

Master's Thesis

**Development of a Distributed Representative
Human Model Generation and Analysis System
for Multiple-Size Product Design**

Baek Hee Lee (이 백 희)

Division of Mechanical and Industrial Engineering

(Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang University of Science and Technology

2011

다중치수제품 설계를 위한
산포대표인체모델 생성 및 분석 시스템 개발

**Development of a Distributed Representative
Human Model Generation and Analysis System
for Multiple-Size Product Design**

**Development of a Distributed Representative
Human Model Generation and Analysis System
for Multiple-Size Product Design**

by

Baek Hee Lee

Division of Mechanical and Industrial Engineering
(Human Factors and Ergonomics Program)
Pohang University of Science and Technology

A thesis dissertation submitted to the faculty of the Pohang University of Science and Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Division of Mechanical and Industrial Engineering (Human Factors and Ergonomics Program)

Pohang, Korea

12. 28. 2010

Approved by

Hee Cheon You (Signature)

Academic Advisor



Development of a Distributed Representative
Human Model Generation and Analysis System
for Multiple-Size Product Design

Baek Hee Lee

The undersigned have examined this thesis and hereby certify that it is worthy
of acceptance for a master's degree from POSTECH

12/20/2010

Committee Chair

Hee Cheon You



Member

Min Keun Chung



Member

Hyun Bo Cho



**MMIE 이백희, Baek Hee Lee, Development of a Distributed
20090188 Representative Human Model Generation and Analysis System,
다중치수제품 설계를 위한 산포대표인체모델 생성 및 분석
시스템 개발, Division of Mechanical and Industrial Engineering
(Human Factors and Ergonomics Program), 2011, 107P, Advisor:
Hee Cheon You, Text in Korean.**

ABSTRACT

Multivariate generation methods of representative human models (RHMs) that accommodate a designated percentage of the target population have been used for ergonomic product design. Distributed method, which is one of multivariate generation methods, has been used for multiple-size product design and mass customization such as clothes. However, it is not easy for product designer to apply distributed method to product design because of characteristics of these method which has complex and various statistical techniques and algorithms. Also, we found there are no systems for application and analysis of distributed method.

The present study is intended to develop a distributed RHM generation and analysis system for multiple-size product design. First, literatures related to distributed method and RHM generation interfaces of digital human model (DHM) simulation system were surveyed. Distributed RHM generation method consists of (1) extraction of key dimensions using techniques which are regression analysis, factor analysis, and principal component analysis, (2) determination of distributed method using manners

which are grid method, clustering method, and optimization method, (3) determination of RHMs' body sizes using estimated case or real case. And, characteristics and limitations of RHM generation interfaces of three DHM simulation systems (Jack, RAMSIS, and CATIA Human) were grasped. In DHM simulation systems, user could not select various target population (e.g., composite gender) and target anthropometric variables.

Second, the distributed RHM generation and analysis system was developed. In this system, each specialized interfaces being applicable to five distributed RHM generation steps were provided based upon a comprehensive literature surveys and characteristics of RHM generation interfaces of DHM simulation systems. And, analysis results of generated RHM such as multivariate accommodation percentage, body sizes were provided in this system.

Lastly, an optimal sizing system for men's flight suit design was recommended. Using the US Army Pilot male anthropometric data and 13 anthropometric variables, 18 sizing systems (3 methods of extraction of key dimensions, 3 methods of determination of distributed methods, and 2 methods of use of RHMs' body sizes) for 95% of accommodation rate were developed and analyzed among them. In this study, R-G-E (regression analysis – grid method – estimated case) generating 29 RHMs was selected.

In summary, the developed system can be used for multiple-size product design practically and efficiently. And, product designer can obtain optimal solutions through comparisons of various sizing systems using this system.

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT.....	I
TABLE OF CONTENTS	III
LIST OF FIGURES.....	V
LIST OF TABLES	VII
I. Introduction	1
1.1. Research background	1
1.2. Research objectives.....	8
1.3. Organization of the thesis.....	9
II. Literature Review	10
2.1. Representative human model (RHM)	10
2.2. Distributed RHM generation methods	13
2.3. RHM generation in digital human model simulation systems	23
III. Development of a Distributed RHM Generation and Analysis System	29
3.1. System overview	29
3.2. RHM generation process.....	29
3.2.1. Step 1: Target population selection	32
3.2.2. Step 2: Target anthropometric variable selection	35
3.2.3. Step 3: Key dimension determination	38
3.2.4. Step 4: Distributed grid formation	45
3.2.5. Step 5: RHM's sizes determination.....	48

3.3. RHM analysis.....	49
IV. Application to Sizing Charts for Flight Suit.....	55
4.1. Methods.....	55
4.2. Comparison of sizing systems.....	64
V. Discussion	72
5.1. Distributed RHM generation and analysis system	72
5.2. Application of men’s flight suit.....	75
VI. Conclusion.....	78
References.....	81
Appendices.....	85
Appendix A. Body sizes of generated RHMs	85
Appendix B. Body part classification system	103

LIST OF FIGURES

Figure 1.1. Ergonomic design and evaluation using DHM simulation system	2
Figure 1.2. Custom-built RHM generation interface	5
Figure 1.3. Performance evaluation for distributed methods	6
Figure 2.1. RHM generation for vehicle design.....	11
Figure 2.2. Hip breadth vs. stature in CAESAR	11
Figure 2.3. An example of MAP of a percentile RHM	12
Figure 2.4. An example of RHM generation methods	13
Figure 2.5. Distributed RHM generation process	15
Figure 2.6. Distributed RHM generation methods.....	16
Figure 2.7. Maximum adjusted R ² for different number of key dimensions.....	18
Figure 2.8. Cross tabulation for key dimensions.....	19
Figure 2.9. Trend of within-cluster average of point-to-centroid distances according to the number of clusters by K-means cluster analysis	20
Figure 2.10. An analysis of clearance using DHM simulation system.....	24
Figure 2.11. Percentile RHM generation interfaces	26
Figure 2.12. Custom-built RHM generation interfaces.....	27
Figure 3.1. System activity diagram	30
Figure 3.2. System overview.....	31
Figure 3.3. RHM generation process	32
Figure 3.4. Interface of target population decision	33

Figure 3.5. Interface of target anthropometric variables decision.....	37
Figure 3.6. Interface of distributed RHM generation.....	39
Figure 3.7. Interface of regression analysis (RA)	40
Figure 3.8. Interface of factor analysis.....	41
Figure 3.9. Interface of principal component analysis	43
Figure 3.10. Interface of user-defined extraction of key dimensions.....	44
Figure 3.11. Interface of grid method	45
Figure 3.12. Interface of clustering method	47
Figure 3.13. Interface of optimization method.....	48
Figure 3.14. Two methods of RHM body size determination	49
Figure 3.15. Results of generated RHMs	50
Figure 3.16. Analysis of multivariate accommodation percentages of generated RHMs .	52
Figure 3.17. Location of RHMs with envelopes	54
Figure 4.1. 18 sizing systems for same target population & anthropometric variables	58
Figure 4.2. Trend of average adjusted R^2 of RA	59
Figure 4.3. Eigenvalue and cumulative percent variability of FA.....	60
Figure 4.4. Generated grids and RHMs of R-G	63
Figure 4.5. Regression equations using key dimensions for optimzal sizaing system.....	70

LIST OF TABLES

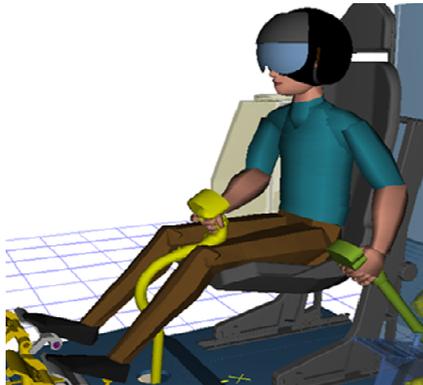
Table 1.1. Taxonomy of RHM generation method.....	3
Table 2.1. Existing distributed RHM generation methods	14
Table 2.2. Illustration of average adjusted R^2 analysis for a single key dimension.....	17
Table 2.3. Regression equations to estimate the sizes of anthropometric dimensions using three key dimensions	22
Table 2.4. Characteristics of RHM generation in DHM simulation systems	25
Table 3.1. Characteristics of three anthropometric databases	33
Table 3.2. Body part system.....	36
Table 3.3. An example of body part classification - trunk	36
Table 4.1. Anthropometric dimensions selected for design of flight suit.....	56
Table 4.2. Factor loadings of F-G, F-C, and F-O	61
Table 4.3. Principal component loadings of P-G, P-C, and P-O.....	62
Table 4.4. Characteristics of generated 18 sizing systems	64
Table 4.5. Average MAPs for the different number of anthropometric variables of generated 18 sizing systems	65
Table 4.6. An example for covered ranges of non-key dimensions of P-G-E.....	67
Table 4.7. An example for outlier RHM of P-G-E	67
Table 4.8. Optimal sizing system for men's flight suit.....	69

I. Introduction

1.1. Research background

Digital human model (DHM) simulation system (예: Jack[®], RAMSIS[®])은 가상 환경상에서 대표인체모델을 생성하여 인간공학적인 제품과 작업공간을 평가 및 설계하는 효율적인 도구로 사용되고 있다. DHM simulation system은 인간공학적 측면(예: reach, visibility, and comfort)의 human-workstation interaction을 평가하고, 시각화하기 위한 효율적인 설계 시스템으로 사용되고 있다(Jung et al., 2009). DHM simulation system을 활용한 인간공학적 설계 방법은 제품 설계의 평가(evaluation), 진단(diagnosis), 개선(revision) 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(유희천, 2007; Chaffin, 2005).

DHM simulation을 위해서는 제품 사용 집단(target population)을 대표하는 인체모델(representative human model, RHM)이 생성된다. RHM은 제품 설계대상인구의 다양성을 통계적으로 적합하게 대표하는 인체모델로써 설계수용비율(target accommodation rate)을 고려하여 결정된다(Jung et al., 2009; Jung and You, 2007; HFES 300, 2004). RHM은 제품 및 작업공간의 설계 및 평가 시 방대한 인체측정자료를 모두 적용하는 대신 소수의 인체모델을 활용함으로써 효율적인 설계 및 평가를 할 수 있게 한다(HFES 300, 2004). 예를 들면, 박장운 외(2008)



(a) 헬리콥터 조종실 설계
(박장운 외, 2008)



(b) 방폐장 주제어실 평가
(이백희 외, 2010)

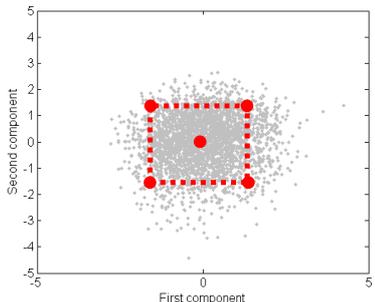
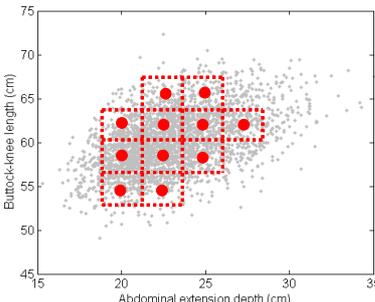
그림 1-1. Ergonomic design and evaluation using DHM simulation system

와 이백희 외(2010)는 DHM simulation system의 percentile RHM (5th, 50th, and 95th percentiles) 생성을 통하여 각각 한국형 헬리콥터 조종실과 방사성 폐기물 처리장 주제어실을 인간공학적으로 평가하고 설계 개선에 반영하여 제품 개발 시간 및 비용을 절감하였다(그림 1-1 참조). 이와 같이, 소수의 RHM을 활용하는 방법은 DHM simulation을 이용한 효율적인 제품 설계를 위해 중요하다.

RHM 생성 방법은 제품 설계 적용 분야에 따라 주변부대표인체모델 (boundary RHM)과 산포대표인체모델(distributed RHM) 생성 방법으로 구분된다 (표 1-1 참조). Boundary RHM 생성 방법은 지정된 비율의 설계대상인구를 포함하는 경계(boundary)에서 RHM을 생성하는 방법으로, 작업 공간 설계와 같은 단일 치수의 제품 설계(one-size product design)에 활용된다. 또한, boundary RHM 생성 방법은 RHM을 생성할 주변부의 형상에 따라 square method (Bittner et al., 1986), rectangular method (Kim and Whang, 1997), circular method (Meindl et al., 1993),

그리고 boundary zone method (Jung et al., 2010)로 분류된다. Distributed RHM 생성 방법은 지정된 비율의 설계 대상 인구를 포함하는 다수의 격자(grid)들을 인구 분포 전반에 배치해 각 격자마다 RHM을 한 명씩 생성하는 방법으로, 의복과 같이 치수체계가 있는 제품 설계(multiple-size product design)에 활용된다. 또한, distributed RHM 생성 방법은 설계 대상 인구를 수용 하는 격자를 결정하는 방법에 따라 grid method (Robinette and Annis, 1986), clustering method (Laing et al., 1999), 그리고 optimization method (McCulloch et al., 1998)로 분류된다.

표 1-1. Taxonomy of RHM generation method (Jung, 2009)

	Boundary method	Distributed method
Illustration		
Application	<ul style="list-style-type: none"> · One-size product design · e.g., car interior, fighter cockpit 	<ul style="list-style-type: none"> · Multiple-size product design · e.g., clothing, glove
Methods	<ul style="list-style-type: none"> · Square method (Bittner, 2000) · Circular method (Meindl et al., 1993) · Rectangular method (Kim and Whang et al., 1997) · Boundary zone method (Jung, 2009) 	<ul style="list-style-type: none"> · Grid method (Robinette and Annis, 1986) · Clustering method (Laing et al., 1999) · Optimization method (McCulloch et al., 1998)

Distributed RHM은 의복과 같은 다중치수제품(multiple-size product) 및 대량맞춤생산(mass customization)을 위한 치수체계(sizing system) 개발에 활용되고 있다. 치수체계는 인체 측정 자료에 근거하여 설계 대상 인구내의 상이한 집단들에게 적합하도록 사용되고 있으며(Winks, 1997; Ashdown, 2003), 이렇게 인체 측정 자료를 기반으로 설계된 제품은 인체 적합도와 사용 편리성 향상에 기여하는 것으로 보고되고 있다(Size Korea, 2006). 따라서, 의복과 같이 치수체계가 적용되는 제품은 많은 연구들에서 distributed RHM 생성 방법이 적용되어 설계 및 평가되고 있다. 예를 들면, Robinette and Annis (1986), Rosenblad-Wallin (1987), 그리고 Kwon et al. (2004)은 장갑, Moon (2002)는 여성 하의, 그리고 Zheng et al. (2007)은 여성 속옷의 치수체계 설정을 위해 인구분포 전반에 격자(grid)를 생성한 후, 각 격자에서 하나의 RHM을 생성하였다. Laing et al. (1999)은 방호복 치수 체계를 군집 분석을 통해 군집(cluster)을 생성 한 후, 생성된 군집의 중심 위치로 RHM을 생성하였으며, McCulloch et al. (1998)은 의복 치수 체계를 최적화(optimization) 기법을 이용하여 격자를 생성한 후 생성된 격자의 중심 위치로 RHM을 생성하였다. 따라서, 치수체계 개발을 위한 distributed RHM 생성에 특화된 시스템 개발은 비용 절감, 시간 단축과 함께 개발된 치수 체계의 효율적인 분석측면에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

DHM simulation system은 RHM 생성을 위해 percentile 방법과 custom-built 방법을 제공하고 있으나 각각 설계대상인구에 대한 RHM의 대표성과 생성 효율성 측면의 한계점을 지니고 있다. 먼저, percentile 방법은 일반적으로 세 가지(5th, 50th, and 95th percentiles) 정도의 소수개의 RHM만 생성하여 인간공

학적 평가 및 설계에 적용되고 있어(Jimmerson, 2001; Nelson, 2001; Thompson, 2001; You et al., 1997), 생성된 RHM이 설계대상인구 인체크기의 다양성을 적합하게 반영하지 못하는 한계가 있다(Dassault Systems, 2005; SIMENS, 2006; Jung et al., 2010). Custom-built RHM은 그림 1-2와 같이 인체변수(예: 26개, Jack; 24개 RAMSIS)별로 생성목적에 맞는 RHM의 인체크기를 사용자가 직접 입력하여 생성된다(SIMENS, 2006; Human Solutions, 2006). 이 경우, 인체 변수들의 인체크기 계산을 위한 RHM 생성 방법(boundary 또는 distributed RHM 생성 방법)의 적용 및 인체크기를 입력하는 시간이 많이 소요된다. 따라서, custom-built RHM

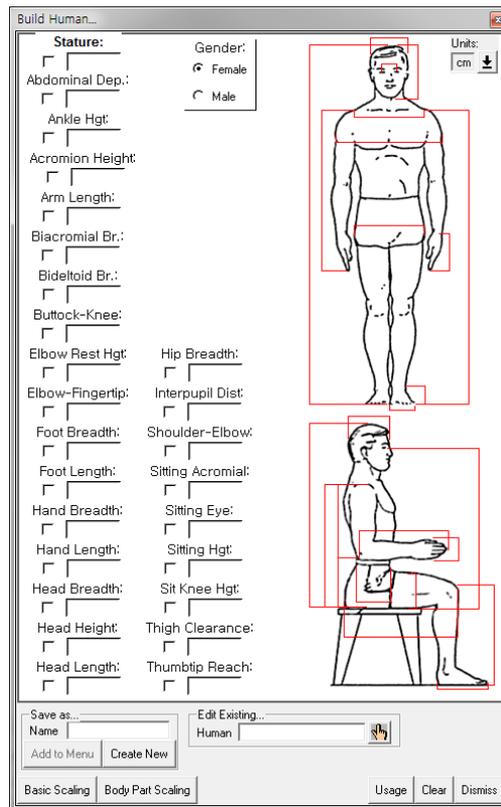


그림 1-2. Custom-built RHM generation interface (Jack, SIMENS Co., Germany)

을 이용하여 효율적으로 인체크기를 입력하기 위해서는 boundary 또는 distributed 방법을 용이하게 적용할 수 있는 시스템이 필요하다.

