

Development of a Boundary Representative Human Model Generation and Analysis System for Workspace Design

Baekhee Lee¹, Jiyoung Lee¹, Kihyo Jung², Heecheon You¹

¹Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

²2nd R&D Institute, Agency for Defense Development, Daejeon, 305-152

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to develop a boundary representative human model (BRHM) generation and analysis system. **Background:** BRHMs are used for anthropometric design and evaluation for workspaces with one-size categories. It is not easy for a product designer to generate BRHMs by applying various boundary methods due to their diversity and complexity. **Literature survey:** Four BRHM generation methods (*square* method, *rectangular* method, *circular* method, and *boundary zone* method) were reviewed and a distributed representative human model (DRHM) generation and analysis system was surveyed for connection with the system to be developed in this study. **System development:** A system development protocol is suggested by four-steps (S1: relative variable grasp, S2: algorithm development using Matlab, S3: user interface development using C#, and S4: connection with the DRHM generation and analysis system). **Discussion:** The BRHM generation and analysis system can be developed efficiently for linkage with the DRHM generation and analysis system and can be of great use to generate BRHM with analysis results for one-size product.

Keywords: Workspace design, One-size product design, Boundary representative human model

1. Introduction

가상인체모델을 이용한 digital human model(DHM) simulation system(예: Jack[®])은 workspace의 인간공학적 설계에 유용하게 활용되고 있다. DHM simulation system을 활용한 인간공학적 설계 방법은 제품 설계의 평가, 진단, 개선 절차를 더 신속하고 경제적이게 해주는 것으로 보고되고 있으며(Chaffin, 2001), 제품 개발 초기부터 가상 시제품(virtual mockup)을 사용하여 인간공학적 평가를 수행할 수 있게 하여 제품 개발 기간과 비용을 효과적으로 절감하는데 유용한 방법으로 권장되고 있다(Chaffin, 2005; You, 2007). 예를 들면, Park et al.(2008)과 Lee et al.(2010)은 DHM simulation system에서 가상인체모델(5th, 50th, 그리고 95th percentiles) 생성을 통하여 각각 한국형 헬리콥터 조종실과 방사성 폐기물 처리장 주제어실을 인간공학적으로 평가(예: reachability, visibility 등)하고 설계 개선에 반영하여 제품 개발 기간 및 비용을 절감하였다(Figure 1).



(a) Helicopter cockpit (b) Radioactive waste facility control room

Figure 1. Ergonomic design and evaluation using DHM simulation system

효율적인 workspace 설계 및 평가를 위해서는 다변량수용성능(multivariate accommodation performance)을 고려한 주변부대표인체모델이 사용된다. 주변부대표인체모델(boundary representative human model, BRHM)은 figure 2와 같이 중요변수(key dimension)에 대해 지정된 비율의 설계대상인구(target population)를 포함하는 주변부(boundary)에서 생성되는 인체 모델로써, workspace와 같은 단일치수제품(one-size product)의 설계 시 사용되고 있다(Jung, 2009). 예를 들면, Bittner(1987)

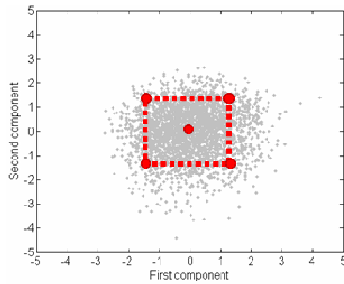


Figure 2. An example of BRHM generation (Bittner et al., 1987)

와 Zehner(1996)는 각각 17개, 6개의 BRHM(인구수용비율: 75%, 95%)을 생성하여 workstation과 cockpit을 설계하였다.

성능이 좋은 BRHM 생성 기법들이 개발되고 있으나, 이들 기법을 적용할 수 있는 시스템의 개발은 미흡하다. Jung (2009)은 기존 BRHM 생성 기법들(square method, rectangular method, circular method)보다 설계대상인구의 인체크기 다양성을 보다 통계적으로 적합하게 대표할 수 있는 boundary zone method를 개발하였다. 이와 같은 BRHM 생성 기법들은 더 성능이 좋은 BRHM 생성을 위하여 다양하고 복잡한 기법들(예: factor analysis, K-means clustering technique)이 적용된다. 그러나, BRHM 생성 기법을 적용할 수 있는 시스템은 부재인 것으로 나타나 BRHM 생성에 특화된 시스템이 개발되면 제품 개발자에게 유용하게 사용될 수 있다.

