JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(3): 291-300
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.3.291
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

A Determination Method of Representative Points in the Space of Principal Components for Generation of Representative Cases

Kihyo Jung

University of Ulsan, School of Industrial Engineering, Ulsan, 44610

대표 인체 모델 생성을 위한 주성분 공간의 대표점 결정 기법 개발

정 기 효

울산대학교 산업경영공학부

Corresponding Author
Kihyo Jung
University of Ulsan, School of Industrial Engineering, Ulsan, 44610
Mobile : +82-10-5526-6381
Email : kjung@ulsan.ac.kr

Received : May 02, 2018
Revised : May 16, 2018
Accepted : June 12, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: This study developed a determination method of representative points in the space of principal components to generate representative cases for anthropometric design and digital human simulation.

Background: The advanced generation method using principal component analysis can create a group of representative cases that statistically accommodate a designated percentage of design target users. However, a specific determination method of representative points to generate representative cases has not been proposed in existing studies.

Method: This study proposed a determination method of representative points on an n-dimensional ellipse formed in the space of principal components. The proposed method determined representative points on each principal component and on the combination of principal components using an optimization model. The performance of proposed method was evaluated by generating representative cases for anthropometric design and digital human simulation of airplane cockpit.

Results: The proposed method selected eight representative points on an ellipse formed to accommodate 95% of design target users in the space of two principal components. The selected points represented one overall small user, two small users with different body proportion, two medium users with different body proportion, two large users with different body proportion, and one overall large user.

Conclusion: The proposed method properly determined representative points on an ellipse in principal components.

Application: The proposed method can be used to generate representative cases using principal component analysis for anthropometric design and digital human simulation.

Keywords: Representative case, Anthropometric design, Digital human simulation, Principal component analysis

1. Introduction

인간공학적 설계 및 평가를 위한 대표 인체 모델(representative cases)은 전통적으로 퍼센타일 기법(percentile method)을 활용해 생성되고 있다. 대표 인체 모델은 제품 사용자의 인체 크기를 대표하는 소수의 인체 모델(예: 10명 내외)로 인체측정학적 설계 및 가상환경상 평가에 활용된다(Jung et al., 2010a; Kwon et al., 2009; Jung et al., 2008; Park et al., 2008). 예를 들면, Jung et al. (2007, 2010b)과 Lee et al. (2010)은 대표 인체 모델을 인체측정학적 컴퓨터 워크스테이션 설계와 가상환경상 방폐장 주제어실 평가에 적용하였다. 대표 인체 모델의 인체 크기는 일반적으로 제품 사용자의 인체 크기에 대한 퍼센타일로 정의되고 있다(HFES300, 2004). 예를 들면, 제품 사용자의 95%를 대표하는 인체 모델의 인체 크기는 제품 사용자에 대한 인체 측정 자료의 2.5th 퍼센타일과 97.5th 퍼센타일(범위 = 95%)로 결정된다.

퍼센타일 기법은 두 가지 측면(다변량 수용 비율, 인체 크기 대비)의 이론적 한계점이 있다. 첫째, 퍼센타일 기법으로 생성된 대표 인체 모델은 다변량 수용 비율(multivariate accommodation percentage)이 목표 비율을 적합하게 만족하지 못하는 것으로 보고되고 있다(Jung, 2013; Roebuck et al., 1975; Roebuck, 1995). 다변량 수용 비율은 생성된 대표 인체 모델의 인체 크기 범위에 포함(수용)되는 사용자의 비율로 정의된다(Jung et al., 2011; Meindl et al., 1993). 퍼센타일 기법으로 생성된 대표 인체 모델은 인체 변수의 개수가 증가할수록 다변량 수용 비율이 목표 비율보다 현저히 저하되는 것으로 알려지고 있다. Figure 1을 예로 들면, 목표 비율이 95%이고 인체 변수가 2개이면, 단일변량 수용 비율(univariate accommodation percentage)는 목표 비율인 95%를 만족하지만 다변량 수용 비율은 90.6%로 목표 비율보다 약 4.4% 저하된다.