RHM 생성 기법들의 체계적인 성능 평가를 위한 연구가 진행되고 있으나 시스템 개발은 미흡하다. Jung (2009)은 RHM 생성 방법을 네 가지 측면 (통계적 인구 수용 비율, 모집단 인체크기 범위 내 RHM 존재 여부, RHM 생성 개수, RHM 생성 복잡도)에서 종합적으로 평가하는 protocol을 개발하였다. 예를 들면, Jung (2009)은 그림 1-3와 같이 distributed RHM 생성 방법간의 인체 변수 개수 별 평균 인구수용비율(accommodation rate)을 비교 분석하고, 생성된 격자의 겹침 면적을 분석(overlap analysis)하여 distributed RHM 생성 기법의 특성을 파악하였다. 그러나, RHM 생성 방법과 생성된 RHM을 분석할 수 있는 시스템 개발은 진행되지 않고 있는 실정이다. 또한, Jung et al. (2009)는 생성된 RHM의 수용비율 분석을 위해 Matlab 7.0 (MathWorks, Inc., Natick, MA, USA)을 사용하여 code를 개발하였으나, 제품 개발자들이 사용할 수 있도록 시스템화

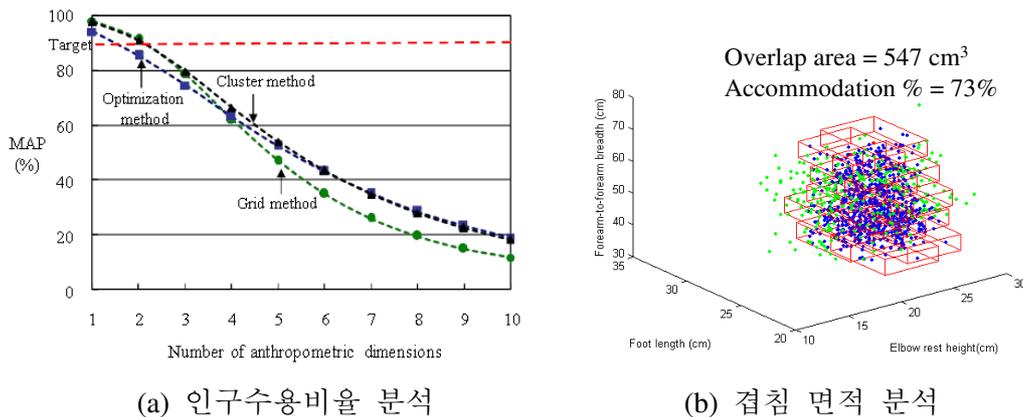


그림 1-3. Performance evaluation for distributed methods (Jung, 2009)

까지는 진행되지 않았다. 따라서, 효율적인 제품 개발을 위해 RHM 생성 기법을 용이하게 적용할 수 있는 시스템이 필요하다.

Distributed RHM 생성 및 생성된 distributed RHM의 수용비율 (accommodation rate)을 평가하고 distributed RHM 생성 기법간의 성능을 체계적으로 비교 분석이 가능한 시스템 개발이 필요하다. Distributed RHM 생성 시스템이 개발되면 의복과 같은 치수체계가 있는 제품(multiple-size product) 개발 시에 사용자가 용이하게 활용 할 수 있고, 개발 시간을 단축 할 수 있다. 먼저, distributed RHM 생성 시 다양한 통계적 기법(예: regression analysis, clustering method) 및 복잡한 알고리즘(예: optimization method)이 적용되고 있기 때문에 인체공학적 제품 설계에 효과적으로 적용하는 것은 쉽지 않다. 따라서, 통계 기법 및 알고리즘들을 distributed RHM 생성 방법에 체계적으로 적용하여 제품 설계에 효과적으로 활용할 수 있도록 하는 시스템 개발이 필요하다. 또한, 치수체계 개발을 위해 다양한 distributed RHM 생성 방법 중 하나를 결정할 때는 체계적인 성능 비교보다는 대부분 연구자가 임의로 방법을 결정하였다. 따라서, distributed RHM 생성 방법간의 성능을 체계적으로 분석할 수 있는 시스템 개발은 설계에 가장 적합한 distributed RHM 생성 방법을 선택하는 의사결정 과정에 기여할 수 있다. 마지막으로, 기존 DHM simulation system (예: Jack®, RAMSIS® 등)은 distributed RHM의 인체크기를 직접 입력하여 생성할 수 있도록 custom-built RHM 생성 방법을 제공하고 있으나, 생성된 RHM의 인체크기를 계산하고 수용비율을 분석할 수 있는 기능은 제공하지 않고 있다. 따라서, 개발될 시스템은 RHM의 생성 효율성 및 사용자의 사용편의성을 고려하여

distributed RHM을 생성하고 이를 DHM simulation system의 custom-built 기능과 연동할 수 있도록 설계될 필요가 있다.

1.2. Research objectives

본 연구는 다중치수제품(multiple-size product) 설계를 위한 distributed RHM을 생성하고 생성된 distributed RHM의 인구수용비율(accommodation rate)을 분석할 수 있는 시스템을 개발한다. 이를 위해, 본 연구는 다음과 같은 세 가지 세부 연구 목표를 포함한다. 첫째, 시스템 개발을 위하여 distributed RHM 생성 기법 및 DHM simulation system의 특성을 파악한다. Distributed RHM 생성 방법(grid method, clustering method, 그리고 optimization method) 및 생성 절차(중요변수 추출, distributed RHM 생성 방법 결정, 그리고 생성된 RHM의 인체크기 추정)와 관련된 문헌을 조사한다. 또한, 대표적인 DHM simulation system (Jack, RAMSIS, 그리고 CATIA Human)의 RHM 생성 인터페이스(percentile RHM과 custom-built RHM)의 특성 및 한계점을 파악한다.

둘째, distributed RHM 생성 및 분석에 특화된 시스템을 개발한다. 제품 설계 목적에 맞는 다양한 설계대상인구(target population) 및 설계대상 인체변수(target anthropometric variable) 선정에 용이한 인터페이스를 개발한다. 또한, distributed RHM 생성간 적용되는 통계적 기법을 총체적으로 제공하고, 생성된 distributed RHM의 분석 및 시각화 결과를 제공한다.

셋째, 개발된 시스템의 효용성 평가를 위해 개발된 시스템을 사용하

여 최적의 남성 비행복 치수체계를 선정한다. 본 시스템을 통하여 US Army Pilot 인체측정자료(Gordon et al., 1988)를 활용하여 미군 남성 조종사의 비행복 치수체계를 개발하고 분석한다. 본 시스템을 통해 설계 가능한 18개(중요변수 추출 방법 3개 × distributed RHM 생성 방법 3개 × 생성된 RHM의 인체크기 추정 방법 2개)의 치수체계를 비교 분석하고 최적의 치수체계를 선정하고 방안을 고찰한다.

1.3. Organization of the thesis

본 논문은 6개의 장과 2개의 부록으로 구성되어 있다. 제 1장은 연구의 배경, 필요성, 목적과 같은 연구의 전반적인 개요에 대해 서술하고 있으며, 제 2장은 시스템 개발을 위하여 문헌 조사를 통하여 distributed RHM 생성 방법과 DHM simulation system의 RHM 생성 인터페이스의 특징을 정리하고 있다. 제 3장은 개발된 distributed RHM 생성 및 분석 시스템의 구성과 특성을 정리하였으며, 제 4장은 개발된 시스템을 통하여 비행복 치수체계 개발을 위한 distributed RHM을 생성하고, 각 방법간의 성능을 비교 평가 하여 최적의 치수체계를 선정하였다. 제 5장은 본 연구가 가지는 의의 및 토의사항에 대해서 기술하고 있고, 제 6장은 본 연구의 결론을 서술하고 있다. 마지막으로, 부록은 각 장에서 기술된 구체적인 분석 내용 또는 정보를 제시하고 있다.

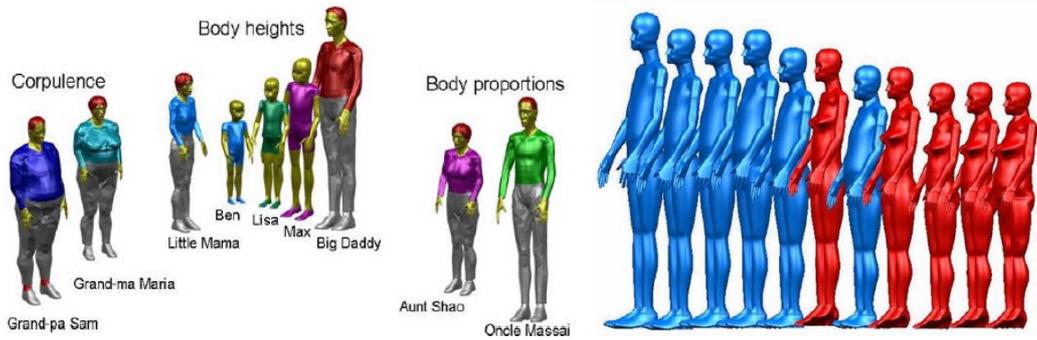
II. Literature Review

본 장에서는 인체측정학적 제품 설계 및 평가에 활용되는 RHM에 대해 알아보고, 그 중 치수체계를 가진 제품 설계에 적용되는 distributed RHM 생성 방법 및 절차를 체계적으로 정리하였다. 그리고 본 연구에서 개발될 시스템을 distributed RHM 생성에 특화 시키기 위하여 기존 DHM simulation system의 RHM 생성 인터페이스의 특성 및 한계점을 파악하였다.

2.1. Representative human model (RHM)

인체측정학적 제품 설계 및 평가를 위한 RHM은 설계 대상 인구의 다양한 인체크기를 대표하는 소수의 인체모델을 의미한다. 이러한 RHM은 제품 설계대상인구(target population)의 다양성을 통계적으로 적합하게 대표하는 인체 모델로서 설계수용비율(target accommodation rate)을 고려하여 결정된다(HFES 300, 2004; Jung and You, 2007; Jung et al., 2009). 그림 2-1을 예로 들면, Mercedes-Benz와 Volkswagen은 인체 치수 요소와 자동차 설계 요소간의 관계를 이용하여 차량을 설계하기 각각 9명과 11명의 RHM을 생성하였다.

전통적으로 활용되고 있는 percentile RHM 생성 방법은 설계와 관련된 인체변수에 백분율(예: 95th%ile)을 적용하여 RHM을 생성하는 방법이다(HFES 300, 2004). 이러한 percentile RHM 생성 방법은 인체변수 별 백분율 정보만 있으면 사용하기 쉽다는 장점이 있는 반면 현실성과 수용비율 측면의 한계점을 지니고 있다. 먼저, percentile RHM은 대부분 실제로 존재하지 않는다. 예를 들



(a) Mercedes-Benz 9 Family

(b) Volkswagen 11 Family

그림 2-1. RHM generation for vehicle design

면, 그림 2-2는 CAESAR (Civilian American and European Surface Anthropometry Resource Project, 2002) 인체측정 database 내 두 개의 인체변수(hip breadth and stature)에 대하여 각각의 인체변수에 대해 95thile을 만족하는 인체크기는 존재하지만, 두 개의 인체변수에 대해 동시에 95thile을만족하는 인체크기는 존재

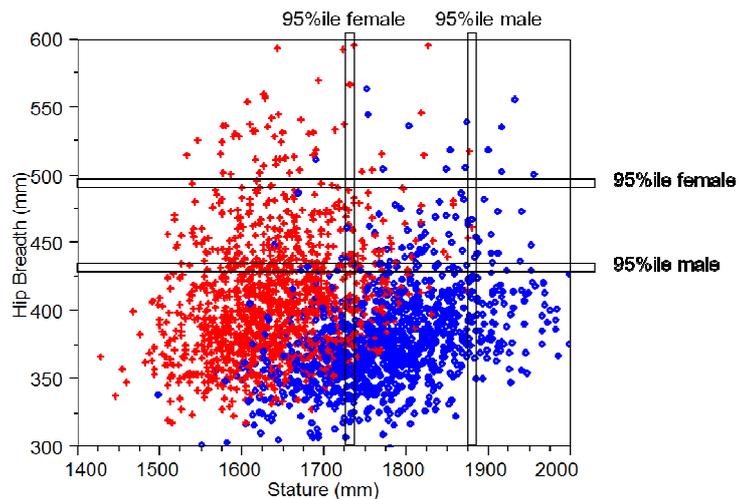


그림 2-2. Hip breadth vs. stature in CAESAR ($n = 2,391$)

재하지 않는 것을 나타낸다. 또한, 두 개 이상의 인체변수를 고려한 percentile RHM 생성 시 동시에 수용되는 인구의 비율은 목표한 비율보다 감소한다 (Meunier, 1998; HFES 300, 2004). 예를 들면, 그림 2-3과 같이 Jung (2009)은 US Army 인체측정 database를 기반으로 키(184 cm)와 어깨 너비(52 cm)는 각각의 95thile에 해당하는 RHM을 생성하였다. 이 때, 단일 수용비율(univariate accommodation percentage, UAP)은 목표 수용비율인 95%를 만족하지만, 다변량 수용비율(multivariate accommodation percentage, MAP)은 91.8%로 목표 수용비율인 95% 보다 감소하였다.

이러한 percentile RHM 생성 기법의 한계점을 보완하기 위하여 통계적 기법을 활용한 두 가지 유형의 RHM 생성 기법(boundary method와 distributed method)이 개발되었다. 먼저, boundary RHM 생성 기법은 그림 2-4.a와 같이 지정된 비율의 설계 대상 인구를 포함하는 주변부(boundary)에서 RHM 을 생성하는 방법이다. Boundary method는 설계와 관련된 인체변수에 대한 요인분석을

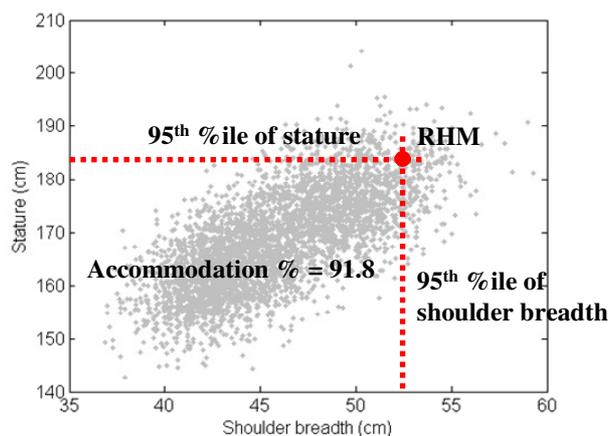
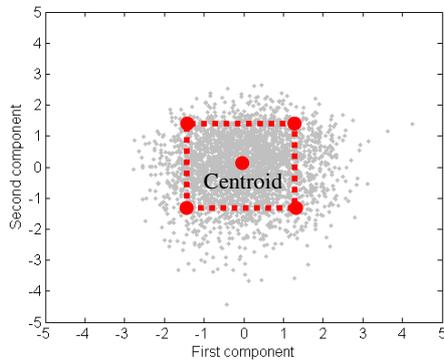
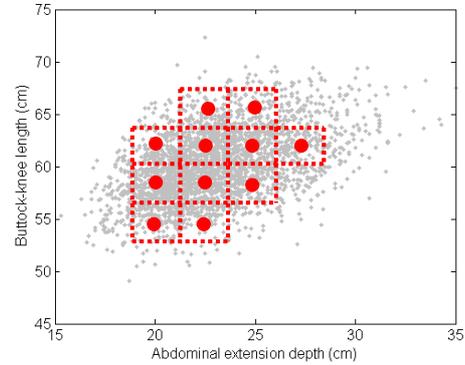


그림 2-3. An example of MAP of a percentile RHM (Jung, 2009)



(a) Boundary method



(b) Distributed method

그림 2-4. An example of RHM generation methods

통해 도출된 공통요인에 대해 주변부 내에 포함된 인구의 비율이 목표한 수준이 되는 주변부에서 RHM을 생성한다. 한편, distributed RHM 생성 기법은 그림 2-4.b와 같이 인구 분포 전반에 배치된 격자들의 내부에 포함된 인구의 비율이 지정된 비율이 되도록 격자를 생성한 후, 각 격자의 중앙에서 RHM을 생성하는 방법이다. Distributed RHM 생성 기법은 설계와 관련된 인체변수 간의 통계적 연관성 분석(예: regression analysis)을 통해 인체변수들 중에서 선정된 소수의 중요 인체변수(key dimensions)가 목표한 비율의 인구를 포함시키도록 격자를 형성하여 RHM을 생성한다.

2.2. Distributed RHM generation methods

Distributed RHM은 치수 체계가 있는 인체측정학적 제품에 대한 설계

및 평가 시에 사용된다. Jung (2009)은 distributed RHM 생성 기법 및 적용 현황을 조사하여 표 2-1과 같이 정리하였다. 예를 들면, Robinette and Annis (1986), Rosenblad-Wallin (1987), 그리고 Kwon et al. (2004)은 회귀 분석을 통해 중요 인체변수를 추출하고 생성된 인구분포에 일정한 격자를 생성하여 장갑의 치수 체계를 설계 하였다. 또한, Laing et al. (1999)은 요인 분석(factor analysis)을 통해 중요 인체변수를 추출하여 생성된 인구분포를 군집화하여 방호복 치수 체계를 설계하였으며, McCulloch et al. (1998)은 기존 문헌 조사를 통해 선정된 중요 변수들로 최적화 기법을 통해 일정한 격자를 생성하여 여군 군복의 치수 체계를 설계하였다.

