

# An Improvement in the Sizing System of Oxygen Masks for Korean Pilots

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

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 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 aim of this study is to develop a new sizing system of the oxygen masks for Korean pilots. **Background:** It is important for Korean pilots to design an oxygen mask reflecting facial anthropometric data of Korean pilots to improve wearing comfort, oxygen supply effectiveness, and safety. **Method:** The faces of 276 Korean pilots were measured. The existing sizing system of the oxygen mask was analyzed in terms of key dimensions (face length, lip breadth) and the present wearing condition. **Results:** To select an optimal sizing system of the oxygen masks, 3 sizing systems generated by grid method, clustering method, and optimization method were compared in terms of accommodation percentage, number of sizes, and usage convenience. As a result, the sizing system generated by grid method was determined as an optimal sizing system for Korean pilots. Finally, size separation criteria of the new sizing system were adjusted for usage convenience (6 sizes, accommodation percentage: 96.4%). **Conclusion:** We developed the new sizing system of the oxygen masks reflecting characteristics of Korean pilots. **Application:** The new sizing system would be applied to Korea Air Force after a validation through a usability test.

Keywords: Oxygen mask, Sizing system, Korean pilot

## 1. Introduction

전투기 조종사가 착용하는 고성능 산소마스크(oxygen mask)는 조종사가 비행기를 조종하는 동안 원활한 임무 수행을 위하여 필수적으로 착용되는 장비이다. 전투기 조종사 산소마스크는 산소가 부족한 고도의 비행환경에서 조종사에게 원활한 산소 공급을 위해 제공되는 생명 장치이며, 조종사의 안면부에 밀착되어 사용되고 있다. 또한, 조종사들의 안면부 인체치수가 고려된 산소마스크는 조종사들의 안전한 비행, 착용 안락감 측면에 기여할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Jeong et al., 2011).

US Army 인체측정자료(Gordon et al., 1988)를 기반으로 설계된 현 산소마스크(Gentex Co., USA)는 한국인 조종사들이 착용시 압박감, 산소 누설 등의 문제점이 제기되어 개선이 요구된다. 동양인과 서양인의 안면부 형태는 얼굴수직길이, 얼굴너비, 입너비 등의 항목에서 미국인과 유의한 차이가

있는 것으로 알려져 있다(Lei et al., 2007). 서양인을 기준으로 설계된 산소마스크를 착용하는 한국인 조종사들은 산소마스크의 일부 부위에서 산소 누설을 경험하고 코 부위에 심한 압박감을 느끼고 있는 것으로 나타나(공군본부, 2006), 한국인 얼굴형에 적합한 산소마스크 형상 및 치수체계의 개발이 필요하다.

한국인 조종사 얼굴에 맞는 산소마스크 치수체계를 설계하기 위해서는 한국인 조종사 안면부에 대한 인체측정 및 분석 연구가 필요하다. 예를 들면, Jung et al. (2007)은 한국형 헬리콥터 조종실의 인체측정학적 설계를 위해 한국인 조종사의 인체크기를 직접 측정하여 분석하였다.

본 연구에서는 한국인 조종사를 위한 산소마스크 치수체계를 개발한다. 이를 위해, 본 연구는 한국인 조종사 276명의 얼굴수직길이와 입너비를 직접 측정하여, 기존 산소마스크 치수체계의 문제점과 착용현황을 파악한다. 그리고, 본 연구는 다양한 치수체계 생성방법들로 생성된 치수체계들을 비교 분석하여 최적의 치수체계를 선정한다.

## 2. Analysis of the existing oxygen mask

### 2.1 Participants

기존 산소마스크 치수체계 분석은 본 연구에서 측정된 한국인 조종사 276명(남성 조종사 248명, 여성 조종사 4명, 여성 생도 24명)의 얼굴치수를 대상으로 수행되었다. 본 연구에서 측정된 조종사의 연령은 남성  $31.4 \pm 9.7$ 세, 여성  $20.9 \pm 2.0$ 세로 파악되었다. 측정된 조종사 수는 총 305명(남성 248명, 여성 57명)이었으나, 본 연구는 공군 조종사 성별비율(남:여= 9:1)을 반영하기 위해 여성 57명 중 28명을 임의로 선정하여 성별비율을 만족하는 최대 수를 분석에 사용하였다.