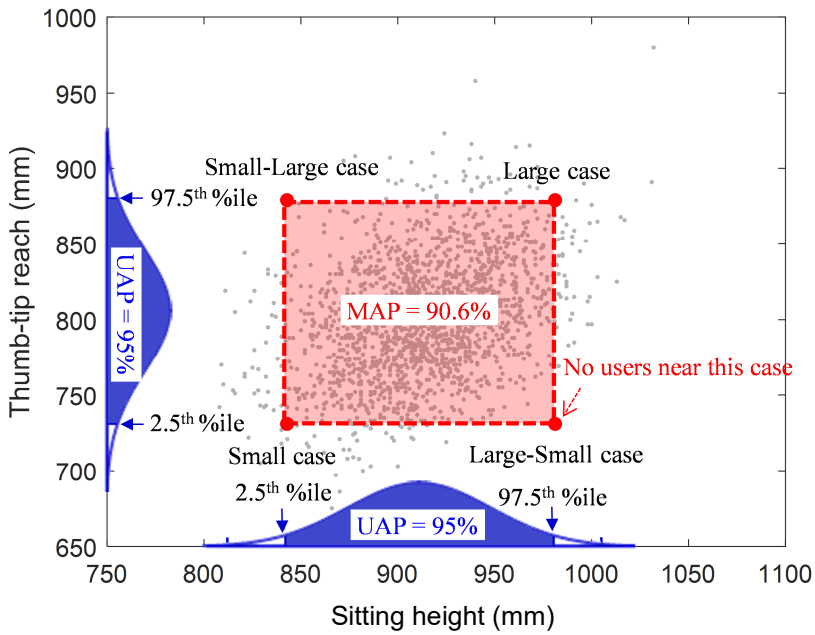


Figure 1. Illustration of percentile cases for two body dimensions (UAP: univariate accommodation percentage, MAP: multivariate accommodation percentage, small dots: design target users, large dots: percentile cases)

둘째, 퍼센타일 기법은 인체 크기가 대비되는(예: 앉은 키는 크고 팔 길이는 짧은 사람) 대표 인체 모델을 생성할 수 없는 한계점이 있다. 인체측정학적 설계 및 가상환경상 평가에는 인체 크기가 모두 크거나 모두 작은 인체 모델뿐만 아니라, 인체 크기가 대비되는 인체 모델의 고려가 필요하다(Bittner, 2000). 예를 들면, 자동차의 운전석과 운전대의 위치 조절 범위를 설계하기 위해서는 앉은 키와 팔 길이가 모두 크거나 작은 인체 모델뿐만 아니라 앉은 키는 크나 팔 길이가 짧은 인체 모델과 앉은 키는 작으나 팔 길이가 긴 인체 모델의

고려가 필요하다. 그러나 퍼센타일 기법은 인체 크기가 대비되는 인체 모델을 작은 퍼센타일(예: 2.5th %ile)과 큰 퍼센타일(예: 97.5th %ile)의 조합으로 생성할 경우, Figure 1에 예시적으로 나타낸 것과 같이 해당 대표 인체 모델과 유사한 크기를 가지는 실제 사용자가 존재하지 않는 한계점이 있다.

퍼센타일 기법의 한계점을 보완하기 위해 주성분 분석(principal component analysis)을 활용한 대표 인체 모델 생성 기법(이하, 주성분 기반 기법)이 활용되고 있다. 주성분 기반 기법은 인체 변수에 대한 주성분 분석을 통해 소수의 주성분(예: 2~3개)을 추출하고, 추출된 주성분 공간에서 목표 비율의 사용자(예: 95%)를 포함하는 타원을 Figure 2와 같이 생성한다(Meindl et al., 1993; Hsiao et al., 2005). 그리고 난 후, 타원의 주변부에서 대표 인체 모델을 생성할 위치를 결정한다. 주성분이 2개인 Figure 2를 예로 들면, cases 1과 8은 첫 번째 주성분(x 축)의 값이 작거나 큰 인체 모델이며, cases 4와 5는 두 번째 주성분(y 축)의 값이 작거나 큰 인체 모델이다. 그리고 cases 2과 7은 두 주성분의 값이 모두 작거나 큰 인체 모델이며, cases 3과 6은 하나의 주성분이 크고 나머지 하나의 주성분이 작은 인체 모델이다. 따라서 주성분 기반 기법은 목표 비율의 사용자를 포함하는 타원에서 다양한 인체 크기 조합을 가지는 인체 모델을 효과적으로 생성할 수 있다.