Distributed RHM 생성은 그림 2-5에 나타낸 것과 같은 세 단계 절차를 통해서 생성된다. 첫째 단계는 효율적으로 지정된 비율의 설계 대상 인구를 수용하는 영역을 결정하기 위해 인체변수들 간 통계적 연관성 분석을 통하여

표 2-1. Existing distributed RHM generation methods (Jung, 2009)

Application area	Determination method of key dimensions	Accommodation envelope	Studies (year)
Multiple-size product design	Regression Analysis (or correlation analysis)	Grid by grading system	Robinette and Annis (1986), Rosenblad-Wallin (1987), Moon (2002), Kwon et al. (2004), Zheng et al. (2007)
		Grid by optimization technique	McCulloch et al. (1998)
		Cluster	Laing et al. (1999)

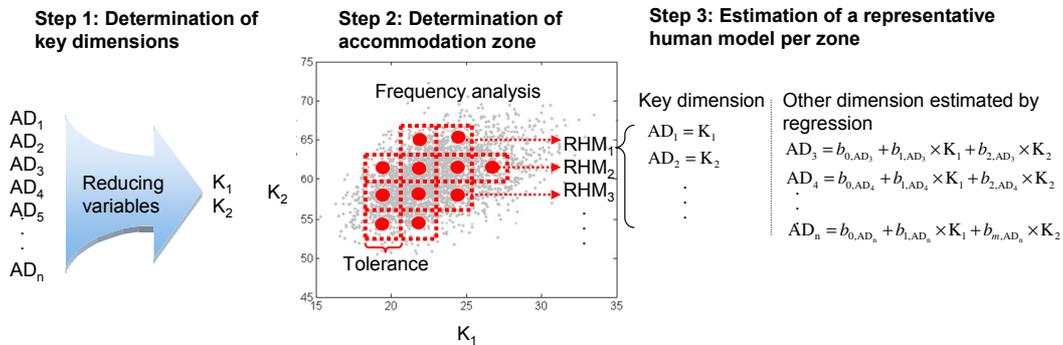
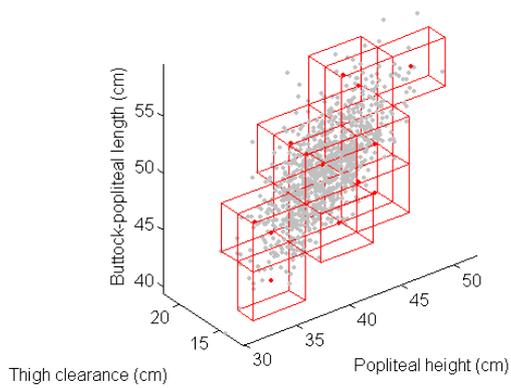


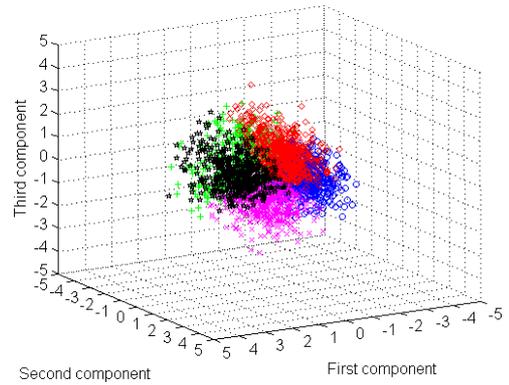
그림 2-5. Distributed RHM generation process (AD: anthropometric dimension, K: key dimension, RHM: representative human model) (Jung, 2009)

소수(예: 1 ~ 5개)의 인체변수를 중요변수(key dimensions)로 선정한다(Resonblad-Wallin, 1987; Hidson, 1991; Gordon and Freill, 1994). 예를 들면, Kwon et al. (2004)은 장갑의 치수 체계 설계를 위해 상관관계 분석을 통하여 두 개의 중요변수를 결정하였다. 둘째 단계는 추출된 중요변수를 대상으로 설계허용공차(fitting tolerance; 예: ± 2.5 cm)를 사용해 인구분포 전반에 산포된 격자를 형성한 후, 지정된 수용비율(예: 95%)을 만족할 때까지 인구 출현빈도가 상대적으로 높은 격자 순으로 대표격자(representative grid)를 선정한다. 예를 들면, Kwon et al. (2004)은 각 중요변수의 평균과 0.5 inch의 설계허용공차를 적용하여 일정한 격자를 생성하였다. 마지막 단계는 선정된 대표격자에서 RHM을 하나씩 생성하는데, 중요변수의 값은 대표격자의 중심 위치(centroid)로 설정되고, 나머지 인체변수의 값은 중요변수를 사용한 회귀식을 이용하여 추정된다.

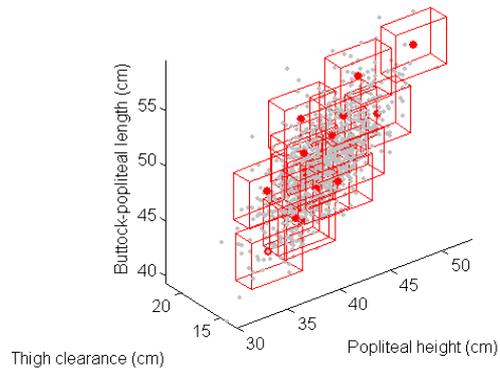
Distributed RHM 생성 기법은 그림 2-6에 나타낸 것과 같은 세 가지 기법(grid method, clustering method, 그리고 optimization method)으로 분류된다. 첫



(a) Grid approach



(b) Clustering approach



(c) Optimization approach

그림 2-6. Distributed RHM generation methods (Jung, 2009)

째, grid method는 그림 2-6.a와 같이 중요변수 측면에서 설계허용공차를 고려해 크기가 결정된 격자(grid)를 전체 인구의 인체크기 분포를 포함하도록 여러 개 생성한 후, 격자 내부에 포함된 인구 비율의 합이 지정된 수용비율(예: 95%)이 되는 격자들을 선별하여, 선별된 격자의 중심 위치로 RHM을 생성하는 방법이다. 예를 들면, Jung (2009)은 10개의 인체변수를 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 통하여 3개의 중요변수를 추출하였다. 표 2-2는 중요변수

표 2-2. Illustration of average adjusted R^2 analysis for a single key dimension (Jung, 2009)

Candidate for key dimension	Other dimensions	Adjusted R^2	Average adjusted R^2
BD1	BD2	0.20	0.19
	BD3	0.03	
	·	·	
	·	·	
	BD10	0.13	
BD2	BD1	0.20	0.41
	BD3	0.01	
	BD4	0.54	
	BD5	0.28	
	BD6	0.09	
	BD7	0.74	
	BD8	0.58	
	BD9	0.30	
	BD10	0.93	
·	·	·	
·	·	·	
·	·	·	
BD10	BD1	0.13	0.35
	BD2	0.93	
	·	·	
	·	·	
	BD9	0.18	

후보 1개에 대한 평균 수정회귀계수 분석의 예시로 중요변수의 후보와 다른 인체변수와의 수정회귀분석을 통해 평균 수정회귀계수를 추출한 것을 나타낸다. Jung (2009)은 그림 2-7과 같이 중요변수의 개수를 중요변수 개수에 따른 최대 평균 수정회귀계수(maximum average adjusted R^2)를 나타내어 소수로 구성되면서 증가 추세가 완만해지는 3개로 결정하였다.

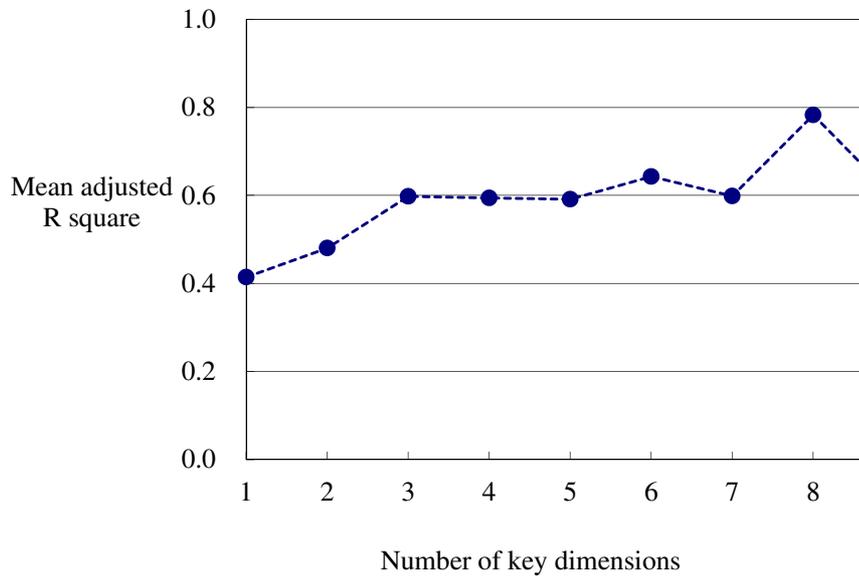


그림 2-7. Maximum adjusted R^2 for different number of key dimensions (Jung, 2009)

중요변수 추출 후에는 지정된 수용비율을 만족하는 격자를 생성한다. 예를 들면, Kwon et al. (2009)은 그림 2-8에 나타낸 것과 같이 추출된 두 개의 중요변수(hand length와 hand circumference)의 분포에 치수간격(설계허용공차) 1.3 cm를 적용하여 일정한 격자를 생성하였다. 치수 범위는 선정된 치수간격을 기반으로 고려 대상 변수의 최대값과 최소값을 포함하도록 설정되는데 (Roebuck, 1995), Kwon et al. (2009)은 중간 치수범위를 [평균치 치수간격/2]로 설정한 후, 그림 2-8에 나타낸 것처럼 각 중요변수의 최대값과 최소값을 포함할 때까지 선정된 설계허용공차를 가감하여 치수 범위들을 정의하였다. Kwon et al. (2009)은 생성된 격자마다 출현비율을 구하여 2% 이상 출현비율을 보이는 8 개의 격자를 치수체계로 설정하였다.

HL (cm) \ HC (cm)	15.0 ~ 16.3 (extra small)	16.3 ~ 17.5 (small)	17.5 ~ 18.8 (medium low)	18.8 ~ 20.1 (medium)	20.1 ~ 21.3 (medium high)	21.3 ~ 22.6 (large)	22.6 ~ 23.9 (extra large)	Total (%)
17.0 ~ 18.3 (extra small)			1 (<0.1)					1 (<0.1)
18.3 ~ 19.6 (small)	2 (0.1)	9 (0.5)	24 (1.4)	7 (0.4)				42 (2.4)
19.6 ~ 20.8 (medium low)		19 (1.1)	201 (11.3)	231 (13.0)	30 (1.7)			481 (27.1)
20.8 ~ 22.1 (medium)		6 (0.3)	156 (8.8)	478 (26.9)	164 (9.2)	11 (0.6)		815 (45.9)
22.1 ~ 23.4 (medium high)			39 (2.2)	182 (10.3)	150 (8.5)	18 (1.0)	4 (0.2)	393 (22.2)
23.4 ~ 24.6 (large)				6 (0.3)	24 (1.4)	8 (0.5)	2 (0.1)	40 (2.3)
24.6 ~ 25.9 (extra large)					1 (<0.1)	1 (<0.1)		2 (0.1)
Total (%)	2 (0.1)	34 (1.9)	421 (23.7)	904 (51.0)	369 (20.8)	38 (2.1)	6 (0.3)	1774 (100)

그림 2-8. Cross tabulation for key dimensions (HL: hand length, HC: hand circumference) (Kwon et al., 2009)

둘째, clustering method는 그림 2-6.b와 같이 공통요인에 대한 군집분석을 통해 군집을 생성한 후, 생성된 군집의 중심 위치로 RHM을 생성하는 방법이 다. 예를 들면, Jung (2009)는 Laing et al. (1999)의 연구를 참고하여 공통요인에 대한 K-mean 군집 분석을 통해 15개의 군집을 생성한 후, 생성된 군집의 중심 위치로 대표인체모델 생성 위치를 결정하였다. Jung (2009)은 적정 군집 개수를 결정하기 위해 그림 2-9과 같이 군집 개수(2 ~ 50개)를 변화시켜 가면서 군집에 소속된 객체간 평균 거리의 감소 추세를 분석하였다. 분석 결과, 군집의 개수가 증가할수록 군집 내 객체간 평균 거리는 급격히 감소하는 경

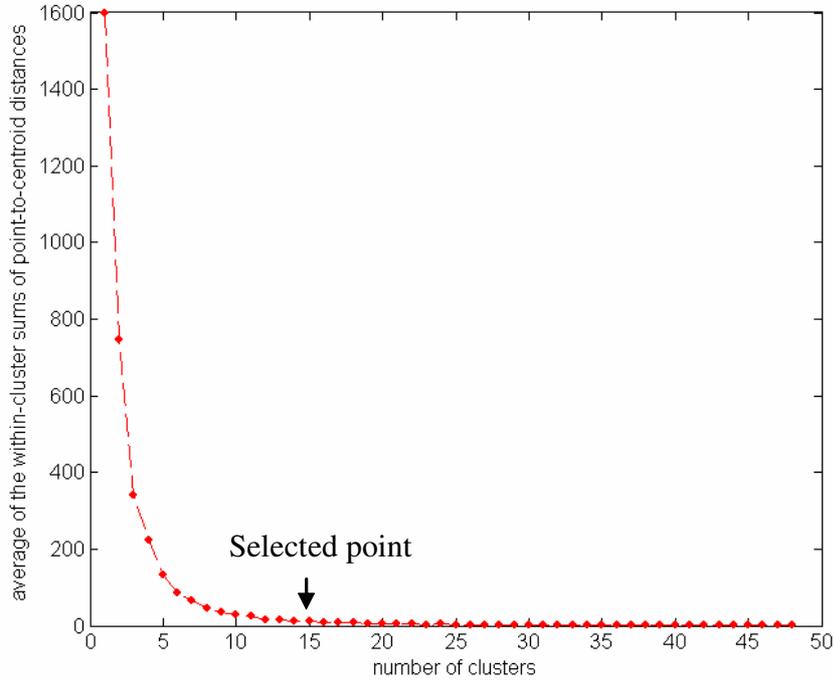


그림 2-9. Trend of within-cluster average of point-to-centroid distances according to the number of clusters by K-means cluster analysis (Jung, 2009)

향을 보이다가 군집 개수가 15개 이상이 되면서부터 감소 경향이 완만해지는 것으로 나타났다. 따라서, 적정 군집 개수는 군집 내 객체간 평균 거리의 감소가 완만해지고, 2 cm 정도로 수렴하게 되는 15개로 결정되었다(Jung, 2009).

셋째, optimization method는 그림 2-6.c와 같이 최적화 기법을 통하여 지정된 수용비율을 만족하는 격자를 생성한 후 생성된 격자의 중심 위치로 RHM을 생성하는 방법이다. 예를 들면, Jung (2009)은 McCulloch et al. (1998)의 연구를 참고하여 격자 중심 위치에서 멀어질수록 1차로 손실이 증가하는 손실 함수(loss function)와 최적화 알고리즘(식 2-1 참조)을 수용하여 인수수용비

을 최대화하면서 종합손실을 최소화하는 17개 격자를 생성한 후 생성된 군집의 중심 위치로 RHM 생성 위치를 결정하였다. McCulloch et al. (1998)은 지정된 개수의 격자를 이용하여 인구수용비율을 최대화하면서 종합손실은 최소화하는 격자를 식 2-1에 나타낸 것과 같은 최적화 알고리즘을 적용하여 결정하였다. 손실함수는 격자 중심 위치에서 설계허용공차 거리 내에 있는 인구는 손실이 발생되지 않으나, 범위를 벗어나면 선형적으로 손실이 증가하도록 하는 개념이다(McCulloch et al., 1998).

$$\min \sum_{i=1}^n l(p_i)k_i + l(c_\alpha)(1-k_i) \quad \text{식 2-1.}$$

$$k_i = \begin{cases} 1 & \text{if } l(p_i) < l(c_\alpha) \text{ where } l(p_i) = \min_s \{d(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_s)\} \\ 0 & \text{o/w} \end{cases}$$

$$d(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_s) = \sum_{j=1}^k [d(x_{ij}, y_{sj})]^2$$

$$d(x_{ij}, y_{sj}) = \begin{cases} y_{sj} - x_{ij}, & \text{if } x_{ij} \leq y_{sj} \\ x_{ij} - y_{sj}, & \text{if } x_{ij} > y_{sj} \end{cases}$$

where: n = number of the target population,

$l(p_i)$ = loss score of person i ,

$l(c_\alpha)$ = loss cutoff to determine whether a person is accommodated or not,

$d(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_s)$ = distance between person i and its nearest grid,

k = number of key dimensions,

x_{ij} = body size of key dimension j of person i , and

y_{sj} = centroid of the nearest grid s in key dimension j .

Distributed RHM의 인체크기는 중요변수 측면에서 정의된 RHM 생성 위치 정보를 이용하여 추정된다. Jung (2009)은 grid method와 optimization method에 대한 RHM의 중요변수 크기의 경우 선정된 RHM 생성 위치 정보를 이용해 결정하였고, 다른 인체변수의 크기는 표 2-3과 같이 중요변수를 이용해 인체변수를 추정하는 회귀식을 적용하여 추정하였다. 그리고, clustering method에 대한 RHM의 인체크기는 요인분석을 통해 파악된 요인적재량과 공통요인 측면에서 정의된 RHM 생성 위치 행렬 정보를 이용하여 추정하였다.