본 연구는 workspace 설계 및 평가를 위한 BRHM 생성 및 분석에 특화된 시스템을 개발한다. 먼저, BRHM과 관련된 문헌조사를 통하여 네 가지 BRHM 생성 기법(square method, rectangular method, circular method, 그리고 boundary zone method)의 특성을 파악한다. 그리고, 본 연구는 BRHM 생성에 특화된 시스템 개발을 위해 기존 대표인체모델 생성 관련 시스템(distributed representative human model generation and analysis system; Lee, 2011)에 추가할 수 있는 방법을 제시한다.

2. Literature Survey

2.1 Classification of BRHM generation methods

BRHM은 한 개의 치수를 가진 제품(one-size product) 또는 작업공간에 대한 인체측정학적 설계 및 평가를 위해 사용되고 있다. Jung (2009)은 Table 1과 같이 기존 BRHM 생성 기법 관련 연구를 정리하였다. Jung (2009)은 BRHM 생성 기법을 boundary의 형상에 근간하여 세 가지(square method, rectangular method, circular method)로 분류하였으며, 기존 세 가지 방법의 한계점을 보완할 수 있는 boundary zone method

Table 1. BRHM generation method (Jung, 2009)

Application area	Determination method of key dimensions	BRHM Generation method	Studies (year)
One-size product design	Factor analysis (FA) or Principal component analysis (PCA)	Square	Bittner et al. (1987) Bittner (2000) Henry (1990)
		Rectangular	Kim and Whang (1997)
		Circular	Meindle et al. (1993) Hsiao et al. (2005) Hudson et al. (1998, 2003, 2006) Reed and Flannagan (2000) Zehner (1996, 1999)

를 개발하였다. 따라서, 현재까지 개발된 BRHM 생성 기법은 네 가지(square method; SM, rectangular method; RM, circular method; CM, 그리고 boundary zone method; BZM)로 재 분류될 수 있다.

2.2 Generation of BRHM

SM, CM, RM을 통한 BRHM 생성은 Figure 3과 같이 세 단계 절차(요인분석을 통한 공통요인 추출, BRHM 생성 위치 결정, BRHM 인체크기 추정)를 통해 이루어진다. 첫째 단계에서는 효율적으로 지정된 비율의 설계대상인구를 수용하는 영역을 결정하기 위해 설계관련 인체변수를 소수의 중요변수로 축약시킨다. 이를 위해, 기존 연구들은 data reduction technique(factor analysis, principal component analysis)를 적용하여 공통요인을 추출하였다. 둘째 단계에서는 추출된 중요변수 측면에서 설계대상인구를 수용하는 영역을 설정한다. SM, CM, RM은 Figure 4와 같이 각각 공통요인 측면에서 지정된 설계대상인구(예: 90%)를 수용하는 정사각형의 모서리, 직사각형의 모서리, 그리고 원주를 일정한 각도(예: 45°)로 나누는 원의 boundary에서 BRHM을 선정하였다. 마지막 단계에서는 공통요인 측면에서 결정된 BRHM의 크기 정보를 이용하여 BRHM의 인체변수 크기를 추정한다. BRHM의 인체크기는 첫째 단계에서 공통요인으로 추출하기 위해 사용된 요인적재량 행렬(factor loading matrix)과 인체변수 크기를 표준 정규분포 z value로 나타내는 행렬(normalized standard z score matrix)을 사용하여 추정된다.

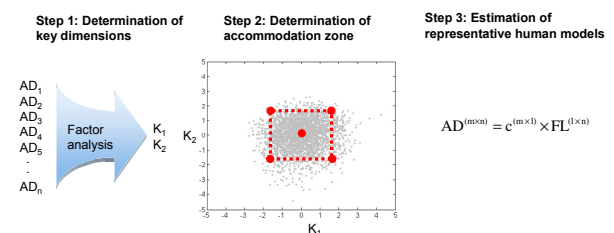


Figure 3. BRHM generation process (Jung, 2009)