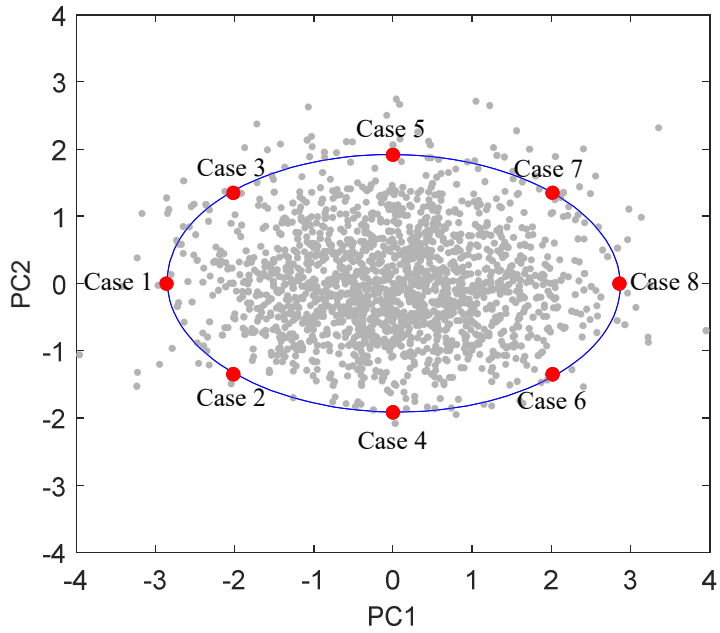


Figure 2. Illustration of representative cases on the ellipse boundary in two principal components (PC: principal component, small dots: design target users, large dots: representative cases)

주성분 기반 기법은 주성분 공간에 정의된 타원에서 대표 인체 모델을 생성할 위치를 수리적으로 결정하는 방법을 제시하고 있지 않다. 주성분 기반 기법을 최초로 제안한 Meindl et al. (1993)은 주성분이 2개와 3개인 경우에 대해 타원 상의 대표점을 결정하는 원칙을 제시하였다. 주성분이 2개인 경우를 예로 들면, 타원 상의 대표점은 각 주성분이 타원과 접하는 4개 점(Figure 2의 cases 1, 4, 5, 8)과 주성분 2개의 조합과 타원이 접하는 4개 점(Figure 2의 cases 2, 3, 6, 7)으로 정의하였다. 이와 같이, Meindl et al. (1993)은 타원 상의 대표점을 결정하는 일반적인 원칙을 제시하였으나, 수리적으로 대표점을 결정하는 구체적인 방법을 제시하지 않았다.

본 연구는 주성분 공간에 정의된 타원에서 대표 인체 모델을 생성할 위치를 수리적으로 결정하는 기법을 개발하였다. 본 연구의 대표점 결정 기법은 타원의 축 길이를 활용하여 각 주성분과 타원이 접하는 점을 결정하고, 타원에 내접하는 최대 면적 사각형을 수리적으로 계산하여 주성분 조합이 타원과 접하는 점을 결정한다. 본 연구는 개발된 기법을 인체측정학적 조종실 설계를 위한 대표 인체

모델 생성에 적용하여 성능을 평가하였다. 본 연구의 대표점 결정 기법은 인체측정학적 설계 및 가상환경상 평가를 위한 주성분 기반 대표 인체 모델 생성 시 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

2. Proposed Determination Method of Representative Cases

주성분 기반 기법은 4단계 절차(주성분 분석, 타원 생성, 대표점 결정, 대표 인체 모델 추정)를 통해 대표 인체 모델을 생성한다(Meindl et al., 1993; Jung, 2018). 첫째 단계는 인체 변수들에 대한 주성분 분석을 통해 소수(예: 2~3개)의 주성분을 선정한다. 둘째 단계는 선정된 주성분 공간에서 목표 비율의 사용자(예: 95%)를 포함하는 타원을 형성한다. 셋째 단계는 생성된 타원의 주변부에서 대표 인체 모델을 생성할 위치를 결정한다. 마지막 단계는 주성분 공간에서 정의된 대표 인체 모델의 생성 위치를 주성분과 인체 변수 간의 통계적 연관 관계를 고려하여 대표 인체 모델의 크기를 추정한다. 본 연구는 상술된 4단계의 절차 중에서 Meindl et al. (1993)에 구체적으로 제시되지 않은 대표점 결정 방법을 새롭게 제안하였다.

본 연구의 대표점 결정 기법은 Figure 3에 예시적으로 나타낸 것과 같이 목표 비율(예: 95%)의 사용자를 포함하는 타원에서 두 종류의 대표점(주성분과 타원의 접점, 주성분 조합과 타원의 접점)을 수리적으로 결정한다. 먼저, 주성분과 타원의 접점은 타원의 축 길이를 활용하여 결정된다. Figure 3을 예로 들면, 주성분과 타원의 접점은 타원의 장축(PC1) 길이(a_1)와 단축(PC2) 길이(a_2)를 활용하여 case 1 ($-a_1$, 0), case 4 (0, $-a_2$), case 5 (0, a_2), case 8 (a_1, 0)로 정의된다.