### 2.2 Sizing system

현행 산소마스크 치수체계는 Figure 1과 같이 얼굴수직길이(코뿌리점 ~ 입술밑함몰점)와 입너비를 기준으로 5가지 치수(XSN: extra small narrow; SN: small narrow; MN: medium narrow; MW: medium wide; LW: large wide)로 분류된다(Table 1). 얼굴수직길이의 치수 중 medium (MN과 MW)은 치수간격이 13 mm로 설계되어 있는데, 이는 현재 마스크 재질로 하나의 치수에서 US Air Force 조종사들을 수용할 수 있는 치수간격을 의미한다. 한편, 얼굴수직길이의 치수 중 small의 경우 치수간격이 3 mm로 나타나고 있는데, 이는 원래 13 mm의 치수간격을 가지고 있었으나 운용 시 문제가 발생하여 XSN을 추가적으로 설정하여 비합리적인 치수간격이 설정된 것으로 추정된다.

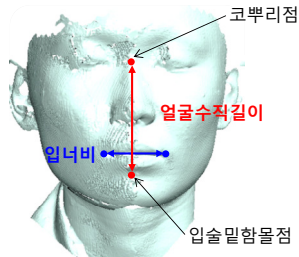


Figure 1. Key dimensions of the oxygen mask

Table 1. Existing sizing system of the oxygen mask (unit: mm)

No.	Mask 치수	얼굴수직길이		입너비	
		Range	Interval	Range	Interval
1	Extra small narrow (XSN)	< 84	-	66~82	16
2	Small narrow (SN)	84~87	3		
3	Medium narrow (MN)	87~100	13	> 82	-
4	Medium wide (MW)				
5	Large wide (LW)	> 100	-		

Table 2. Descriptive statistics of the key dimensions (unit: mm)

No.	Key dimension	Mean	SD	Min	Max	Max-Min
1	얼굴수직길이	94.1	5.3	76.0	111.2	35.2
2	입너비	53.6	4.5	41.3	64.4	23.1

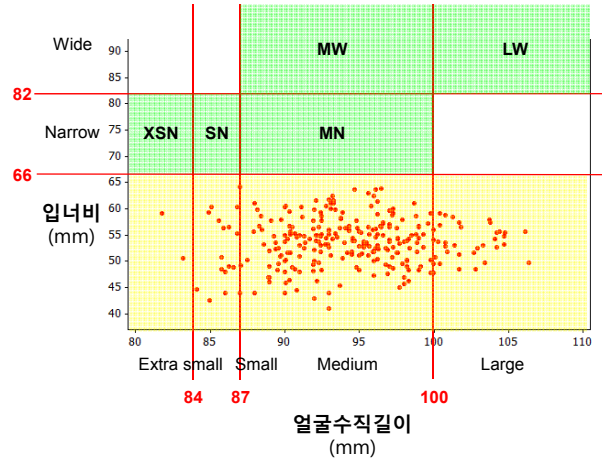
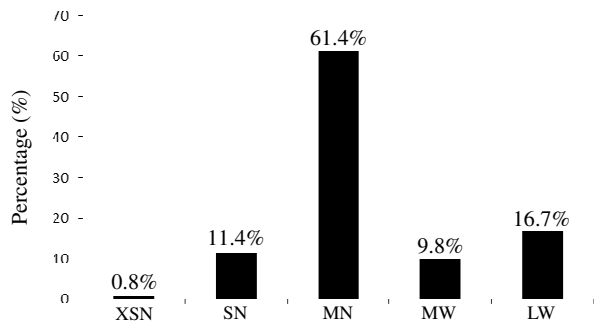


Figure 2. Korean pilot faces on key dimensions (red dot: Korean pilots;  $n = 276$ )

본 연구는 현재 산소마스크 치수체계의 입너비 치수분류 기준이 한국인 조종사 얼굴에 적합하지 않은 것을 파악하였다. Table 2는 산소마스크 주요변수에 대한 한국인 조종사의 기술적 통계치를 나타내는데, 얼굴수직길이와 입너비의 치수범위가 각각 35.2 mm와 23.1 mm이므로, 치수간격을 13 mm로 할 경우 얼굴수직길이 3개, 입너비 2개의 치수가 필요한 것을 알 수 있다. Figure 2는 산소마스크 설계의 주요 변수측면에 대해서 선별된 276명의 치수분포를 나타낸다. 현재의 얼굴수직길이 치수 중 medium 치수가 다수의 모집단을 수용(78.3%, 216명)하는 것으로 파악되었다. 한편, 입너비 치수의 경우 wide(82 mm 이상)뿐만 아니라 narrow(66 ~ 82 mm) 치수도 한국인 조종사의 입너비 크기(41.3 ~ 64.6 mm)를 수용하지 못하는 것으로 나타나, 현재 입너비 치수 분류기준은 한국인 조종사 얼굴에 부적절한 것으로 파악되었다.