표 2-3. Regression equations to estimate the sizes of anthropometric dimensions using three key dimensions (Jung, 2009)

Anthropometric dimension	Code	Regression equation	Adj. R^2
Hip breadth	BD3	$BD3 = 18.87 - 0.59 \times BD1 + 0.60 \times BD2 + 0.85 \times BD5$	0.42
Elbow rest height	BD4	$BD4 = 25.88 - 0.19 \times BD1 + 0.43 \times BD2 + 0.59 \times BD5$	0.11
Buttock-knee length	BD6	$BD6 = 2.52 + 0.10 \times BD1 + 0.95 \times BD2 + 0.43 \times BD5$	0.96
Abdominal extension depth	BD7	$BD7 = -3.53 - 0.15 \times BD1 + 0.24 \times BD2 + 1.27 \times BD5$	0.43
Forearm-to-forearm breadth	BD8	$BD8 = -3.86 + 0.76 \times BD1 - 0.36 \times BD2 + 2.48 \times BD5$	0.55
Foot length	BD9	$BD9 = 3.40 + 0.41 \times BD1 + 0.32 \times BD5$	0.81
Knee height	BD10	$BD10 = 3.11 + 0.83 \times BD1 + 0.19 \times BD2 + 0.44 \times BD5$	0.96

* Key dimensions: popliteal height (BD1), buttock-popliteal length (BD2), thigh clearance (BD5)

식 2-2는 요인분석을 통하여 추출된 3개의 중요변수를 통해 10개의 인체변수의 크기를 추정하는 식을 나타낸다(Jung, 2009).

$$Z = FL \times FS \quad \text{식 2-2.}$$

where: $Z = 10 \times n$ matrix of standard normal scores ($n =$ number of RHMs generated)

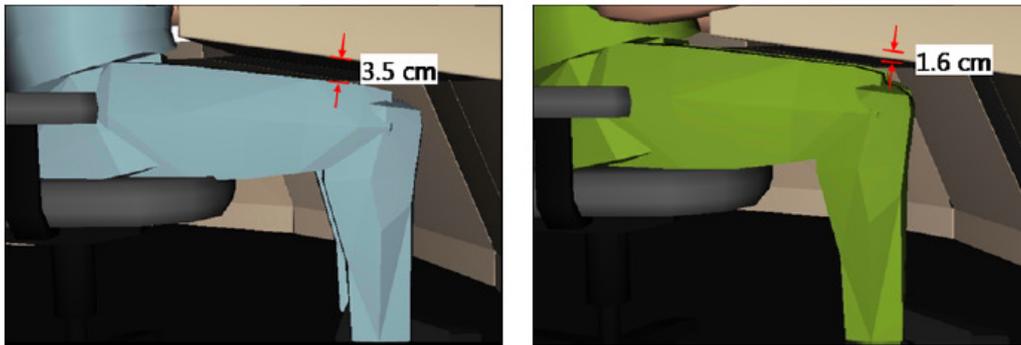
$FL = 10 \times 3$ matrix of factor loading, and

$FS = 3 \times n$ matrix of the factor scores defined in the space of the factors

2.3. RHM generation in digital human model simulation systems

DHM simulation system은 디지털 환경 상에서 개발중인 제품에 대한 인간공학적 평가를 지원하는 시스템이다. DHM simulation system은 제품 개발 단계의 초기부터 인간공학적 특성을 설계에 반영할 수 있게 하여 제품의 개발 비용 및 기간을 절감하는 효과를 창출할 수 있다(Chaffin, 2001). 그리고, DHM simulation system은 컴퓨터 상에 개발중인 제품과 디지털 인체모델을 3차원 시각화하여 다양한 인체크기를 가지는 사용자에게 대해 제품을 사용하는 자세 편의성, 도달 편의성, 가시 용이성, 그리고 거주 공간 특성을 분석할 수 있어 제품 설계의 개선 사항을 용이하게 파악할 수 있다. 또한, DHM simulation system은 제품에 대한 실물 prototype 없이 디지털 환경 상에서 주요 불편 사항을 파악할 수 있어 실물 prototype 제작 횟수 및 제작 비용을 절감하는 효과를 창출할 수 있다. 예를 들면, 이백희 외(2010)는 방사성 폐기물 처리장 주체

어실에 대해 설계대상인구를 대표할 수 있는 4명의 대표인체모델(5th, 50th, 95th,



(a) 95th percentile

(b) 99th percentile

그림 2-10. An analysis of clearance using DHM simulation system (이백희 외, 2010)

and 99th percentiles)을 생성하여 주제어실 내 설계요소에 대하여 인간공학적 평가를 실시하였다. 그림 2-10은 주제어실 내 설계요소 중 console에 대하여 다리 여유공간의 크기 분석을 예시한다.

본 연구에서는 세 가지 대표적인 DHM simulation system (Jack, RAMSIS, 그리고 CATIA Human)의 RHM 생성 인터페이스의 특성 및 한계점을 파악하였다. 제품 설계를 위한 설계대상인구(target population)는 국가, 성별, 연령대 등과 같은 인구학적 요소에 의해 선택될 수 있다. 본 연구는 표 2-4와 같이 인구학적 요소와 RHM 생성간 사용되는 인체개수 및 방법에 대하여 조사되었으며, 아래와 같은 한계점을 파악하였다. 성별(gender)은 3가지 시스템 모두 남성 또는 여성의 선택은 가능하지만, 혼성(composite) 인구에 대한 사항이 고려되지 않는 것으로 나타났다. 연령대(age group)는 RAMSIS에서만 제공되고 있으나(그림 2-11.b 참조), 사용자가 원하는 다양한 연령대의 인구를 선택할 수 없

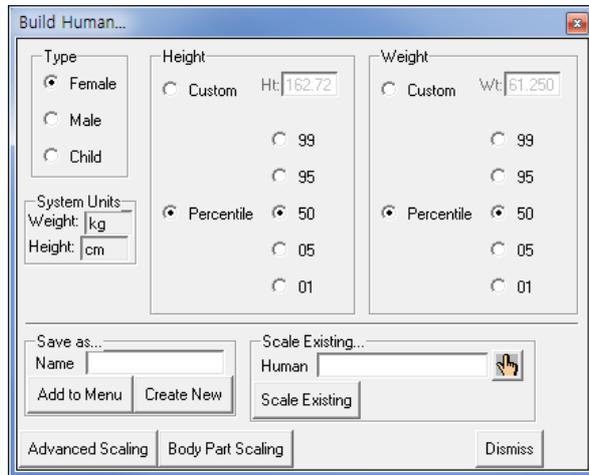
는 것으로 조사되었다. 또한, custom-built RHM을 생성 시 입력할 수 있는 인체 크기의 개수는 Jack과 RAMSIS가 각각 26, 24개로 다양한 인체변수들 중에 대표적인 소수의 인체변수(예: 키, 몸무게)만 제공되고 있으며(그림 2-12 참조), RHM을 생성하는 방법은 custom-built RHM 생성 방법을 제공하는 DHM simulation system일지라도 boundary method나 distributed method와 연동되지 않는 것으로 나타났다.

표 2-4. Characteristics of RHM generation in DHM simulation systems

Factors	Jack	RAMSIS	CATIA Human
Developer	SIMENS, Germany	Human Solutions, Germany	Dassault Systemes, France
Version	5.1	3.8.30	5R18
Database / Nation (Reference year)	US Army (1988)	Germany etc., 17 nations (1984 - 2020)	American, canadian, French, Japanese, Korean (*N.S.)
Gender	Female, Male, (Child)	Female, Male, (Child)	Female, Male
Age groups	**N/A	4 groups (18-70, 18-29, 30-49, 50- 70)	N/A
Number of anthropometric variables (in custom-built)	26	24	N/A
RHM-generation method	Percentile method Custom-built method	Percentile methods Custom-built method	Percentile methods

* N.S.: not specified

** N/A: not applicable



(a) Jack (Siemens Co.)

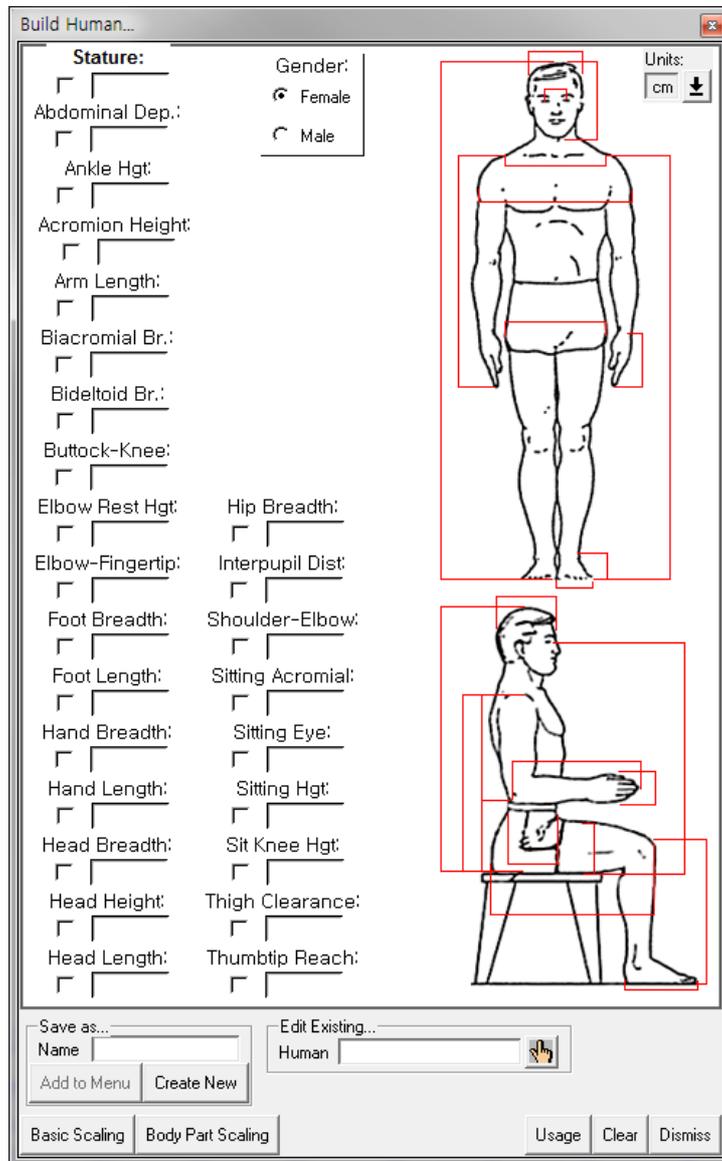


(b) RAMSIS (Human Solutions Co.)

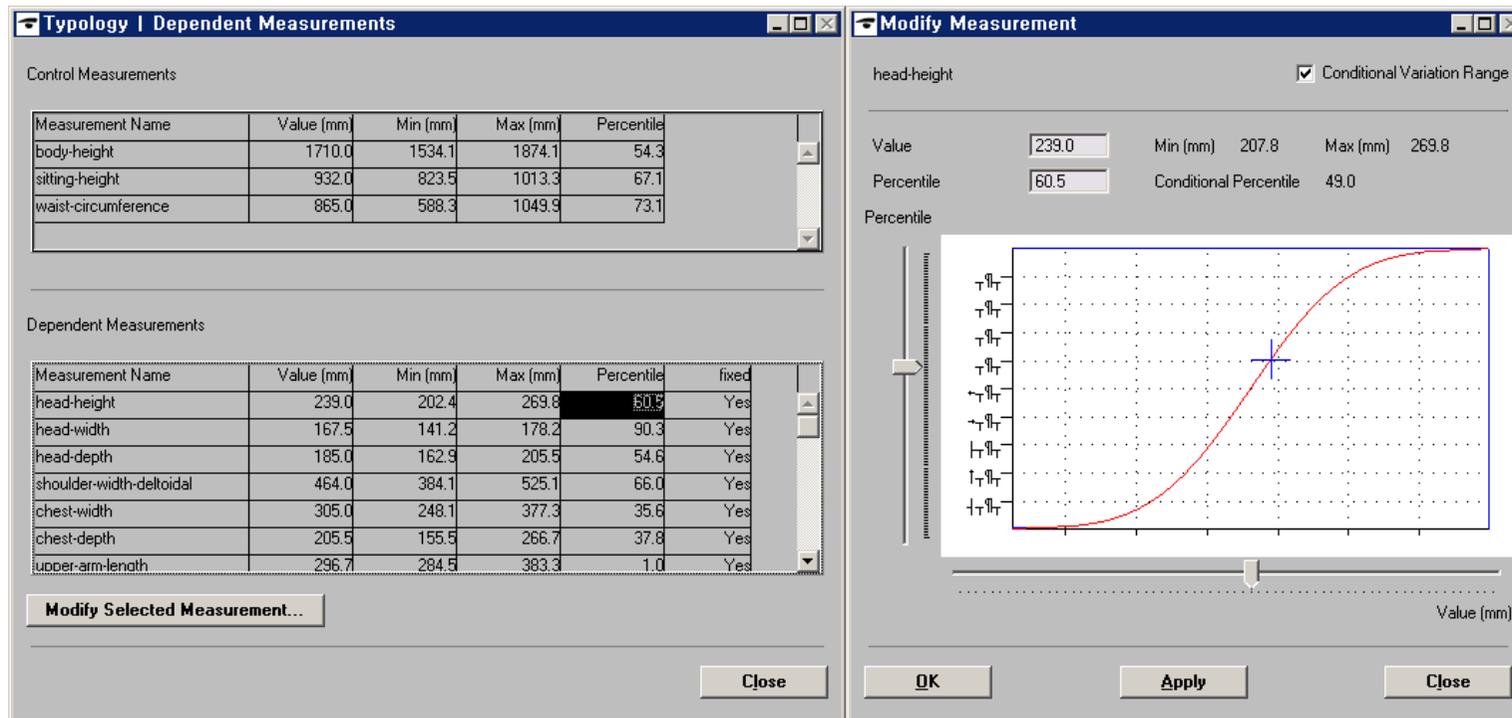


(c) CATIA Human (Dassault systemes Co.)

그림 2-11. Percentile RHM generation interfaces



(a) Jack (Siemens Co.)



(b) RAMSIS (Human Solutions Co.)

그림 2-12. Custom-built RHM generation interfaces

III. Development of a Distributed RHM Generation and Analysis System

3.1. System overview

본 시스템은 distributed RHM을 생성하고 생성된 distributed RHM에 대한 분석 결과를 제공하기 위하여 그림 3-1과 같은 절차에 따라 개발되었다. 이를 위해, 본 시스템은 기존 문헌 조사를 통해 도출된 distributed RHM 생성 절차에 따라 사용자가 생성을 위한 변수들의 값을 입력할 있도록 구성되었다. 또한, 본 시스템은 제품 생성 목적에 맞는 인체측정자료를 선택하고, 설계대상인구(target population)와 설계대상 인체변수(target anthropometric variable)를 선정한 후, distributed RHM 생성 방법을 결정하도록 구성되었다. 마지막으로, 본 시스템은 생성된 distributed RHM의 수용비율 분석 및 시각화 결과를 제공한다 (그림 3-2 참조).

3.2. RHM generation process

본 시스템의 RHM 생성은 그림 3-3과 같은 5단계 절차로 진행된다. 첫 번째 단계에서는 설계대상인구를 선정하고, 두 번째 단계에서는 설계대상 인체변수를 선정한다. 세 번째 단계에서는 중요변수 추출 단계로써 analysis 방법으로 regression analysis (RA), factor analysis (FA), principal component analysis (PCA)를 선택하거나 user-defined 방법을 선택한다. 네 번째 단계에서는 격자형