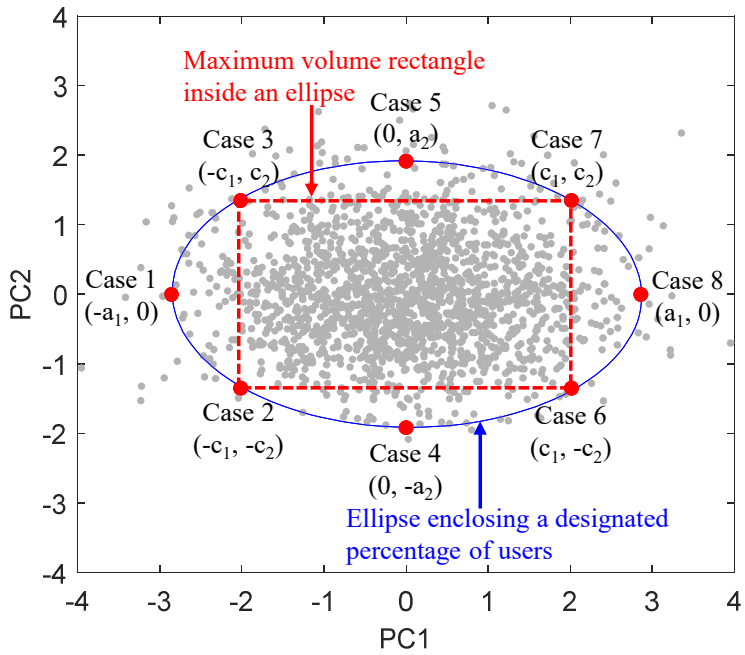


Figure 3. Illustration of representative points on the boundary of an ellipse defined in two principal components (PC) (a: axis length of an ellipse, c: corner point of a rectangle, PC: principal component, small dots: design target users, large dots: representative cases)

주성분 조합과 타원의 접점은 식 1의 최적화 모델을 활용하여 찾은 사각형의 모서리로 결정된다. 최적화 모델의 목적 함수는 사각형의 면적을 최대화하는 함수이며, 제약식은 사각형의 모서리가 타원 내부에 포함되게 하는 제약 조건이다. Figure 3을 예로 들면, 주성분 조합과 타원의 접점은 최적화 모델을 활용해 파악된 사각형의 모서리인 case 2 ($-c_1$, $-c_2$), case 3($-c_1$, c_2), case 6 (c_1, $-c_2$), case 7 (c_1, c_2)로 결정된다.

$$\max \mathrm{abs}(\mathrm{prod}(\mathrm{c})) \quad (1)$$
$$\text{s.t. } (\boldsymbol{C}-o)^T\boldsymbol{A}(\boldsymbol{C}-o) \le 1$$

where: c = first row vector of matrix $\boldsymbol{C}$,
$\boldsymbol{C}$ = *m*-by-*n* matrix of corner points of a *n*-dimensional rectangle,
o = *n*-by-1 matrix of the center of *n*-dimensional ellipsoid,
$\boldsymbol{A}$ = *n*-by-*n* matrix of *n*-dimensional ellipse equation in the center form,
m = number of corner points, and
n = number of principal components.

3. Performance Evaluation of the Proposed Method

3.1 Method and materials

3.1.1 Anthropometric database and body dimensions

본 연구에 제안된 대표점 생성 기법의 성능은 US Army 인체 측정 자료(Gordon et al., 1988)를 사용하여 평가되었다. US Army 자료는 인체 변수 132개에 대한 방대한 치수 자료를 제공하고 있어 다양한 제품 및 시스템의 인체측정학적 설계 및 가상환경상 평가에 응용되고 있다. 본 연구는 제안된 기법의 성능 평가에 US Army의 남성 자료(1,774명)를 활용하였다.

본 연구의 인체 변수는 인체측정학적 조종실 설계와 관련된 기존 연구(Zehner et al., 1999; Meindl et al., 1993)를 참조하여 Table 1에 나타낸 6종으로 결정되었다. 예를 들면, 앉은 키는 조종사의 머리와 조종실 캐노피(canopy) 간의 여유공간 설계와 관련이 있으며, 눈 높이는 조종실 내/외부 시계성 및 조종석 높이 설계와 관련이 있다.