### 2.3 Present wearing condition

현재 조종사가 착용하고 있는 산소마스크 치수와 본 연구에서 직접 측정된 얼굴치수를 비교 분석한 결과, 한국인 조종사의 38.6%가 측정된 얼굴크기와 불일치하는 산소마스크를 착용하는 것으로 나타났다. Figure 3은 현재 한국인 조종사들이 가장 많이 착용하고 있는 치수는 MN 치수(61.4%), 가장 적게 착용하는 치수는 XSN 치수(0.8%)인 것을 보여준다. Table 3은 얼굴수직길이에 대해 현재 조종사가



**Figure 3.** Wearing condition of the Korean pilots ( $n = 246$ ; 여성생도 28명, 설문누락 2명 제외)

**Table 3.** 측정치 vs. 실제착용 치수(얼굴수직길이)

	Relative frequency (%)	측정치 기반 치수				Total
		XS	S	M	L	
실제 착용 치수	XS(< 84 mm)	-	0.4*	1.6*	-	2.0
	S(84~87 mm)	-	1.6	4.9*	-	6.5
	M(87~100 mm)	0.8**	9.0**	55.3	12.2*	77.3
	L(> 100 mm)	-	0.4**	9.3**	4.5	14.2
Total		0.8	11.4	71.1	16.7	100.0

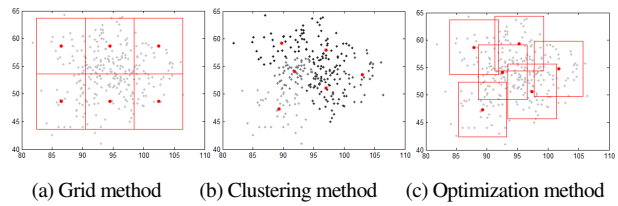
※ Shaded section: 맞게 착용, \*작게 착용, \*\*크게 착용

착용하고 있는 치수와 조종사 얼굴을 직접 측정한 치수의 교차표(cross tabulation)인데, XS 치수는 측정치 기반 치수와 실제 착용 치수가 모두 없어 S 치수와 통합이 가능한 것으로 분석되었다. 또한, 조종사의 측정된 얼굴수직길이 치수가 M 치수(치수간격: 13 mm)인 경우 M 치수의 산소마스크 외의 XS, S, L 치수를 착용하는 조종사가 각각 1.6%, 4.9%, 9.3%만큼 분포되는 것으로 나타나 현재 산소마스크의 재질은 신축성이 상당히 좋은 것으로 파악되었다. 마지막으로, 산소마스크를 본인 얼굴수직길이에 일치하게 착용하는 조종사는 61.4%로 나타났으며, 크게는 19.5%, 작게는 19.1% 착용하는 것으로 파악되었다.

### 3. Results

#### 3.1 Generation methods of the sizing system

본 연구는 한국인 조종사 산소마스크의 최적 치수체계 선정을 위하여 3가지 치수체계 생성방법(grid method, clustering method, optimization method)을 적용하여 인구수용 비율, 치수 개수를 비교 분석하였다. 치수체계 생성시 목표 인구수용비율은 95%로 설정되었으며, 치수간격은 기존 치수간격(얼굴수직길이: 13 mm, 입너비: 16 mm)보다 각 치수 별로 더 많은 조종사를 수용할 수 있도록 10mm로 결정되

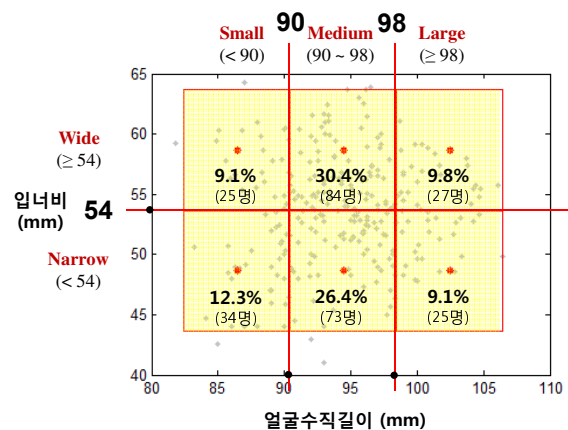


**Figure 4.** Generated 3 sizing systems (x축: 얼굴수직길이, y축: 입너비; gray dot: Korean pilots, red dot: centroid of a grid; unit: mm)

