions

마스크 설계 시 기준이 되는 입너비, 얼굴너비, 얼굴수직 길이 항목에서 한국인 남성 조종사, 한국인 일반 남성, 미국 공군 조종사의 치수가 상이하게 나타났다. Figure 5와 같이 한국인 남성 조종사의 경우 얼굴너비(138 mm)는 미국 공군 조종사(142 mm)에 비해 작고, 얼굴길이(123 mm)는 한국인 일반 남성(111 mm)과 미국 공군 조종사(120 mm)에 비해 긴 것으로 나타났다. 또한, 한국인 남성 조종사의 입너비(54 mm)가 한국인 일반 남성(49 mm)과 미국 공군 조종사(52 mm)에 비해 큰 것으로 분석되었다.



**Figure 5.** Dimension comparison of lip width, face breadth, face length

머리수직길이, 머리두께, 머리너비, 코너비 항목에서 한국인 남성 조종사, 한국인 일반 남성, 미국 육군의 치수가 상이하게 나타났다. Figure 6 과 같이 한국인 남성 조종사의 경우 머리너비(162 mm)는 한국인 일반 남성(154 mm)과 미국 육군(152 mm)에 비해 큰 반면 머리두께(188 mm)는 미국 육군(197 mm)보다는 작은 것으로 파악되었다. 한국인 남성 조종사의 안면부 특징은 너비항목에서 미국 육군, 미국 공군 조종사 보다 넓은 것으로 나타났으나 얼굴너비는 가장 작은 것으로 파악되었다. 길이항목의 경우는 머리수직길이, 얼굴수직길이에서 미국 육군, 미국 공군 조종사에 비해 긴 것으로 나타났다.

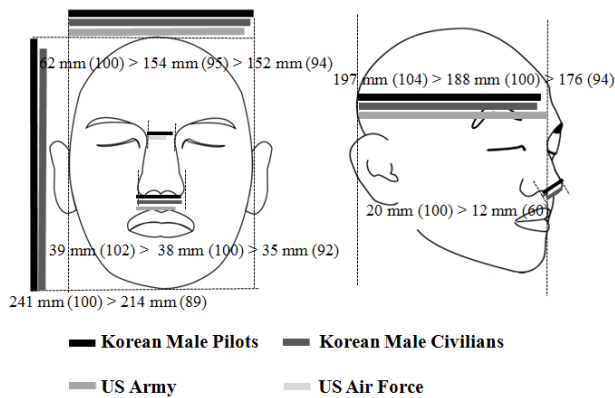


Figure 6. Dimension comparison of head height, head length, head breadth, nose width

### 3.5 Korean male pilots vs. Korean female pilots

한국인 남성 조종사와 여성 조종사 및 여생도의 얼굴 특성을 비교한 결과, 얼굴너비(여자: 127 mm; 남자: 138 mm), 얼굴수직길이(여자: 116 mm; 남자: 123 mm), 입너비(여자: 47 mm; 남자: 54 mm), 턱길이(여자: 25 mm; 남자: 29 mm) 등에서 유의한 차이가 있었다. 또한 한국인 여성 조종사와 여생도에 비해 한국인 남성 조종사들의 인체크기 변동이 1.0~1.8배 큰 것으로 파악되었다.

## 4. Discussion

본 연구는 한국인 조종사 산소 마스크 설계를 위해 필요한 안면부 측정 항목을 추출하였다. 측정 항목은 마스크, 머리 관련 문헌 조사, 마스크 사용자의 불편도 호소 부위와 측정 항목의 연관성 분석, 전문가 논의 등의 단계를 거쳐 선정되었으므로 산소 마스크 설계를 위한

안면부 측정 시 사용 적합성이 높다고 할 수 있다. 또한 본 연구에서 추출된 안면부 측정 항목은 한국인 조종사 산소 마스크의 설계 외에 다양한 종류의 반면형 마스크 설계에 활용될 수 있다.

한국인 남성 조종사와 한국인 일반 남성, 미국 육군, 미군 공군 조종사의 안면부 치수가 상이하므로 마스크 설계 시 한국 남성 조종사의 안면부를 측정하여 특성을 분석하는 것이 필요하다. 기존 한국 조종사들이 착용한 산소 마스크는 미국인의 안면부 치수를 기준으로 제작되어 한국인 조종사들이 착용 했을 때 콧대, 코옆, 입술 밑 부위, 턱 부위에서 불편도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 미국인에 비해 얼굴너비가 좁고 얼굴길이가 긴 안면부 형태를 가진 한국 조종사에게 미국인의 안면부 치수에 적합한 마스크가 착용되어 나타난 결과이다. 따라서 한국인 남성 조종사를 위한 산소 마스크 설계 시에는 한국인 조종사들의 안면부 치수 특성을 반영한 설계가 필요하다.