Table 1. Anthropometric dimensions and summary statistics for cockpit design (unit: mm)

Anthropometric dimension	Code	Mean	SD	Min	Percentile					Max
					2.5th	5th	50th	95th	97.5th	
Sitting height	AD1	913.9	35.6	808.0	842.9	855.0	914.0	972.0	981.2	1032.0
Eye height	AD2	792.0	34.2	673.0	723.0	737.0	792.0	848.0	857.0	903.0
Acromial height	AD3	597.8	29.6	501.0	537.0	549.0	598.0	646.0	655.0	695.0
Thumbtip reach	AD4	800.8	39.2	662.0	731.0	740.0	800.0	865.0	879.2	980.0
Button-to-knee length	AD5	616.4	29.9	506.0	560.0	568.0	615.0	668.0	678.0	723.0
Knee height	AD6	558.8	27.9	454.0	506.0	514.0	557.0	605.0	614.0	675.0

3.1.2 Selection of principal components

본 연구는 선정된 인체 변수에 대한 주성분 분석을 통해 Table 2에 나타낸 것과 같이 전체 변동의 90.9%를 설명하는 2개의 주성분을 추출하였다. 첫 번째 주성분은 모든 인체 변수와 양의 상관관계를 보이고 있어 모든 인체 변수의 크기를 한번에 조절하는 성분인 것으로 파악되었다. 두 번째 주성분은 상체와 하체 관련 인체 변수의 부호가 상반되므로 상체와 하체의 크기를 서로 반대로 조절하는 성분인 것으로 분석되었다.

Table 2. Principal component analysis results

Anthropometric dimension	Code	PC1 (overall size)	PC2 (contrast between upper and lower bodies)
Sitting height	AD1	0.430	-0.397
Eye height	AD2	0.427	-0.401
Acromial height	AD3	0.410	-0.381
Thumbtip reach	AD4	0.385	0.430
Button-to-knee length	AD5	0.382	0.442
Knee height	AD6	0.413	0.396
Eigen value		3.844	1.610
% cumulative variance		64.1	90.9

3.1.3 Formation of an ellipse

본 연구는 기존 연구(Jung, 2018; Jung et al., 2009)를 참고하여 설계 모집단의 95%를 수용하는 타원을 Figure 4와 같이 생성하였다. 생성된 타원은 선정된 2개의 주성분 공간에서 설계 모집단의 95%를 포함하는 최소 면적의 타원으로 정의되었다. 생성된 타원의 면적은 29.88로 나타났으며, 타원의 장축(첫 번째 주성분)과 단축(두 번째 주성분)의 반지름은 4.72와 3.10으로 파악되었다.

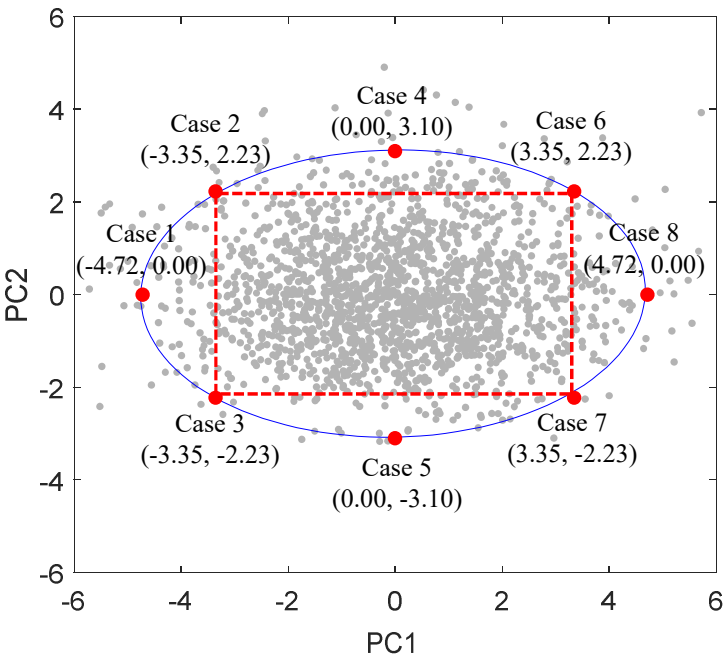


Figure 4. Representative points (red dots) on the ellipse defined in two principal components (PC: principal component, small dots: design target users, large dots: representative cases)