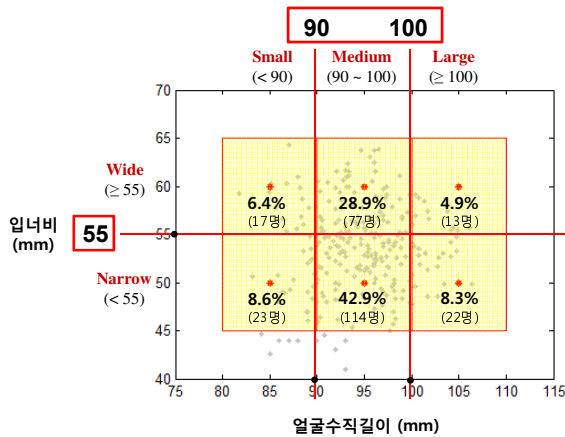
었다. Figure 4는 grid method (Robinette and Annis, 1986), clustering method (Laing et al., 1999), 그리고 optimization method (McCulloch et al., 1998)로 생성된 산소마스크 치수체계를 나타낸다. 치수 개수는 모두 6가지로 생성되었으며, 인구수용비율은 각각 97.1%, 95.7%, 그리고 95.7%로 모두 목표 인구수용비율을 만족하는 것으로 나타났다.

#### 3.2 New sizing system

본 연구는 인구수용비율과 치수개수 측면에서 유사한 성능을 보이는 3가지 치수체계 중 사용성을 고려하여 grid method를 사용한 치수체계(6가지 치수, 인구수용비율 96.4%)를 최적의 치수체계로 선정하였다(Figure 5. b). Grid method로 생성된 치수체계는 Figure 5. a와 같이 얼굴수직길이는 small (< 90 mm), medium (90 ~ 98 mm), large ( $\geq 98$  mm)로 구분되고, 입너비는 narrow (< 54 mm)와 wide ( $\geq 54$  mm)로 구분된다. 본 연구는 치수선택의 간편성을 고려하여 얼굴수직길이는 90, 100 mm를 기준으로, 입너비는 55 mm를 기준으로 치수체계를 조정하였다(Figure 5. b). 조정된 최종 치수체계는 인구수용비율이 기존 97.1%에서 96.4%로 0.7% 감소하였으나, 산소마스크 재질의 특성을 고려했을 때 100% 한국인 조종사를 수용할 수 있을 것으로 추정된다.



(a) Before adjustment



(b) After adjustment

**Figure 5.** Optimal sizing system for Korean pilots (gray dot: Korean pilots, red dot: centroid of a grid)

## 4. Discussion

본 연구는 현 산소마스크 치수체계(중요변수: 얼굴수직길이, 입너비)에 대하여 한국인 조종사와의 적합성을 분석하여 입너비 치수분류 기준이 적합하지 않은 점을 파악하였다. 현 산소마스크(Gentex Co., USA)의 치수체계는 US Army 인체측정자료(Gordon et al., 1988)의 얼굴수직길이와 입너비를 기준으로 5가지 치수(extra small narrow, small narrow, medium narrow, medium wide, large wide)로 구분되어 있다. 본 연구는 현 산소마스크 치수체계에 측정된 조종사 인체측정 자료를 적용하여 얼굴수직길이와 입너비 측면에서 분석한 결과, 얼굴수직길이의 경우 현 치수체계가 한국인 조종사 얼굴이 모두 수용되는 것으로 파악되었다. 그러나, 입너비 분류기준(narrow: 66 ~ 82 mm; wide: < 82 mm)의 경우 한국인 조종사의 입너비 크기(41.3 ~ 64.4 mm)를 전혀 수용하지 못해 부적합한 것으로 나타났다.

본 연구는 현재 한국인 조종사의 38.6%가 측정된 얼굴크기와 상이한 치수를 착용(크게 착용: 19.5%, 작게 착용: 19.1%)하고 있는 것을 파악하였다. 상이한 치수를 착용하는 이유로는 첫째, 조종사가 정확한 본인의 얼굴크기를 모르기 때문인 것으로 추정해 볼 수 있다. 실제로 조종사들은 산소마스크 치수선택을 위해 대부분 본인의 얼굴수직길이와 입너비를 측정하지 않는다. 둘째, 조종사가 산소마스크 치수 선택 시 얼굴수직길이와 입너비 외에 얼굴전체에 대한 적합성을 고려하기 때문인 것으로 추정될 수 있다. 조종사가 얼굴수직길이와 입너비 측면보다 산소마스크와 관련되는 나머지 얼굴변수들(예: 얼굴너비, 코높이 등)의 적합성

을 더 중요하게 생각한다면, 얼굴수직길이와 입너비의 기준이 조금 부적합하더라도 상이한 치수를 사용할 수 있다.