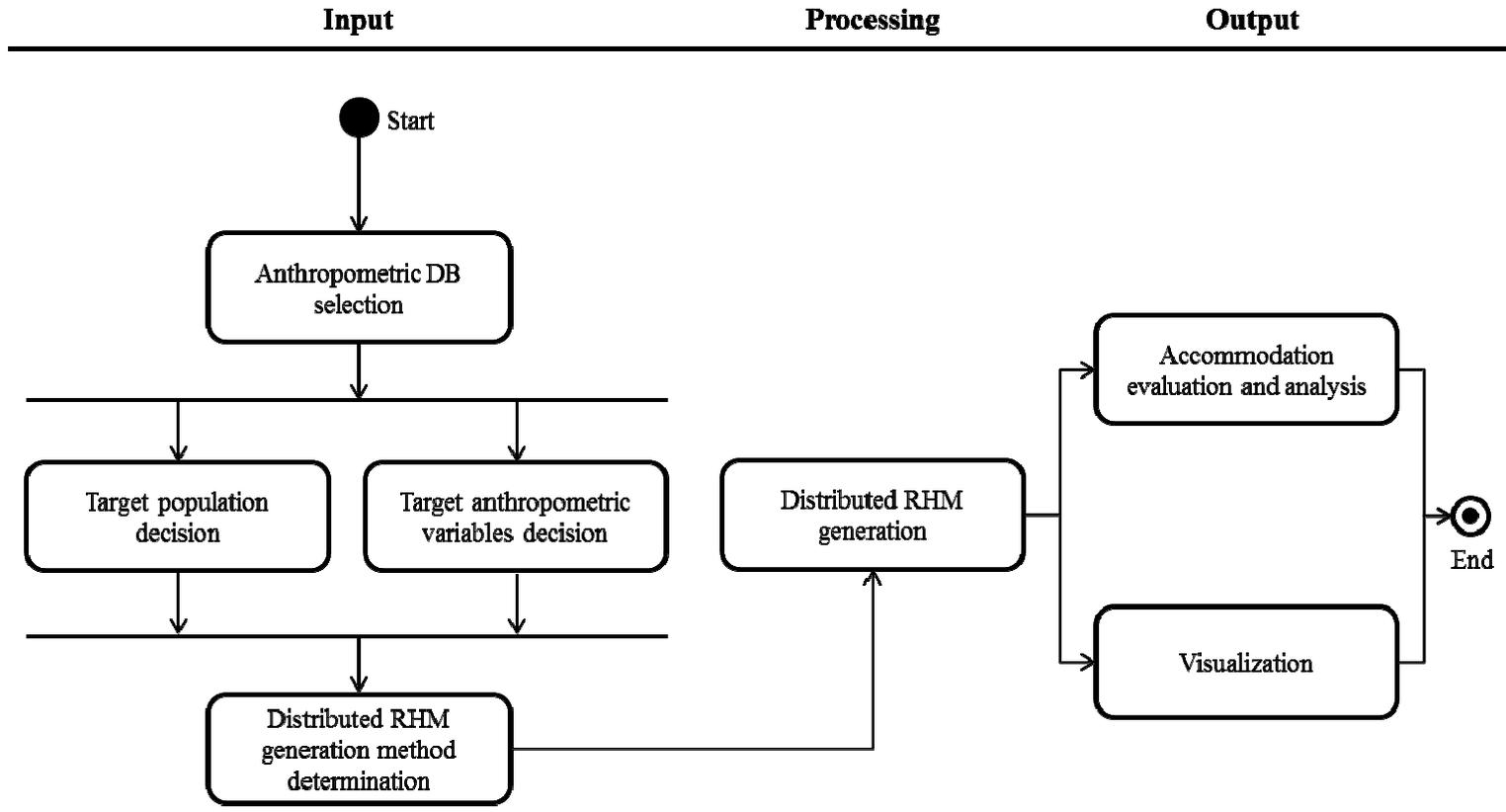


그림 3-1. System activity diagram

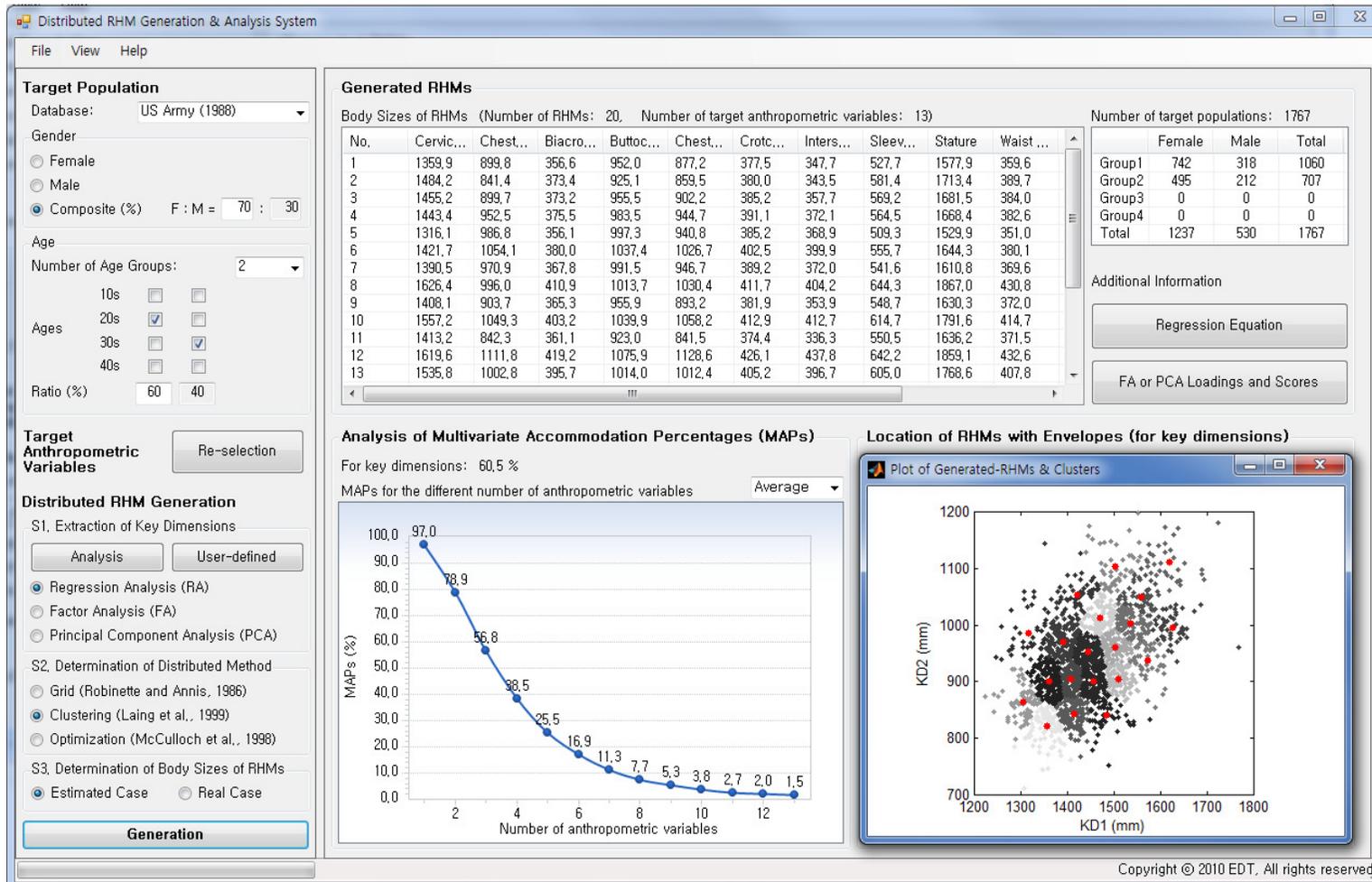


그림 3-2. System overview

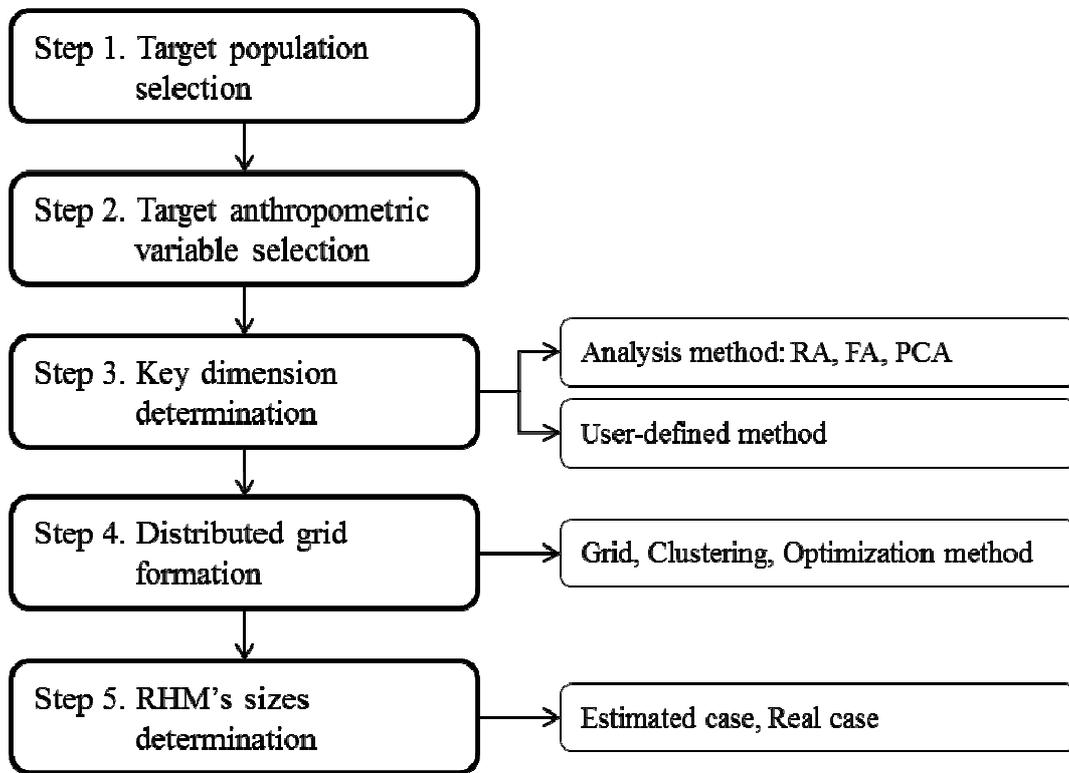


그림 3-3. RHM generation process

성 방법으로 grid method, clustering method, optimization method 중 한 개를 선택한다. 마지막 단계에서는 estimated case 또는 real case를 선택하여 RHM의 인체 크기를 추정한다.

3.2.1. Step 1: Target population selection

설계대상인구는 인체측정 data로부터 성별과 연령대를 선택하여 선정된다(그림 3-4 참조). 본 시스템의 인체측정 data는 표 3-1과 같이 세 가지(US Army, Gordon et al., 1988; US Army Pilot, Gordon et al., 1988; Korean Pilot, Jung et al.,

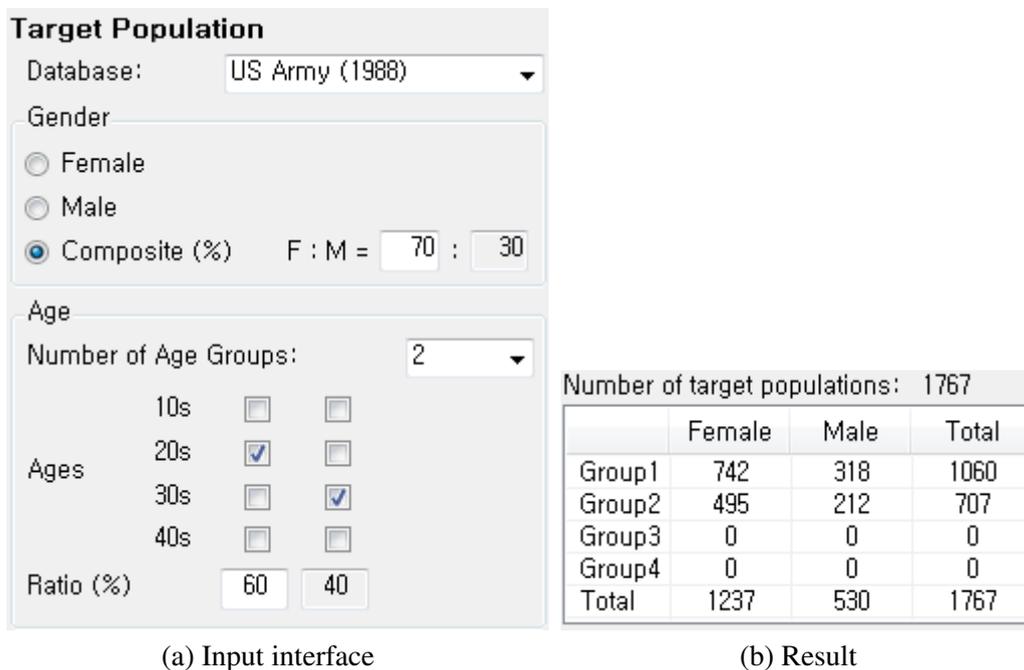


그림 3-4. Interface of target population decision

표 3-1. Characteristics of three anthropometric databases

Factors		US Army (Gordon et al., 1988)	US Army Pilot (Gordon et al., 1988)	Korean Pilot (Jung et al., 2008)
Sample size (<i>n</i>)	Female	2,208	334	-
	Male	1,774	487	1,237
	Total	3,982	821	1,237
Range of ages		10s ~ 40s	20s ~ 40s	20s ~ 40s
Number of anthropometric variables		132	132	16

2008)를 사용하였다. 사용자는 성별 선택 시 남성, 여성, 그리고 혼성 (composite)을 선택할 수 있으며 혼성 선택 시 남성과 여성의 비율(%)을 입력할 수 있다. 또한, 연령대 선택 시 10대부터 40대 중 원하는 연령대를 선택가능하며, 선택된 각 연령대 별 비율(%)을 입력할 수 있다. 예를 들면, 그림 3-4는 US Army data로부터 여성과 남성의 비율을 70:30 (1,237:530명)으로 하고, 연령대는 두 개 그룹(20대와 30대)의 비율을 60:40 (1,060:707명)로 추출하여 설계 대상인구를 선택하는 인터페이스(a)와 선택 결과(b)를 나타낸다. 본 시스템은 사용자가 선택한 인체측정 data로부터 성별과 연령대 각각의 비율을 만족하는 최대의 인구 수를 추출하기 위해 식 3-1과 같은 알고리즘을 탑재하였다.

Let x_{ij} = Extraction number of i (gender) aged j 's
 y_{ij} = Number of i (gender) aged j 's in database
 R_k = Ratio in k _cell
 $i = F, M, j = 10, 20, 30, 40, k = F, M, 10, 20, 30, 40$

$$\text{Maximize } Z = \sum_i \sum_j x_{ij} \quad \text{식 3-1.}$$

subject to

$$x_{ij} \leq y_{ij} \text{ for all } i, j$$

$$R_F : R_M = \sum_j x_{Fj} : \sum_j x_{Mj}$$

$$R_{10} : R_{20} : R_{30} : R_{40} = \sum_i x_{i10} : \sum_i x_{i20} : \sum_i x_{i30} : \sum_i x_{i40}$$

$$x_{ij} > 0 \text{ for all } i, j$$

3.2.2. Step 2: Target anthropometric variable selection

설계대상 인체변수는 대분류, 소분류, 그리고 치수유형의 분류기준이 계층적으로 제시되어 사용자가 용이하게 선택을 할 수 있도록 개발되었다. You et al. (2004)은 인체변수들의 인체부위별 분류를 위하여, 생체역학적 인체 링크들(Webb Associates, 1978)을 기반으로 표 3-2와 같은 5개 대분류 항목과 15개 소분류 항목으로 구성된 인체부위체계를 설정하였다. 예를 들면, 몸통(trunk)의 소분류는 가슴(chest), 등(back), 배(abdomen), 그리고 두 개 이상의 세부 인체부위의 조합인 조합부위(combined)로 구분된다. 또한, 인체측정변수들은 검색의 용이성을 부가하기 위해 치수유형에 따라 표 3-3과 같이 세부적으로 분류되었다(Rebuck et al., 1975; Annis & McConville, 1996). 예를 들어, 사용자가 가슴둘레(chest circumference)를 선택할 경우, 표 3-3에 나타난 것과 같이 trunk (major class), chest (sub class), circumference (measurement type) 순으로 선택하면 된다. 따라서, 본 시스템은 이러한 인체측정분류체계에 근간하여 그림 3-5과 같은 설계대상 인체변수 선정 인터페이스를 제공하였다. 그리고, 본 시스템은 사용자가 설계대상 인체변수들을 선정 후 엑셀 파일 형태로 저장하거나 불러올 수 있다.

표 3-2. Body part system (You et al., 2004)

대분류	소분류	대분류	소분류
전반(Overall)	-		위팔/어깨(Upper Arm/Shoulder)
머리/목 (Head/Neck)	머리(Head)	팔/손 (Arm/Hand)	아래팔/팔꿈치(Forearm/Elbow)
	목(Neck)		손/손목(Hand/Wrist)
	조합부위(Combined)		조합부위(Combined)
몸통 (Trunk)	가슴(Chest)	다리/발 (Leg/Foot)	윗다리/엉덩이(Upper Leg/Hip)
	등(Back)		아랫다리/무릎(Lower Leg/Knee)
	배(Abdomen)		발/발목(Foot/Ankle)
	조합부위(Combined)		조합부위(Combine)

표 3-3. An example of body part classification - trunk (You et al., 2004)

대분류	소분류	치수유형	인체측정변수 명칭	
			영어	한글
몸통	가슴	높이	Axilla height	겨드랑높이
		너비	Biacromial breadth	어깨너비
			Bideltoid breadth	몸통너비
			Chest breadth	윗가슴너비
		두께	Chest breadth	가슴두께
	둘레	Chest circumference	가슴둘레	
	배	높이	Waist height	허리높이
			Waist height, sitting	앉은허리높이
		너비	Waist breadth	허리너비
		두께	Waist depth	허리두께
둘레		Waist circumference	허리둘레	

Target Anthropometric Variables

Selection

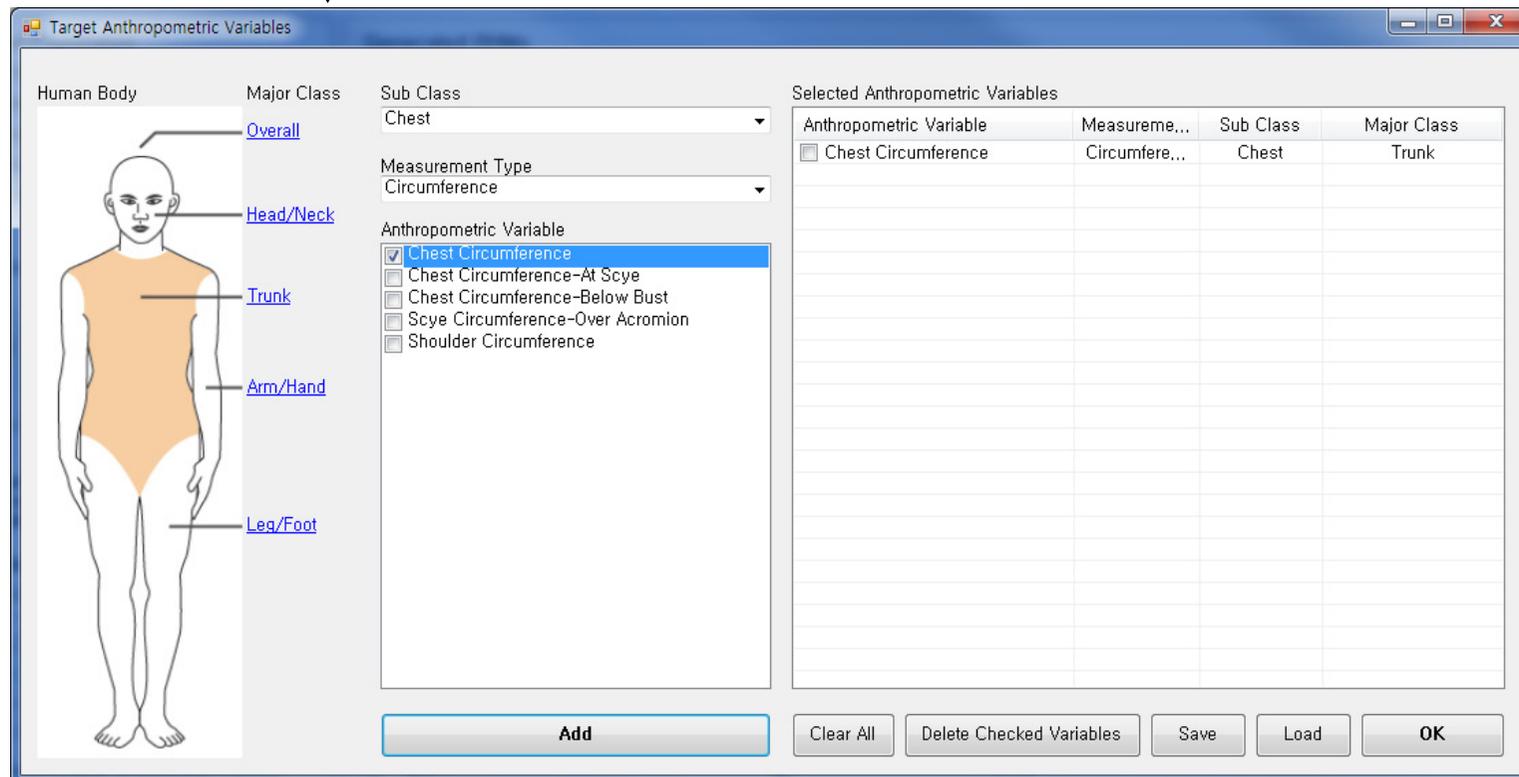


그림 3-5. Interface of target anthropometric variables decision

3.2.3. Step 3: Key dimension determination

본 단계에서는 선정된 설계대상 인체변수들 중 중요변수(key dimension)를 추출하는 두 가지 방법(analysis method와 user-defined method)으로 추출한다. 통계적 기법(analysis)에는 회귀분석(regression analysis), 요인분석(factor analysis), 그리고 주성분분석(principal component analysis)에 대하여 분석 기능을 제공하는 인터페이스가 설계되었다(그림 3-6 참조).

Regression analysis (RA) 인터페이스(그림 3-7 참조)는 최적의 중요변수 개수 결정을 위해 각 중요변수 개수(1 ~ 5개)에 따른 최대 평균 수정회귀계수(maximum average of adjusted R^2)를 제시한다. 또한, 설계대상 인체변수들 중 선택된 중요변수 개수를 가진 모든 인체변수들의 조합과 나머지 인체변수들간의 평균, 최소, 그리고 최대 수정회귀계수가 제공된다. 사용자는 중요변수 개수에 따라 최대 평균 수정회귀계수의 증가 폭이 감소하는 곳을 참고하여 중요변수 개수를 선택할 수 있다. 그림 3-7을 예로 들면, 중요변수는 두 개와 세 개 사이에서 최대 수정회귀계수의 증가 폭이 가장 작아지는 것으로 나타나므로 사용자는 중요변수 수를 두 개로 결정할 수 있다. 그리고, 중요변수로는 두 개의 중요변수가 될 수 있는 모든 설계대상 인체변수들의 조합과 나머지 인체변수들간의 평균 수정회귀계수(0.895)가 가장 큰 상단의 두 개의 중요변수(acromion height-sitting과 overhead reach-extended)가 선택될 수 있다. 본 시스템은 사용자가 수정회귀계수를 참조하여 중요하다고 생각되는 인체변수를 선택할 수 있도록 인터페이스를 설계하였다.