본 연구에서 수행한 한국인 조종사 안면부 특성 분석 결과 한국인 공군 조종사의 안면부 치수 산포가 일반인에 비해 조밀하나 미국 육군과 미국 공군 조종사와는 유사하게 나타나, 새로운 치수체계 수립 시 현행 산소 마스크의 치수 간격을 유지하여도 무방한 것으로 파악되었다. 또한 한국인 여성 조종사와 여생도에 비해 한국인 남성 조종사들의 인체크기 변동이 1.0~1.8 배 큰 것으로 나타나, 마스크 설계 시 여성 조종사의 인체특성에 적합한 마스크 형상 및 사이즈의 개발이 필요한 것으로 파악되었다.

본 연구는 한국인 남성 조종사와 미국 육군 및 공군 조종사의 안면부 특성 비교 시 보유 data의 한계로 제한된 측정 항목만을 비교하였으므로 특성 분석 결과에 대한 한계가 있다. 따라서 미국 육군, 미국 공군 조종사의 안면부 data를 추가 확보하여 한국인 남성 조종사 data와의 비교, 분석을 위한 연구가 필요하다.

## Acknowledgements

본 논문은 공군 항공기술연구소 위탁연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Churchill, Y., Clauser, C. E., McConville, J. T., Tebbetts, I. O., and Walker, R. A., 1988 *Anthropometric Survey of U.S. ARMY Personnel: Methods and Summary Statistics* (Technical Report NATICK/TR-89/044), US Army Natick Research Center: Natick, MA. 1988
- Jung, K., Cho, J., Jung, J., Park, J., Lee, W., Eum, J., Lee, J., Kang, B., Kim, H., Park, S., and You, H.. Anthropometric analysis of Korean helicopter pilots for helicopter cockpit design. *J. of the Ergonomics Society of Korea*, 27(4), 37-44. 2008.
- McConville, J. T., Alexander, M., Anthropometric sizing program for oral-nasal oxygen masks based on 1967 U.S. Air Force survey data. *Aviat Space Environ Med*, 46(11), 1383-9. 1975.
- Size Korea, *Report on the Fifth Survey of Korean anthropometry*. Korean Agency for Technology and Standards, Ministry of Commerce, Industry and Energy. 2004.

## Author listings

- Jeongrim Jeong:** limi2101@lycos.co.kr  
**Highest degree:** PhD, Department of Clothing & Textiles, Kyungpook National University  
**Position title:** Post Doc., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH  
**Areas of interest:** Clothing physiology, Clothing ergonomics
- Wonsup Lee:** mcurry@postech.ac.kr  
**Highest degree:** BS, Industrial and Media Design, Handong University  
**Position title:** PhD student, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH  
**Areas of interest:** Ergonomic product design, Product shape design based on 3D scanning, 3D human modeling, Engineering design
- Jangwoon Park:** parkjw@postech.ac.kr  
**Highest degree:** BS, Industrial Engineering, Ajou University  
**Position title:** Ph. D. student, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH  
**Areas of interest:** Digital human modeling & simulation, User-centered product design & development, Anthropometric and biomechanical methods for product & clothing design, User interface, Usability testing
- Baekhee Lee:** x200won@postech.ac.kr  
**Highest degree:** M.S., Department of Industrial Engineering, POSTECH  
**Position title:** Ph.D., Department of Industrial Engineering, POSTECH  
**Areas of interest:** Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Vehicle Ergonomic

**Eunjin Jeon:** slowjeon@hanmail.net  
**Highest degree:** PhD, Clothing & Textile, Kyungpook National University  
**Position title:** Post Doc, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH  
**Areas of interest:** Ergonomic pattern design, Pattern grading, User interface design & evaluation

**Donghoon Son:** dhson2@gmail.com  
**Highest degree:** M.S., Mechanical Engineering, Seoul National University  
**Position title:** Full-time instructor, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Air Force Academy  
**Areas of interest:** Robotics, Mechanical design

**Seikwon Park:** parksk@afa.ac.kr  
**Highest degree:** PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University  
**Position title:** Professor, Department of Systems Engineering, Korea Air Force Academy  
**Areas of interest:** Human factors in aviation and aerospace, Fatigue/Stress modeling & assessment, Human performance & workload assessment, Bio-signal measurement and analysis techniques, Biofeedback training

**Daehan Jung:** daehanj@afa.ac.kr  
**Highest degree:** PhD, Mechanical Engineering, State University of New York at Buffalo  
**Position title:** Associate Professor, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Air Force Academy  
**Areas of interest:** Fluid dynamics, Turbulence, Computer fluid dynamics

**Hee-Eun Kim:** hekim@knu.ac.kr  
**Highest degree:** PhD, Clothing physiology, Nara Women's University, JAPAN  
**Position title:** Professor, Department of Clothing & Science, Kyungpook National University  
**Areas of interest:** Clothing environment, Clothing pattern & construction, Clothing comfort

**Heecheon You:** hcyou@postech.ac.kr  
**Highest degree:** PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University  
**Position title:** Associate Professor, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH  
**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