본 연구는 현재 산소마스크의 여러 가지 재질 특성 중 신축성이 우수한 것을 파악하였다. 현재 얼굴수직길이 medium 치수(치수간격: 13 mm)는 인접치수(M 치수보다 작은 extra small과 small; M 치수보다 큰 large)의 조종사도 사용할 수 있는 것으로 나타나, 현재 산소마스크는 기준 치수보다 작은 치수 및 큰 치수를 모두 수용할 수 있는 유연한 재질로 설계되어 있는 것을 파악할 수 있었다.

본 연구는 최적 산소마스크 치수체계 선정을 위하여 3가지 치수체계 생성방법(grid method, clustering method, optimization method) 중 인구수용비율, 치수 개수, 그리고 사용용이성 측면의 비교분석을 통하여 최적 치수체계를 선정하였다. 본 연구는 먼저 3가지 치수체계 생성방법 중 치수의 개수(6가지)는 모두 같았지만, 인구수용비율이 97.3%로 가장 높은 grid method가 적용된 치수체계를 선정하였다. 그리고 본 연구는 조종사들의 치수선정 용이성을 고려하여 치수를 조정(얼굴수직길이: 90, 98 mm → 90, 100 mm; 입너비: 54 mm → 55 mm; 인구수용비율: 96.4%)하였다. 선정된 치수체계는 산소마스크 재질의 신축성을 고려했을 때 한국인 조종사를 100% 수용할 것으로 기대되며, 부적합한 것으로 분석되었던 입너비 기준이 한국인 조종사 얼굴에 맞게 개선되어 한국인 조종사들이 기존보다 더 적절한 치수선택이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서 설계된 신규 산소마스크 치수체계는 추후 사용성 평가를 통한 적합성 검증이 필요하다. 적합성 검증은 신규 치수체계를 산소마스크 설계에 반영하여 조종사들을 대상으로 착용평가(탐색평가, 확장평가, 검증평가)를 통해 수행될 수 있다. 본 연구는 검증된 산소마스크 치수체계가 실제로 한국 공군 산소마스크에 적용되어 한국 공군 전투력 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## Acknowledgements

본 연구는 공군 항공기술연구소 위탁연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한, 본 연구는 환경부의 에코디자인 특성화 대학원 전문인력 양성사업의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Jeong, J., Lee, W., Park, J., Lee, B., Jeon, E., Son, D., Park, S., Jung, D., Kim, H., and You, H., Analysis of the Facial Anthropometric Data of Korean Pilots for Oxygen Mask Design, In *Proceedings of the 2011 Spring Conference of Ergonomics Society of Korea*, 2011.
- Jung, K., *Development of a Multivariate Representative Human Model generation Method for Anthropometric Design*, Unpublished Ph.D. dissertation, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea, 2009.
- 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.
- Laing, R. M., Holland, E. J., and Niven, B. E., Development of sizing systems for protective clothing for the adult male, *Ergonomics*, 42(10), 1249-1257, 1999.
- Lee, B., *Development of a Distributed Representative Human Model generation and analysis system*, Unpublished M.S. thesis, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea, 2011.
- 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.
- McCulloch, C. E., Paal, B., and Ashdown, S.P., An optimization approach to apparel sizing, *Journal of the Operational Research Society*, 49, 492-499, 1998.
- Robinette, K. M., and Annis, J. F., A Nine-Size System for Chemical Defense Gloves (Technical Report AAMRL-TR-86-029), Ohio: Wright-Patterson Air Force Base, 1986.

## Author listings

**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 Ergonomics

**Wonsup Lee:** mcurry@postech.ac.kr

**Highest degree:** B.S., Industrial and Media Design, Handong University  
**Position title:** Ph.D., Department of Industrial Engineering, POSTECH  
**Areas of interest:** Ergonomic product design, Product shape design based on 3D scanning, 3D human modeling, Engineering design

**Jeongrim Jeong:** limi2101@lycos.co.kr

**Highest degree:** Ph.D., Department of Clothing & Textiles, Kyungpook National University

**Position title:** Post Doc., Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Clothing physiology, Clothing ergonomics

**Eunjin Jeon:** slowjeon@hamail.net

**Highest degree:** Ph.D., Department of Clothing & Textiles, 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:** Ph.D., 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:** Ph.D., 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

**Heeun Kim:** hekim@knu.ac.kr

**Highest degree:** Ph.D., 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:** Ph.D., 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