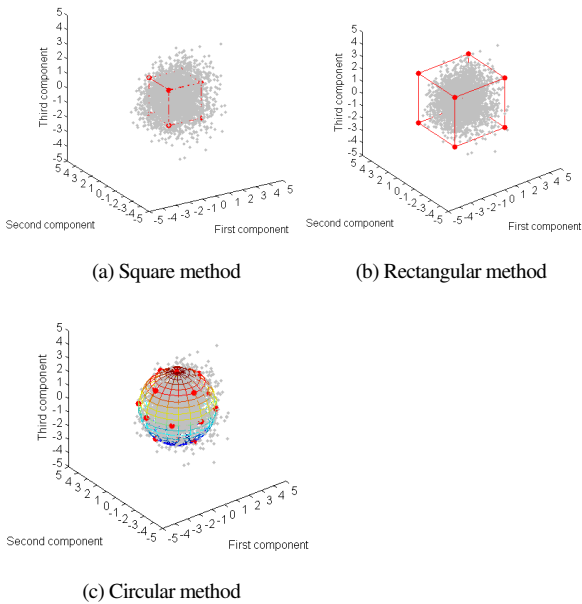


Figure 4. BRHM generation location of SM, RM, CM

BZM을 통한 BRHM 생성은 두 단계 절차(경계영역 파악, 경계영역 인구에 대한 군집분석)를 통해 이루어진다. 첫째 단계에서는 목표한 비율의 인구를 수용하는 경계는 설계대상인구의 인체크기를 표준화된 제곱 거리(normalized squared distance)로 변환하여 파악된다. 그리고, 경계영역은 Figure 5. a와 같이 목표 인구수용비율에 허용비율을 가감하여(예: $90\% \pm 1\%$) 결정된 두 개의 경계선으로 형성된다. 둘째 단계에서는 Figure 5. b와 같이 설정된 경계영역에 포함된 유사한 인체크기를 가지는 인구에 대한 군집분석(K-means clustering)을 통해 BRHM 생성 개수를 최적화한다.

2.3 Development technique of BRHM generation system

BRHM 생성 및 분석 시스템은 각 BRHM 생성 module들을 개발하여 기존 distributed representative human model (DRHM) 생성 및 분석 시스템에 추가(add-on)하는 방법을

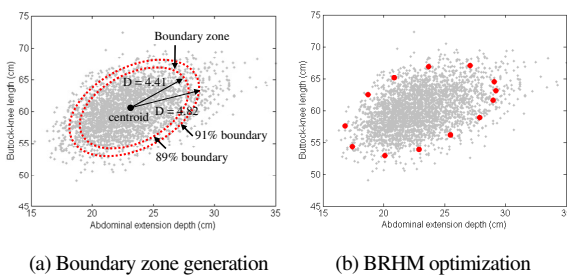


Figure 5. Boundary Zone method (Jung, 2009)

통하여 효율적으로 개발될 수 있다. Lee(2011)은 의복과 같은 다중치수제품(multiple-size product)의 치수체계 설계를 위한 DRHM의 생성 및 분석에 특화된 시스템을 개발하였다. DRHM과 BRHM의 생성은 공통적으로 설계대상인구 및 인체변수를 선정하고 각각 distributed method와 boundary method를 사용하여 대표인체모델을 선정하는 것에 차이가 있다. 따라서, 기존 DRHM generation and analysis system에 boundary method 선택 인터페이스만 추가(Figure 6 참조)하는 방법은 DRHM 생성과 공통적으로 사용되는 절차의 개발노력을 절감시킬 수 있으므로 효율적으로 적용될 수 있다.

3. System Development

본 연구는 BRHM을 생성하고 생성된 BRHM에 대한 분석 결과를 제공하기 위해 Figure 7과 같은 네 단계 절차에 따라 진행된다. 첫째 단계에서는 네 가지 BRHM 생성 방법별로 입력(input)과 출력(output) 변수를 파악한다. 예를 들면, BZM의 입력 변수는 설계대상인구의 인체크기, 목표수용비율, 허용비율이며, 출력 변수는 생성된 BRHM의 인체크기와 인구수용비율이다. 둘째 단계에서는 파악된 입력 변수를 사용하여 출력 변수를 얻을 수 있도록 Matlab을 사용하여 algorithm(process)을 개발한다. 셋째 단계에서는 개발된 algorithm을 사용자가 용이하게 사용할 수 있도록 C#을 이용하여 user interface를 개발한다. 마지막 단계에서는 개발된 algorithm과 user interface를 기존 DRHM generation and analysis system의 BRHM 생성 기법 interface와 연동한다. 예를 들어, 사용자가 BZM을 선택했을 경우 개발된 BZM interface가 나타나고 원하는 입력 변수들을 입력하면 개발된 algorithm에 의해 출력 변수가 계산된다.