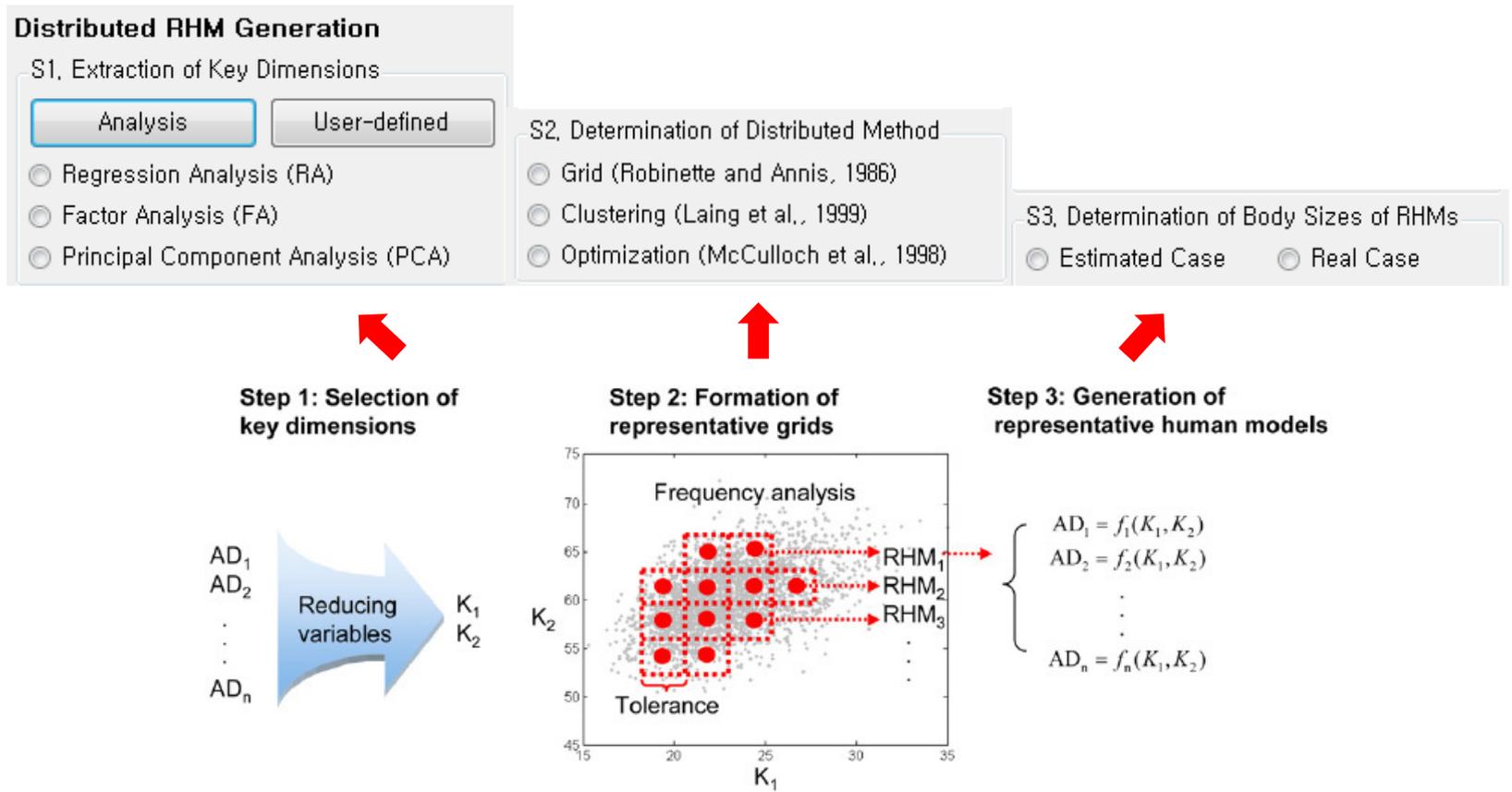


그림 3-6. Interface of distributed RHM generation

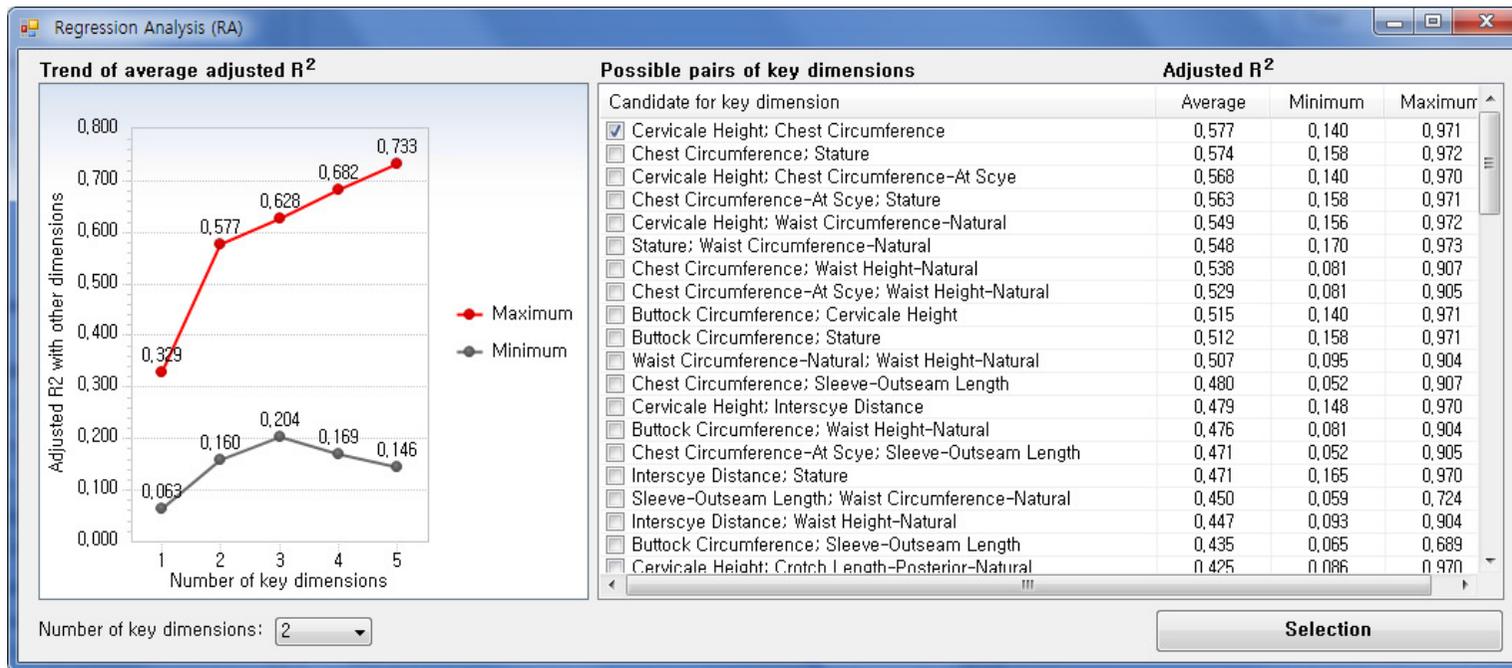
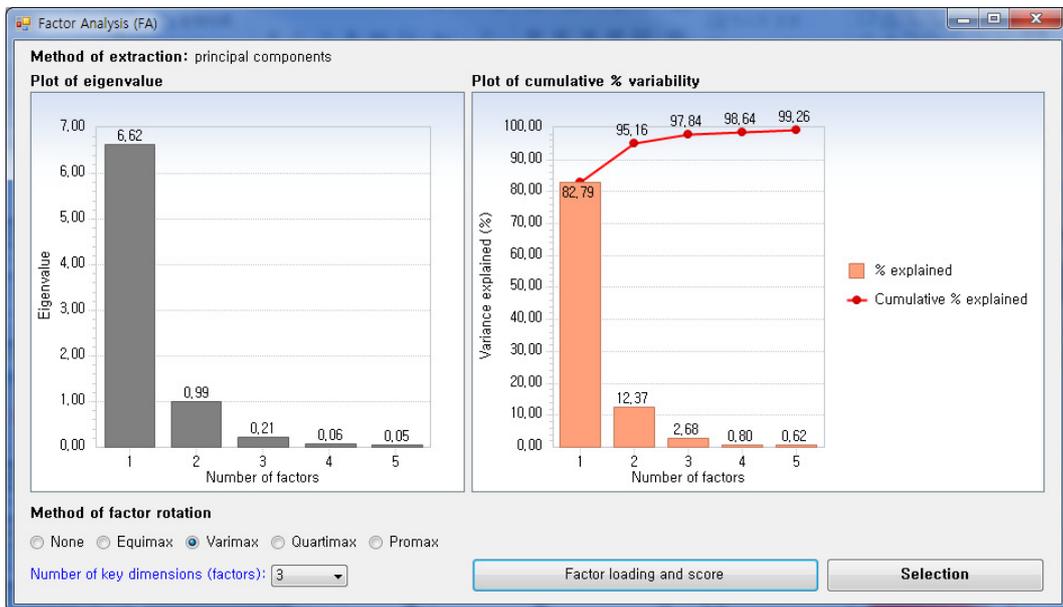
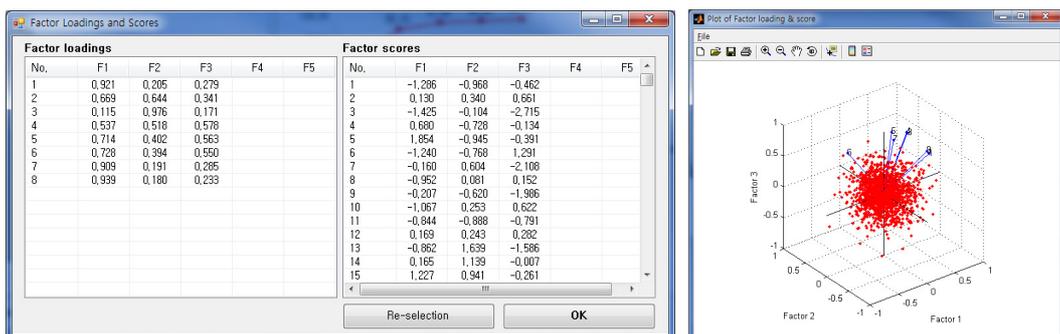


그림3-7. Interface of regression analysis (RA)

Factor analysis (FA) 인터페이스(그림 3-8 참조)는 요인개수 결정을 위해 eigenvalue와 cumulative percent variability를 제공한다. 본 시스템은 요인추출 방법으로 principal components 방법을 제공하고, factor rotation 방법의 경우 기본적으로 Bittner (2000)에 의해 권장되는 Varimax 방법을 포함하여 다섯 가지(None, Equimax, Varimax, Quartimax, Promax) 방법을 제공한다.



(a) Plot of eigenvalue & cumulative percent variability



(b) Factor loadings & scores

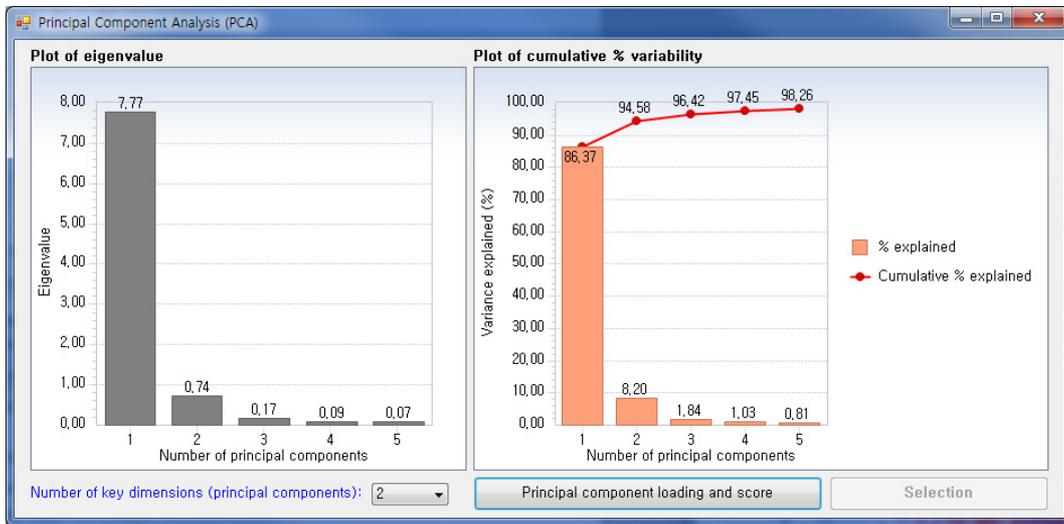
(c) Plot of (b)

그림 3-8. Interface of factor analysis (number of key dimensions = 3)

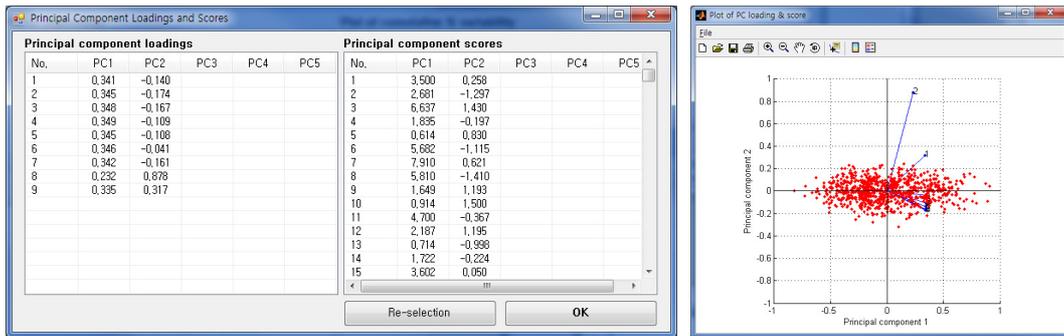
Equimax, Varimax, Quartimax, 그리고 Promax) 방법을 선택할 수 있도록 하였다. 사용자는 요인개수 선택기준(eigenvalue > 1 또는 percent variance explained > 80%; Lattin, 2003)을 적용하여 요인의 개수를 선택할 수 있으며, 선택된 요인개수 및 factor rotation 방법에 따른 factor loadings & scores와 plot을 참고하여 요인개수를 결정할 수 있다.

마지막으로, principal component analysis (PCA) 인터페이스(그림 3-9 참조)는 FA 인터페이스와 같이 요인개수 결정을 위해 eigenvalue와 cumulative percent variability를 제공한다. 사용자는 요인개수 선택기준(Lattin, 2003)을 적용하고, principal component loadings & scores와 plot을 참고하여 요인개수를 결정할 수 있다.

본 시스템은 사용자가 중요변수를 알고 있는 경우 설계대상 인체변수들 중 중요변수를 직접 선택(user-defined) 할 수 있도록 하는 인터페이스를 제공한다(그림 3-10 참조). 예를 들면, Kwon et al. (2009)는 장갑의 치수체계 설계를 위해 통계적 분석 방법을 거치지 않고 기존 문헌 조사만을 기반으로 세 개의 중요변수(hand length, hand circumference, 그리고 hand breadth)를 선정하였다. 그림 3-8은 사용자가 설계대상 인체변수로 선정된 열 개의 인체변수 중 두 개(buttock circumference와 buttock height)를 중요변수로 선정한 예시를 나타낸다.



(a) Plot of eigenvalue & cumulative percent variability



(b) Principal component loadings & scores

(c) Plot of (b)

그림 3-9. Interface of principal component analysis (number of key dimensions = 2)

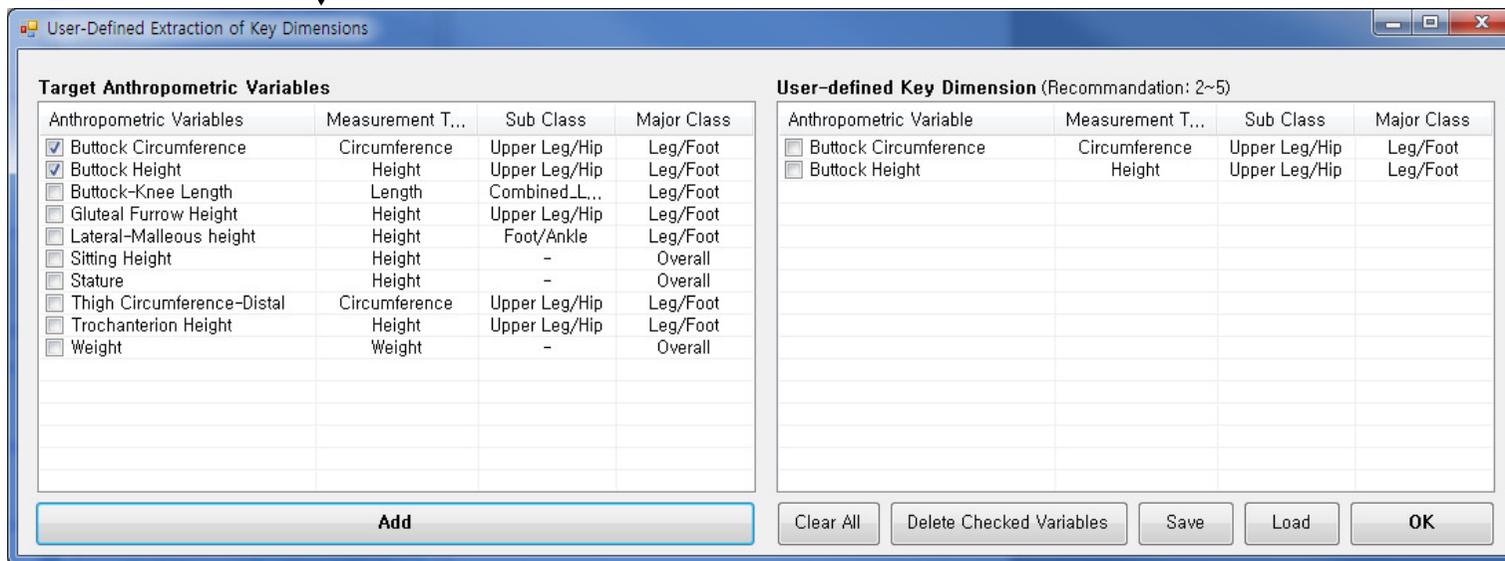
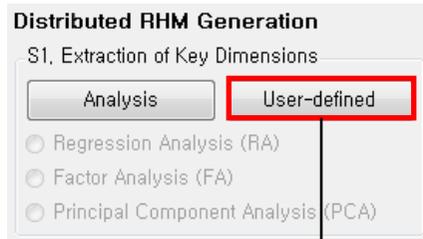