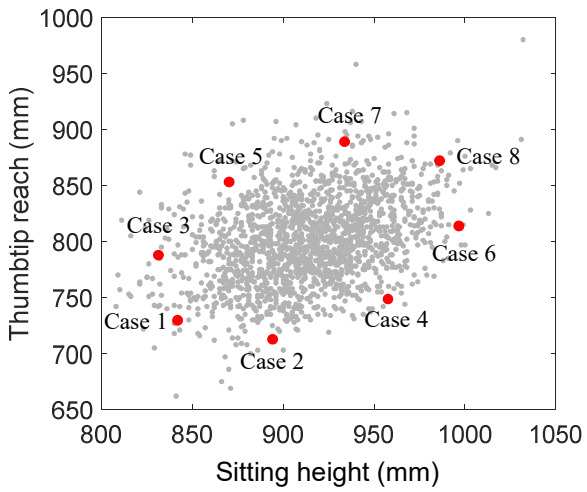
3.2 Evaluation results

본 연구의 대표점 결정 기법은 Figure 4에 나타낸 것과 같이 8개의 대표점을 생성하였다. 먼저, 주성분과 타원의 접점은 타원의 장축(x 축)과 단축(y 축)이 타원과 접하는 4개의 점(Figure 4의 cases 1, 4, 5, 8)으로 정의되었다. 그리고 주성분 조합과 타원의 접점은 타원에 내접하는 최대 면적 사각형(면적 = 29.3)의 모서리 점(Figure 4의 cases 2, 3, 6, 7)으로 결정되었다.

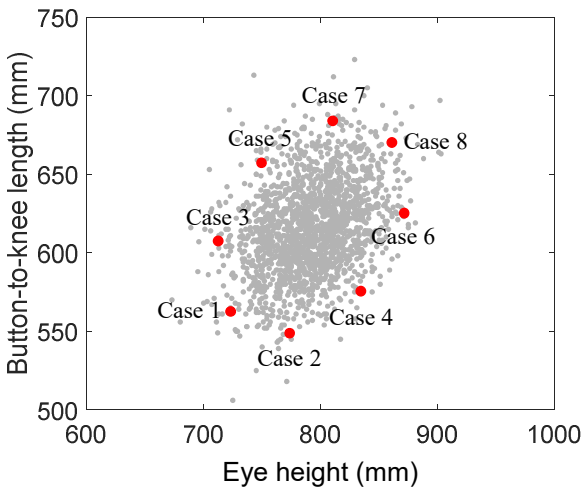
대표 인체 모델의 인체 크기는 기존 연구(Meindl et al., 1993)를 참고하여 주성분 공간에서 정의된 8개의 대표점을 인체 크기로 환원하여 Table 3과 같이 계산되었다. 생성된 대표 인체 모델은 Figure 5에 나타낸 것과 같이 설계 모집단의 다양한 인체 크기 조합을 대표하는 것으로 나타났다. Figure 5를 예로 들면, case 1은 모든 인체 변수의 크기가 작은 사용자를 대표하고, cases 2와 3은 인체 크기가 작지만 인체 변수의 크기 비율이 대비되는 사용자를 대표한다. Cases 4와 5는 인체 크기가 평균에 가까우나 인체 변수의 크기 비율이 대비되는 사용자를 대표한다. Case 6과 7은 인체 크기가 크지만 인체 변수의 크기 비율이 대비되는 사용자이며, case 8은 모든 인체 변수의 크기가 큰 사용자를 나타낸다.

Table 3. Body sizes of representative cases (unit: mm)

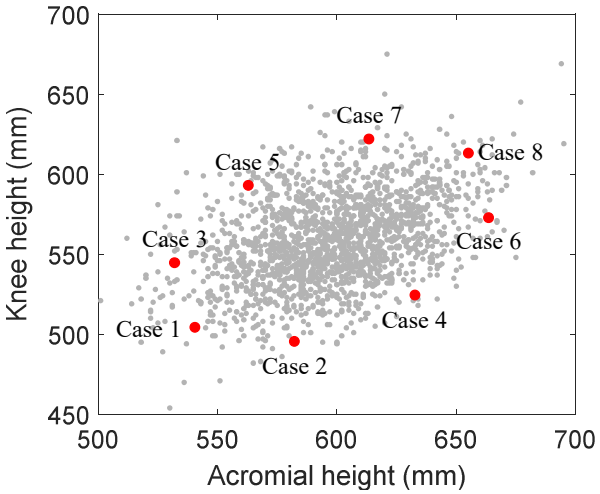
Anthropometric dimension	Code	Case							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Sitting height	AD1	842.0	833.2	895.3	871.0	956.9	932.6	994.7	985.8
Eye height	AD2	723.3	714.3	774.7	750.2	833.7	809.3	869.6	860.7
Acromial height	AD3	540.7	533.5	583.1	563.5	632.1	612.4	662.0	654.9
Thumbtip reach	AD4	729.9	788.9	714.8	852.2	749.5	886.9	812.8	871.8
Button-to-knee length	AD5	562.8	608.4	550.3	656.6	576.2	682.5	624.4	670.0
Knee height	AD6	504.6	545.7	497.0	592.5	525.1	620.6	571.9	613.0