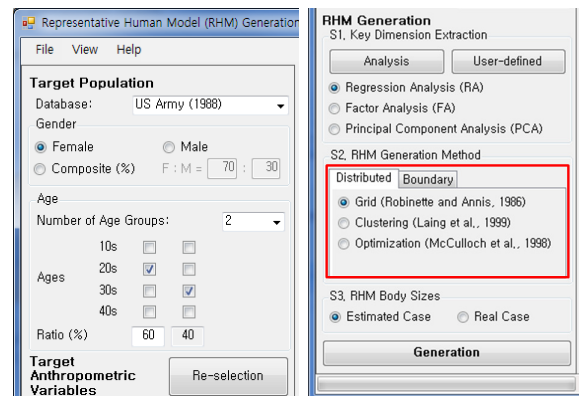


Figure 6. Input interfaces of DRHM generation and analysis system (Lee, 2011)

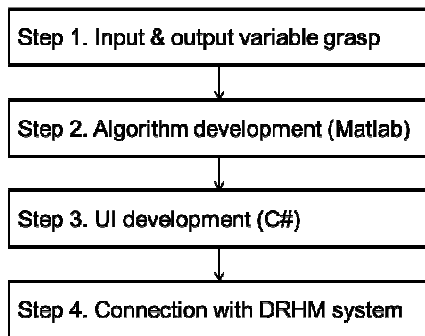


Figure 7. Development protocol

4. Discussion

본 연구에서는 boundary representative human model(BRHM) 생성 및 분석에 특화된 시스템을 개발한다. BRHM 생성 및 분석 시스템은 문헌조사를 통하여 네 가지 BRHM 생성 기법(square method, rectangular method, circular method, 그리고 boundary zone method)의 특성을 파악하여 기존 DRHM 생성 및 분석 시스템의 추가하는 기법으로 효율적으로 개발된다. 개발된 시스템은 생성된 BRHM의 인체크기 정보와 다변량 수용비율(multivariate accommodation percentage)을 제공하여 사용자가 원하는 BRHM을 생성하는데 도움을 줄 수 있다.

본 시스템은 BRHM을 용이하고 신속하게 생성 및 분석함으로써 단일치수제품(예: workspace) 설계 및 평가에 유용하게 활용될 수 있다. BRHM 생성에는 설계대상인구의 인체변수 크기 정보를 바탕으로 다양하고 복잡한 기법들(예: 공통요인 추출 기법 중 principal component analysis, BZM의 chi-square distribution을 사용한 normalized squared distance 등)이 적용된다. 따라서, 본 시스템의 개발은 단일치수제품 설계자의 효율적인 BRHM 생성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

추후연구로 본 연구에서 개발된 시스템은 가상환경 상에서 효율적인 제품 및 작업공간 설계를 위해 DHM simulation system (예: Jack[®], RAMSIS[®])의 humanoid 생성 인터페이스와의 연동이 필요하다. 개발된 시스템을 통해 생성된 BRHM의 인체크기가 Figure 8과 같은 DHM simulation system의 custom-built humanoid 생성 인터페이스의 인체크기 입력부분에 자동으로 입력되어 BRHM을 생성한다면 작업공간 등의 인간공학적 평가(예: reachability, clearance 등) 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

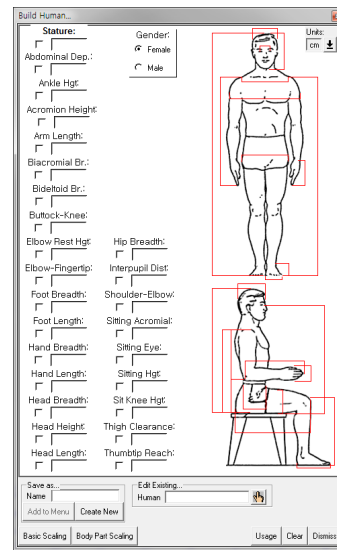


Figure 8. Custom-built humanoid interface (Jack[®])

Acknowledgements

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science, and Technology (2010-0028229).

References

- Bittner, A. C., A-CADRE: Advanced family of manikins for workstation design, Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 44th annual meeting, California, USA, 774-777, 2000.
- EDS, Jack User's Manual, 2008.
- 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.
- Kim, J., and Whang, M., Development of a set for Korean manikins, *Applied Ergonomics*, 28(5), 407-410, 1997.
- Lee, B., Chang, Y., 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), 383-391, 2010.
- 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.

Meindl, R. S., Hudwon, 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, In *Proceedings of the 2008 Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 2008.

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 Ergonomic

Jihyoung Lee: iwoneye@postech.ac.kr

Highest degree: M.S., Department of Life Science, Dongguk Univ., 2010

Position title: M.S., Department of Industrial Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Ergonomic Interface System for the Disabled Person

Kihyo Jung: khjung@postech.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, POSTECH

Position title: Senior Researcher, Agency for Defense Development

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation

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