그림 3-10. Interface of user-defined extraction of key dimensions

3.2.4. Step 4: Distributed grid formation

본 시스템은 기존 문헌 조사를 통해 파악한 세 가지 distributed RHM 생성 방법(grid method, clustering method, 그리고 optimization method)에 대한 각각의 인터페이스를 제공한다(그림 3-6 참조). 먼저, grid 방법(Robinette and Annis, 1986)의 인터페이스(그림 3-11 참조)는 설계허용공차(fitting tolerance)와 인구수 용비율(accommodation rate)을 설정할 수 있도록 개발되었다. 본 시스템은 추출된 중요변수에 대한 인구분포 격자를 생성하기 위해 Kwon et al. (2009)과 같이 8가지 기술적 통계치(mean, standard deviation, minimum, maximum, range between minimum and maximum, 1st percentile, 99th percentile, 그리고 range between 1st and 99th percentile)를 제공하였다(그림 3-11 참조). 설계허용공차는 중요변수들의 기

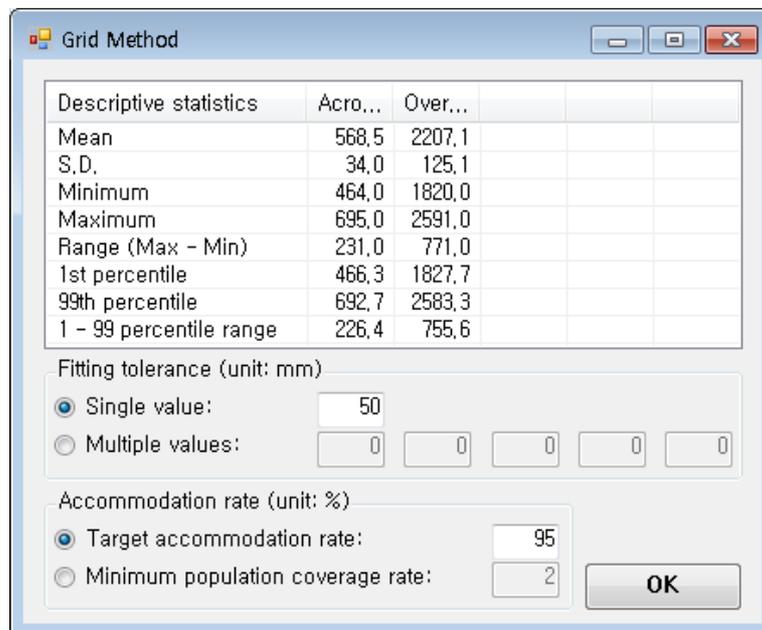


그림 3-11. Interface of grid method

술 통계치 중 산포측도(standard deviation, range between minimum and maximum, 그리고 range between 1st and 99th percentile)의 특성과 함께 설계하려는 제품에 대해 제조업체들이 주로 사용하는 치수간격 정보에 의해 결정된다(Kwon et al., 2009). 본 시스템은 중요변수들에 대해 설계허용공차를 동일하게 설정(single value)하거나 중요변수 각각에 대해 독립적으로 설정(multiple values) 할 수 있도록 인터페이스를 구현하였다. 예를 들어, 그림 3-11은 설계허용공차를 첫 번째 중요변수(acromion height-sitting)와 두 번째 중요변수(overhead reach-extended) 각각에 대해 50 mm와 80 mm로 설정한 예를 나타낸다. 또한, 본 시스템은 수용비율을 목표수용비율(target accommodation rate)과 또는 최소 인구출현비율(minimum population coverage rate)을 선택할 수 있도록 하였다. 목표수용비율은 생성된 모든 격자들의 수용비율의 합이 설정된 비율 이상이 되도록 격자를 생성하는 방법이며(Jung et al., 2010), 최소 인구출현비율은 각 격자에 포함된 인구수가 설정된 비율 이상이 되는 격자들만 추출하는 방법이다(Kwon et al., 2009).

두 번째로, clustering 방법(Laing et al., 1999)의 인터페이스(그림 3-12 참조)는 사용자가 군집 분석 결과 그래프를 참조하여 군집 수를 직접 결정할 수 있도록 개발되었다. 본 시스템은 군집 수 결정을 위하여 2개부터 30개의 군집일 때의 within-cluster 및 between-cluster average Euclidian distances의 그래프를 제공한다. 사용자는 두 가지 그래프의 Euclidian distances 분석 결과를 참고하여 군집 내 cluster들 간의 거리가 작고(high within-cluster homogeneity), 군집 간의 거리가 큰(high between-clusters heterogeneity) 최적의 군집 개수를 선택할 수 있다. 예를 들어, 그림 3-12에서 사용자는 두 개의 그래프를 참고하여 군집 수를

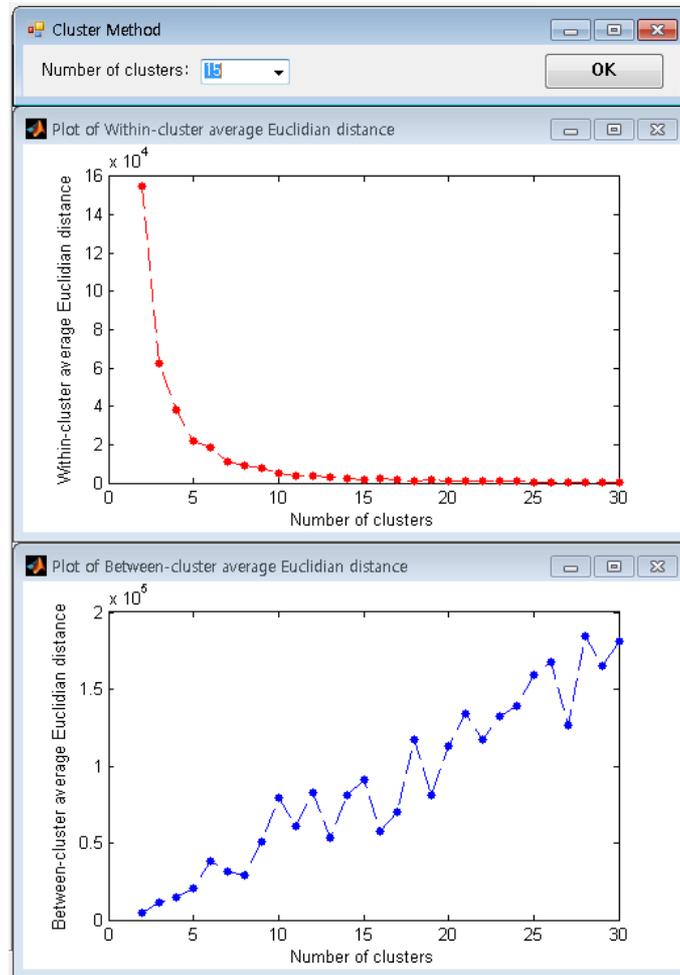


그림 3-12. Interface of clustering method

15개로 선택 할 수 있다.

마지막으로, optimization 방법(McCulloch et al., 1998)의 인터페이스(그림 3-13 참조)는 사용자가 생성할 RHM 수, 반복 수, 그리고 목표수용비율을 설정할 수 있도록 개발되었다. Optimization 방법은 McCulloch et al. (1998)이 고안한 최적화 알고리즘(식 2-1 참조)을 기반으로 생성할 RHM 수를 지정하여 인구

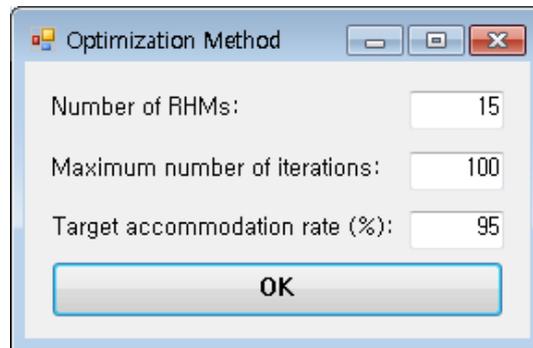


그림 3-13. Interface of optimization method

수용비율을 최적화한다. 본 시스템은 사용자의 편의성을 위해 loss cutoff ($C\alpha$)의 경우 loss scores의 최대, 최소값의 중간 값으로 결정되도록 설계되었다. 따라서, 사용자는 grid method나 clustering method의 RHM 생성 결과를 참조하여 RHM 생성 수만 조정하면 된다. 사용자는 최적의 RHM을 생성하기 위한 알고리즘 반복 수(maximum number of iterations)를 설정할 수 있으며, 원하는 인구 수용비율을 입력할 수 있다. 예를 들어, 그림 3-13은 생성할 RHM 수는 15개, 최대 반복 수는 100회, 그리고 목표수용비율은 95%로 설정된 것을 나타낸다.

3.2.5. Step 5: RHM's sizes determination

본 시스템은 distributed method를 통해 생성된 격자에서 RHM을 생성하는 방법으로 두 가지 인체크기 선택방법(estimated case 또는 real case)을 제공한다(그림 3-6 참조). Estimated case 방법은 생성된 격자를 대표할 수 있는 RHM을 선정하는 방법(그림 3-14.a 참조)으로써, 격자의 형상학적으로 중심이 되는 지점(centroid)의 RHM을 찾는 방법이다. 따라서, estimated case을 통하여 RHM을

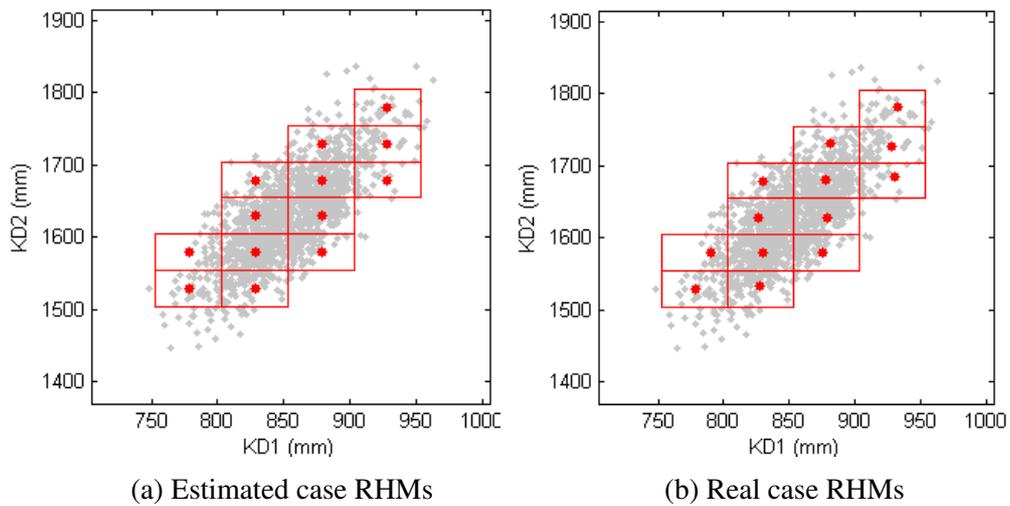


그림 3-14. Two methods of RHM body size determination

생성하면 실제 존재하지는 않지만 격자를 대표할 수 있는 사람의 인체크기로 추정이 된다. Real case 방법은 생성된 격자를 대표할 수 있는 실제 RHM을 선정하는 방법(그림 3-14.b 참조)으로써, 격자내의 RHM 후보와 estimated RHM (centroid)과의 Euclidian 거리가 최소(medoid)가 되는 RHM을 찾는 방법이다. 따라서, real case 방법을 통하여 RHM을 생성하면 실제 설계대상인구 중에서 실제 사람의 인체크기를 추출해 준다.

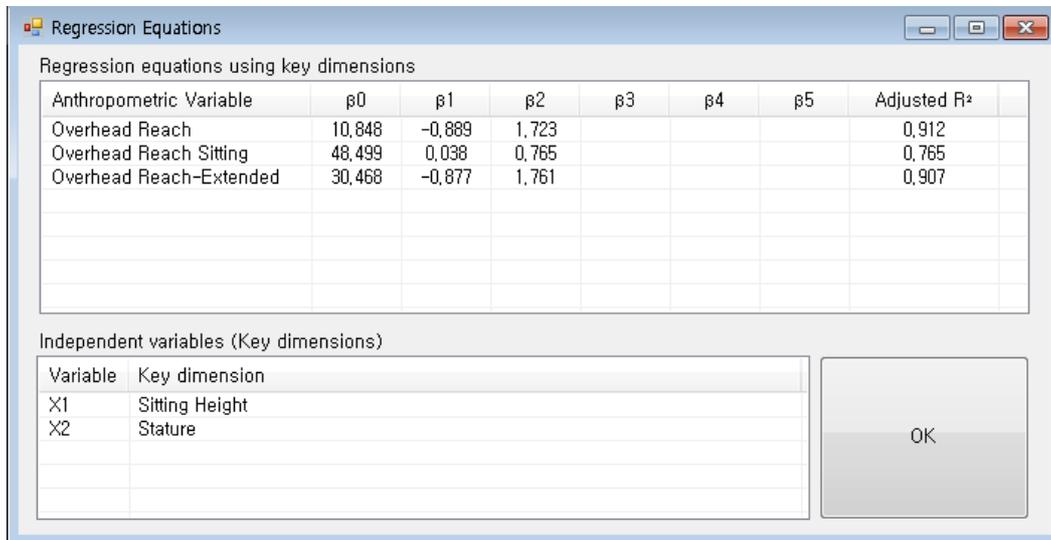
3.3. RHM analysis

본 시스템은 생성된 RHM에 대하여 인체크기, 수용비율 분석 결과, 그리고 RHM 생성 위치의 시각화 정보 등을 제공한다. 생성된 RHM의 인체크기(그림 3-15.a)는 중요변수 측면에서 생성된 RHM의 인체변수 크기를 바탕으로

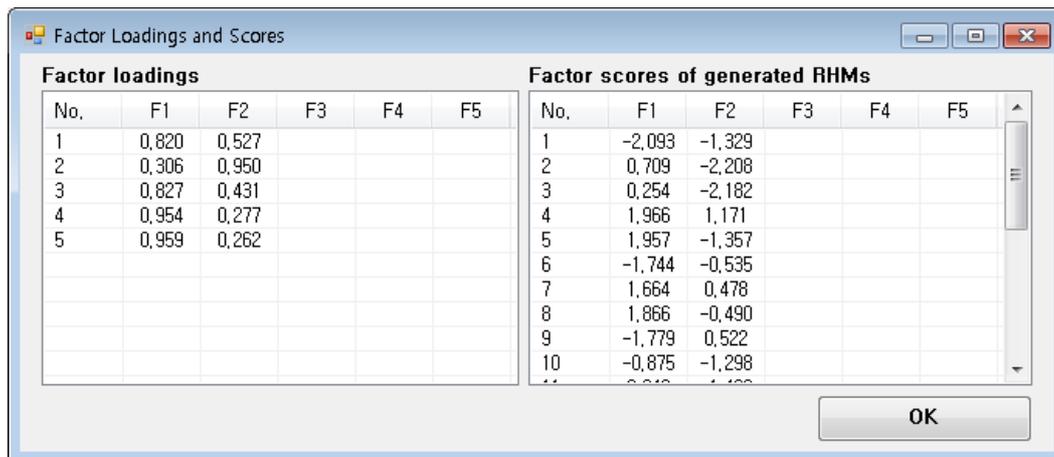
추정된다. 중요변수는 RA나 user-defined 방법을 사용했을 경우에는 선정된 인체변수들 중에서 선정되며, 이 때 나머지 인체변수의 크기는 중요변수와 나머지 각각의 인체변수와의 regression equation을 통해서 추정된다. 예를 들면, 그림 3-15.b에서 overhead reach의 인체크기는 2개의 중요변수(X1: sitting height, X2: height)를 독립변수로 하고, 3개의 regression coefficients ($\beta_0 = 10.848$, $\beta_1 = -0.889$, $\beta_2 = 1.723$)로 구성된 regression equation (adjusted $R^2 = 0.912$)을 통하여 추정된다. 한편, FA나 PCA 방법을 사용했을 경우에는 factor loading 또는 principal component loading에 의해 생성된 factors 또는 principal components가 중요변수로 결정된다. 예를 들면, 그림 3-15.c에서 선정된 인체크기는 factor scores of generated RHM (21×2 matrix; number of generated RHMs = 21, number of key dimensions = 2)에 factor loading (5×2 matrix)을 적용하여 추정된다(식 2-2 참조).