(a) Sitting height and thumb-tip reach



(b) Eye height and buttock-to-knee length



(c) Acromial height and knee

Figure 5. Body sizes of the representative cases (small dots: design target users, large dots: representative cases)

4. Discussion

본 연구는 주성분 기반 대표 인체 모델 생성을 위해 주성분 공간에 정의된 타원의 대표점을 수리적으로 결정하는 새로운 기법을 개발하였다. 주성분 기반 기법을 최초로 제안한 Meindl et al. (1993)은 타원 상의 대표점을 결정하는 구체적인 방법을 제시하고 있지 않다. 그러나 본 연구는 타원의 축 길이와 타원에 내접하는 최대 면적 사각형을 찾는 최적화 모델을 활용하여 타원의 대표점을 결정하는 수리적 방법을 제안하였다. 본 연구는 제안된 기법의 성능과 응용성을 조종실 설계를 위한 대표 인체 모델 생성에 적용하여 검증하였다.

본 연구의 대표점 결정 기법은 주성분의 개수에 관계 없이 범용적으로 적용될 수 있다. Meindl et al. (1993)은 주성분의 개수가 2개와 3개인 경우에 대해 대표점을 결정하는 일반적인 원칙을 제시하였다. 그러나 본 연구의 대표점 결정 기법은 타원의 축 길이와 타원에 내접하는 최대 면적 사각형을 활용하여 대표점을 결정하기 때문에 주성분의 개수에 관계 없이 적용될 수 있다. 그러나 본 연구에 제안된 기법의 범용성을 검증하기 위해서는 후속 연구로 주성분이 3개 이상인 경우에 대한 사례 연구가 필요하다.

본 연구에 생성된 대표 인체 모델은 설계 대상 사용자의 다양한 인체 크기를 적합하게 대표하는 것으로 나타났다. Cases 1, 2, 3은 인체 크기가 작다는 공통점이 있으나, 인체 변수의 크기 비율이 서로 상이하다. 또한 cases 4와 5는 인체 크기가 평균에 가까우나 인체 변수의 크기 비율이 상이하다. 마지막으로, cases 6, 7, 8은 인체 크기가 크다는 공통점이 있으나, 인체 변수의 크기 비율이 서로 다르다. 따라서 본 연구의 주성분 기반 기법은 인체 크기가 작고 큰 인체 모델뿐만 아니라 인체 크기의 비율(예: 앉은 키는 작으나, 팔 길이는 긴 사용자)이 서로 다른 인체 모델을 효과적으로 생성할 수 있다.

본 연구에 제안된 대표점 결정 기법을 일반화하기 위해서는 3가지 측면의 후속 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구는 인체측정학적 조종실 설계를 위한 대표 인체 모델 생성에 응용하여 개발된 기법의 성능을 평가하였다. 그러나 제안된 기법의 성능을 종합적으로 평가하기 위해서는 보다 다양한 설계 문제에 개발된 기법을 응용하여 성능을 평가하는 후속 연구가 필요하다. 둘째, 본 연구의 대표점 결정 기법을 응용한 주성분 기반 기법을 설계 실무자들이 쉽게 사용할 수 있게 하기 위해서는 대표 인체 모델 생성 시스템의 개발이 필요하다. 본 연구의 대표점 결정 기법은 최적화 기법을 활용하여 대표점을 결정하기 때문에 최적화 기법에 대한 이해가 필요하다. 따라서 설계 실무자들이 주성분 기반 대표 인체 모델을 쉽게 생성하기 위해서는 주성분 기반 기법을 시스템화하는 후속 연구가 요구된다. 마지막으로, 본 연구의 기법은 기존 연구(Meindl et al., 1993)를 참고하여 $n \times 2 + 2^n$ (n: 주성분의 개수)개의 대표점을 타원 상에서 결정한

다. 그러나 타원에서 몇 개의 대표점을 추출해야 설계 모집단의 다양한 인체 크기를 대표할 수 있는지에 대한 연구는 아직까지 전무한 실정이다. 따라서 타원을 통계적으로 대표하는 적정 대표점의 개수를 과학적으로 결정하는 방법에 대한 후속 연구로 필요하다.

5. Conclusion

본 연구는 인체측정학적 설계 및 가상환경상 평가를 위한 대표 인체 모델 생성을 위해 주성분 공간에 정의된 타원의 대표점을 결정하는 기법을 개발하였다. 본 연구의 대표점 결정 기법은 타원 축의 길이와 타원에 내접하는 최대 면적 사각형을 찾는 최적화 모델을 활용하여 타원의 대표점을 결정한다. 본 연구는 제안된 기법의 성능과 유용성을 인체측정학적 조종실 설계를 위한 대표 인체 모델 생성에 적용하여 평가하였다. 본 연구에 제안된 대표점 결정 기법은 주성분 기반 대표 인체 모델 생성 시 유용하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Science, ICT & Future Planning; NRF-2016R1C1B1008150).

References

Bittner, A.C., A-CADRE: Advanced family of manikins for workstation design. *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*. 774-777, 2000.

Gordon, C.C., Bradtmiller, B., Churchill, T., Clauser, C., McConville, J., Tebbetts, I. and Walker, R., 1988 anthropometric survey of U.S. Army personnel, 1988.

HFES 300 Committee, Guidelines for using anthropometric data in product design, Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 2004.

Hsiao, H., Whitestone, J., Bradtmiller, B., Whisler, R., Zwiener, J., Lafferty, C. and Gross, M., Anthropometric criteria for the design of tractor cabs and protection frames, *Ergonomics*, 48(4), 323-353, 2005.

Jung, K., Development of a generation method of the ellipse enclosing target percent of users for generation of PCA-based representative cases. *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 2018.

Jung, K., An estimation method of representative humanoids for digital human simulation. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 32(3), 237-243, 2013.

Jung, K., Lee, B. and You, H., Development and application of an anthropometric design method considering physical human variabilities, *IE Interfaces*, 24(4), 420-47, 2011.

Jung, K., You, H. and Kwon, O., Evaluation of the multivariate accommodation performance of the grid method. *Applied Ergonomics*, 42, 156-161, 2010a.

Jung, K., Park, J., Lee, W., Kang, B., Uem, J., Park, S. and You, H., Development of a quantitative ergonomic assessment method for helicopter cockpit design in a digital environment. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(2), 203-210, 2010b.

Jung, K., Kwon, O. and You, H., Development of a digital human model generation method for ergonomic design in virtual environment, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 744-748, 2009.

Jung, K., Jo, J., Jeong, J., Park, J., Lee, W., Uem, J., Lee, J., Kang, B., Kim, H., Park, S. and You, H., Anthropometric analysis of Korean helicopter pilots for helicopter cockpit design. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(4), 37-44, 2008.

Jung, K., Kwon, O. and You, H., An anthropometric product design approach using Design Structure Matrix (DSM): Application to computer workstation design (written in Korean). *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(3), 111-115, 2007.

Kwon, O., Jung, K., You, H. and Kim H., Determination of key dimensions for a glove sizing system by analyzing the relationship between hand dimension. *Applied Ergonomics*, 40, 762-766, 2009.

Lee, B., Jang, W., Jung, K., Jung, I. and You, H., Ergonomic evaluation of a control room design of radioactive waste facility using digital human simulation. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(3), 1-9, 2010.

Meindl, R.S., Hudson, J.A. and Zehner, G.F., A Multivariate Anthropometric Method for Crew Station Design (AL-TR-1993-0054). Ohio, USA: Wright-Patterson Air Force Base, 1993.

Park, J., Jung, K., Lee, W., Kang, B., Lee, J., Eom, J., Park, S. and You, H., Development of an ergonomic assessment method of helicopter cockpit using digital human simulation. *Proceedings of the 2008 Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 2008.

Roebuck, J.A., Kroemer, K.H.E. and Thomson, W.G., Engineering Anthropometry Methods. New York: Wiley-Interscience, 1975.

Roebuck, J.A., Jr., Anthropometric Methods: Designing to Fit the Human Body. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society, 1995.

Zehner, G.F., Kennedy, K.W. and Hudson, J.A., Anthropometric accommodation in the T-38. *Safe Journal*, 29, 22-28, 1999.

Author listings

Kihyo Jung: kjung@ulsan.ac.kr
Highest degree: Ph.D., Industrial and Management Engineering, POSTECH
Position title: Associate Professor, School of Industrial Engineering, University of Ulsan
Areas of interest: Digital human simulation, Intelligent system design, User interface design and evaluation, Industrial safety and health