Generated RHMs						
Body Sizes of RHMs (Number of RHMs: 13, Number of target anthropometric variables: 5)						
No.	Sitting...	Stature	Overh...	Overh...	Overh...	
1	902,5	1780,5	2275,8	2374,2	1444,2	
2	802,5	1480,5	1847,9	1933,7	1211,0	
3	852,5	1730,5	2234,1	2330,0	1404,1	
4	852,5	1530,5	1889,6	1977,9	1251,2	
5	902,5	1630,5	2017,4	2110,1	1329,5	
6	802,5	1630,5	2106,3	2197,8	1325,7	
7	802,5	1530,5	1934,0	2021,7	1249,3	
8	902,5	1730,5	2189,7	2286,2	1406,0	
9	802,5	1580,5	2020,2	2109,8	1287,5	
10	902,5	1680,5	2103,5	2198,2	1367,8	
11	852,5	1680,5	2148,0	2242,0	1365,8	
12	852,5	1580,5	1975,7	2065,9	1289,4	
13	852,5	1630,5	2061,8	2154,0	1327,6	

(a) Body sizes of RHMs



(b) Regression equations using key dimensions



(c) Factor loadings and scores using target anthropometric variables

그림 3-15. Results of generated RHMs

본 시스템은 생성된 RHM에 대하여 중요변수와 선정된 인체변수 개수에 따른 평균 단일수용비율(univariate accommodation percentage, UAP) 및 다변량 수용비율(multivariate accommodation percentage, MAP) 분석 기능을 제공한다. 본 시스템에서는 사용자가 중요변수 측면의 목표수용비율을 설정(grid method와 optimization method)하게 되고 수용비율 분석 결과를 제공해 준다. 또한, 본 시스템은 인체변수 개수에 따른 다섯 가지(average, SD, minimum, maximum, 그리고 median) 통계 정보로 생성된 RHM이 각 인체개수 별로 설계대상인구를 수용하는 비율을 제공해 준다. 예를 들면, 그림 3-16은 중요변수 측면의 수용비율은 95.6%인 것을 나타내고, 평균 UAP (인체변수 개수 = 1)는 97.8%, 평균 MAP는 인체변수 개수가 증가함에 따라 각각 77.6%에서 39.4%로 감소하는 것

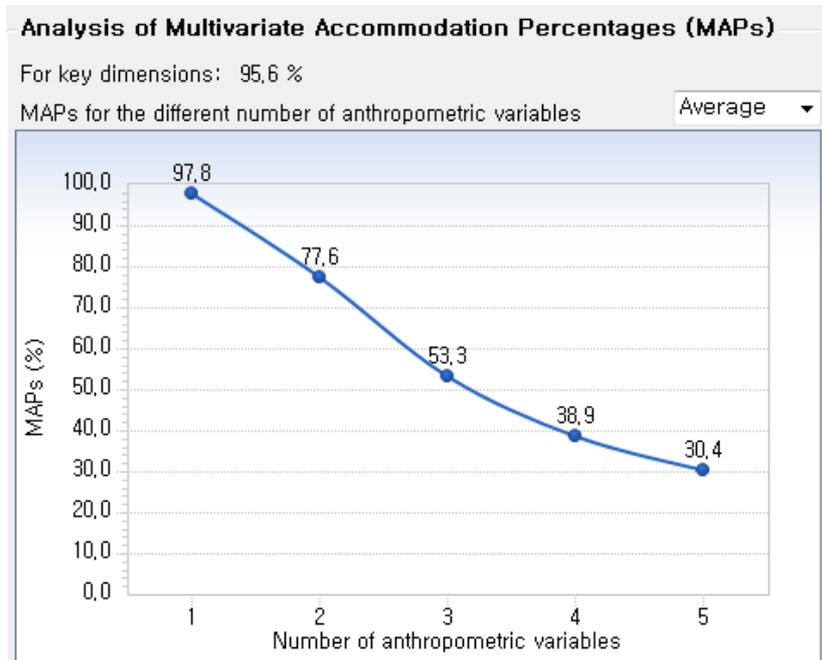
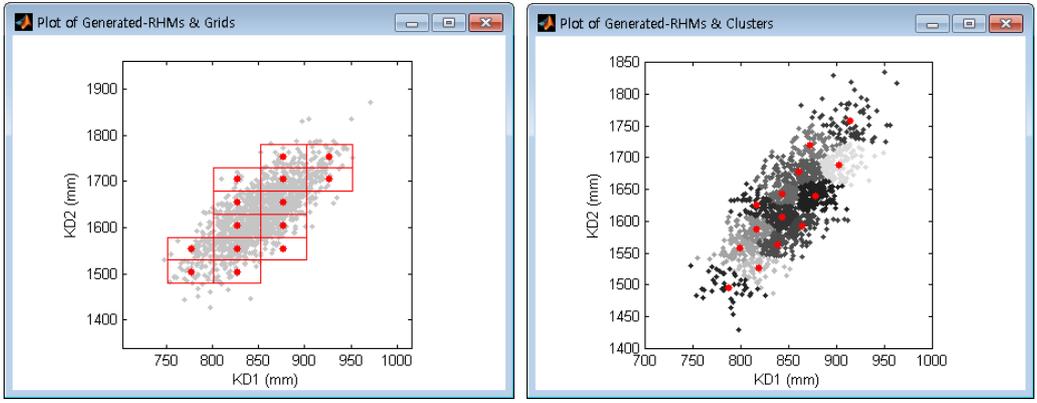


그림 3-16. Analysis of multivariate accommodation percentages of generated RHM

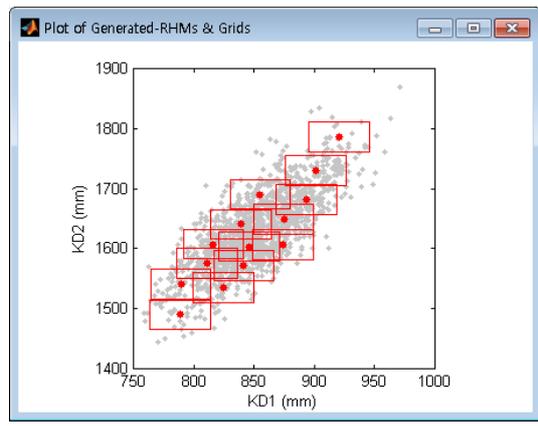
을 보여준다. 여기서 77.6%는 인체변수 5개중 2개로 선정되는 모든 조합(${}_5C_2 = 10$ 개)의 수용비율 평균 값을 의미한다. 그리고, 본 시스템은 50개의 인체변수 까지 MAP가 계산되도록 개발되었다.

본 시스템은 생성된 RHM에 대하여 중요변수 측면에서 생성된 격자와 RHM의 시각화 하였다. 사용자가 grid method나 optimization method (그림 3-17.a 와 c 참조)를 통하여 RHM을 생성할 경우는 생성된 RHM에서 지정된 설계허용공차 크기의 격자를 생성한다. 한편, clustering method (그림 3-17.b 참조)를 통하여 RHM을 생성할 경우는 생성된 군집 별로 다른 색상을 사용하여 사용자가 생성된 RHM을 용이하게 확인할 수 있도록 제공된다.



(a) Grid method

(b) Clustering method



(c) Optimization method

그림 3-17. Location of RHMs with envelopes (number of key dimensions = 2)

IV. Application to Sizing Charts for Flight Suit

본 장에서는 개발된 시스템을 사용하여 설계 가능한 비행복 치수체계들을 개발하고, 그 중 최적의 남성 비행복 치수체계를 제안한다. 본 시스템을 사용하여 설계 가능한 18가지 distributed RHM 생성 방법(중요변수 추출 방법 3개 × distributed RHM 생성 방법 3개 × 생성된 RHM의 인체크기 추정 방법 2개)을 적용하여 남성 비행복 설계를 위한 RHM을 생성하고, 생성된 RHM을 비교 분석하여 가장 성능이 좋고 효율적으로 생성된 RHM의 인체크기를 비행복 설계를 위한 치수체계로 제안한다.

4.1. Methods

본 연구에서는 비행복 치수체계 개발을 위한 인체측정자료로 US Army Pilot (Gordon et al., 1988) data에서 20 ~ 40대 남성 485명이 사용되었다. 또한, 비행복 치수체계 개발을 위한 유관 인체변수는 Jeon et al. (2009)의 연구를 참고하여 표 4-1과 같은 13개의 인체변수가 선정되었다.

본 연구는 개발된 시스템을 사용하여 비행복 설계를 위한 18가지 치수체계 생성 방법을 적용하였다. 그림 4-1은 지정된 설계대상인구 및 설계대상 인체변수에 대하여 3가지 중요변수 추출 방법(regression analysis, factor analysis, 그리고 principal component analysis), 3가지 distributed method 결정 방법(grid method, clustering method, 그리고 optimization method), 그리고 2가지 인체크기 결정 방법(estimated case 또는 real case)으로 설계 가능한 18가지 치수체계를

㉟ 4-1. Anthropometric dimensions selected for design of flight suit

Major class	Sub class	Measurement type	Anthropometric variables (AV)	Code	Descriptive statistics (unit: mm)					
					Female			Male		
					Mean	SD	Range	Mean	SD	Range
Trunk	Chest	Width	Biacromial breadth	AV1	369.3	15.0	87.0	400.6	17.5	105.0
Leg/Foot	Upper Leg/Hip	Circumference	Buttock circumference	AV2	989.0	61.8	316.0	991.5	55.0	351.0
Head/Neck	Neck	Height	Cervicale height	AV3	1453.3	42.0	288.0	1531.8	60.0	341.0
Trunk	Chest	Circumference	Chest circumference	AV4	924.8	68.5	424.0	1009.2	59.6	344.0
Trunk	Chest	Circumference	Chest circumference – at syce	AV5	900.7	56.7	366.0	1035.8	55.3	309.0
Trunk	Combined	Length	Crotch length	AV6	775.0	56.6	312.0	772.0	47.3	339.0
Trunk	Back	Length	Interscye distance	AV7	357.8	27.2	168.0	408.7	28.2	164.0
Arm/Hand	Combined	Length	Sleeve outseam	AV8	560.9	19.4	126.0	601.4	29.9	154.0
Overall	-	Height	Stature	AV9	1680.2	45.3	308.0	1771.0	64.8	362.0
Trunk	Back	Length	Waist back length	AV10	382.1	23.0	158.0	421.6	21.2	130.0
Trunk	Abdomen	Circumference	Waist circumference	AV11	741.5	71.2	414.0	856.4	65.7	375.0
Trunk	Abdomen	Height	Waist height	AV12	1087.5	38.3	245.0	1131.4	48.1	274.0
Leg/Foot	Upper Leg/Hip	Length	Waist hip length	AV13	160.5	20.2	111.0	184.0	19.6	118.0

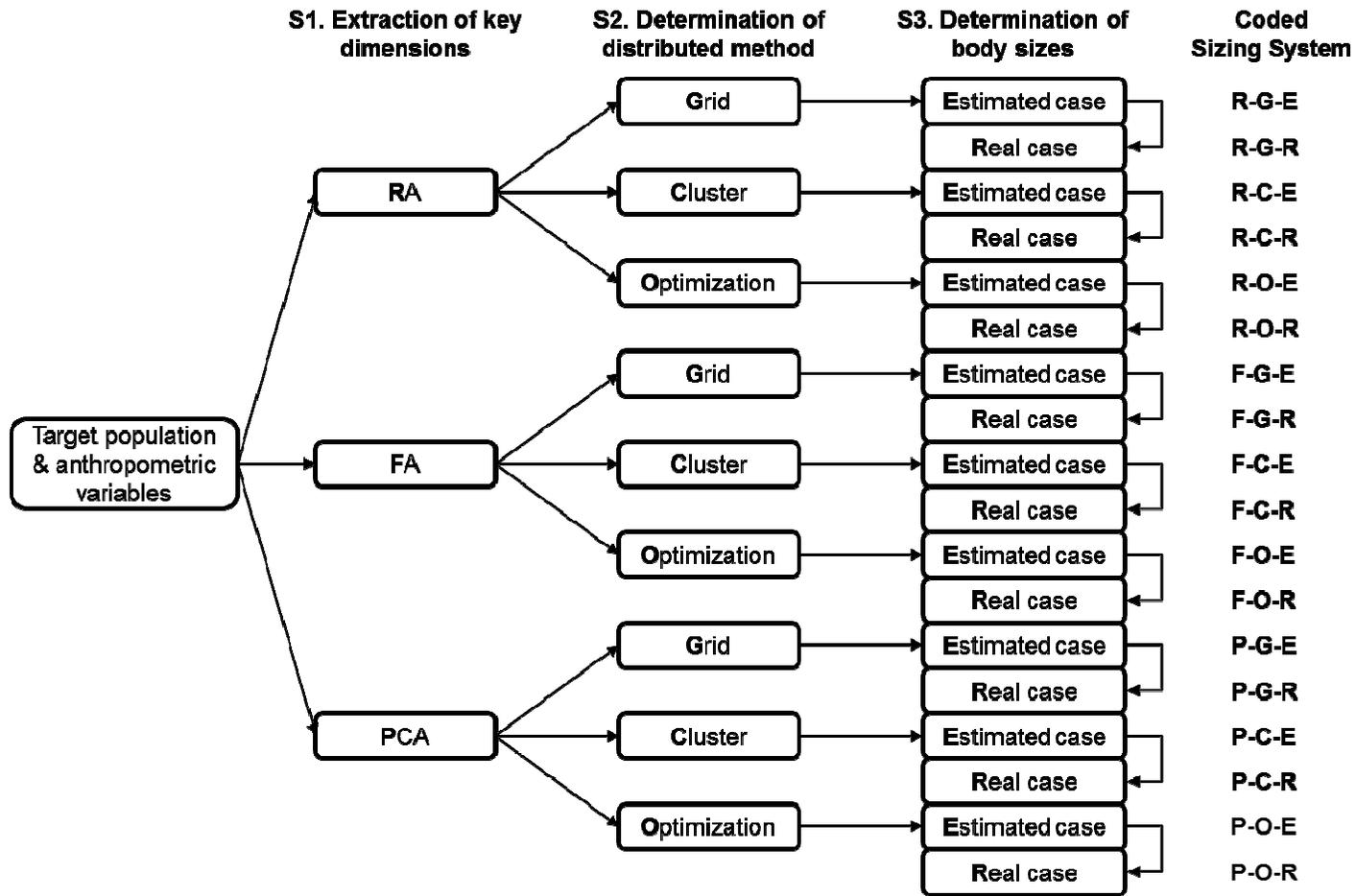


그림 4-1. 18 sizing systems for same target population & anthropometric variables

나타낸다. 예를 들면, R-G-E는 중요변수 추출 방법으로 regression analysis를, 격자 형성 방법으로 grid method를, 그리고 인체크기 추정 방법으로 estimated case를 사용한 치수체계를 나타낸다. 그리고, R-G는 인체크기 추정 방법으로 estimated case와 real case를 사용한 치수체계(R-G-E와 R-G-R) 모두를 나타낸다.

첫 번째 단계로써, 중요변수는 3가지 방법(RA, FA, 그리고 PCA) 모두 기존 연구에서 제시한 선정 기준에 근간하여 추출되었다. 먼저, RA의 중요변수 개수는 중요변수 개수 증가에 따른 중요변수와 나머지 변수간의 평균수정회귀결정계수(average adjusted R^2)의 증가 추세가 가장 감소하는 개수로 결정되었다(Jung, 2009). 본 연구에서는 그림 4-2와 같이 중요변수 개수는 2개에서 3개로 증가 시 평균수정회귀결정계수의 증가량이 0.051로써 가장 감소하게 되는 2개로 결정되었다. 따라서, 중요변수는 2개이고 나머지 변수와 평균수정회귀계수(average adjusted $R^2 = 0.577$; minimum adjusted $R^2 = 0.140$, maximum adjusted $R^2 = 0.971$)가 가장 높은 cervicale height와 chest circumference가 선정될 수 있다. 그러나, 현재 사용되고 있는 비행복 치수체계의 중요변수인 stature와 chest circumference의 평균수정회귀계수(average adjusted $R^2 = 0.574$; minimum adjusted $R^2 = 0.158$, maximum adjusted $R^2 = 0.972$)와의 차이가 0.003인 것으로 나타나 본 연구에서는 사용용이성과 평균수정회귀계수 두 가지가 고려된 stature와 chest circumference를 중요변수로 선정하였다(R-G, R-C, R-O). 그리고, FA와 PCA의 중요변수 개수는 요인개수 선택기준(eigenvalue > 1 또는 percent variance explained > 80%)을 만족하는 개수로 결정되었다(Lattin, 2003). 분석 결과, 그림 4-3과 같이 요인개수가 3개까지 eigenvalue가 1보다 큰 것을 알 수 있으나, percent

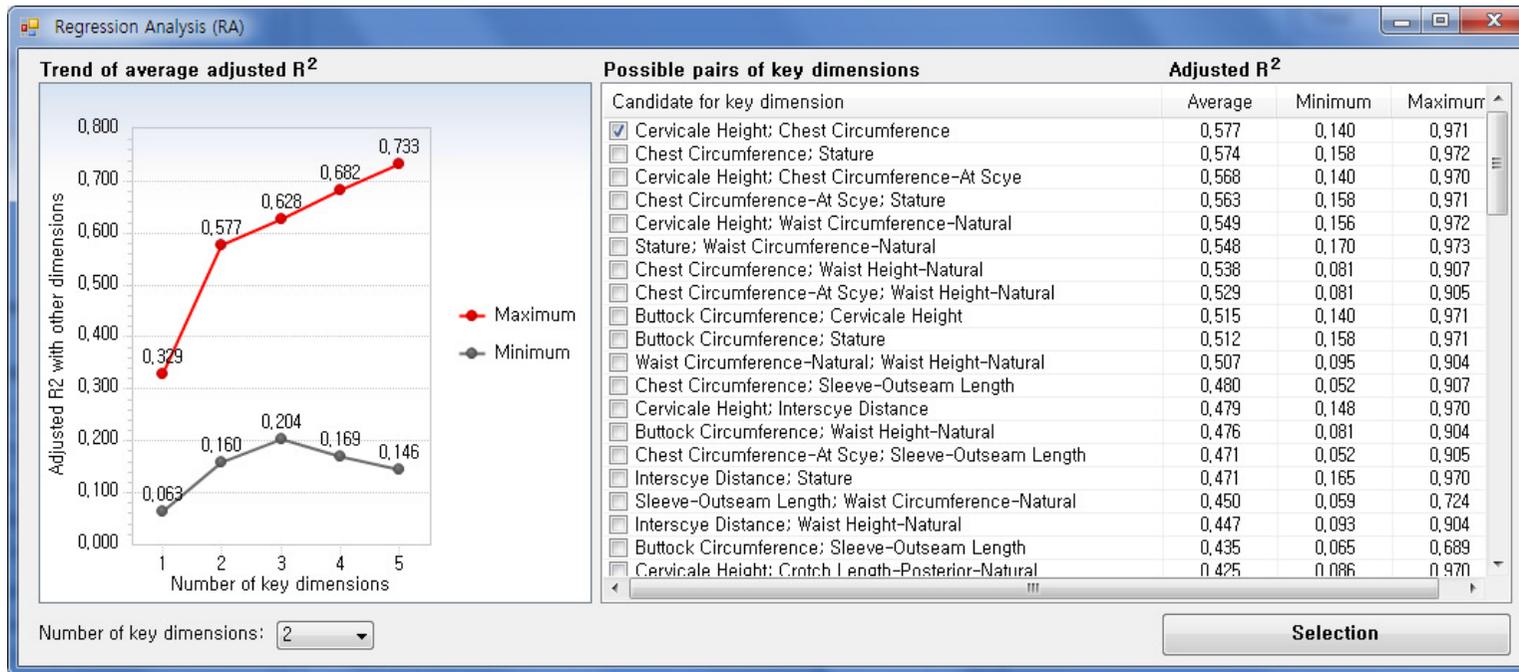


그림 4-2. Trend of average adjusted R^2 of RA

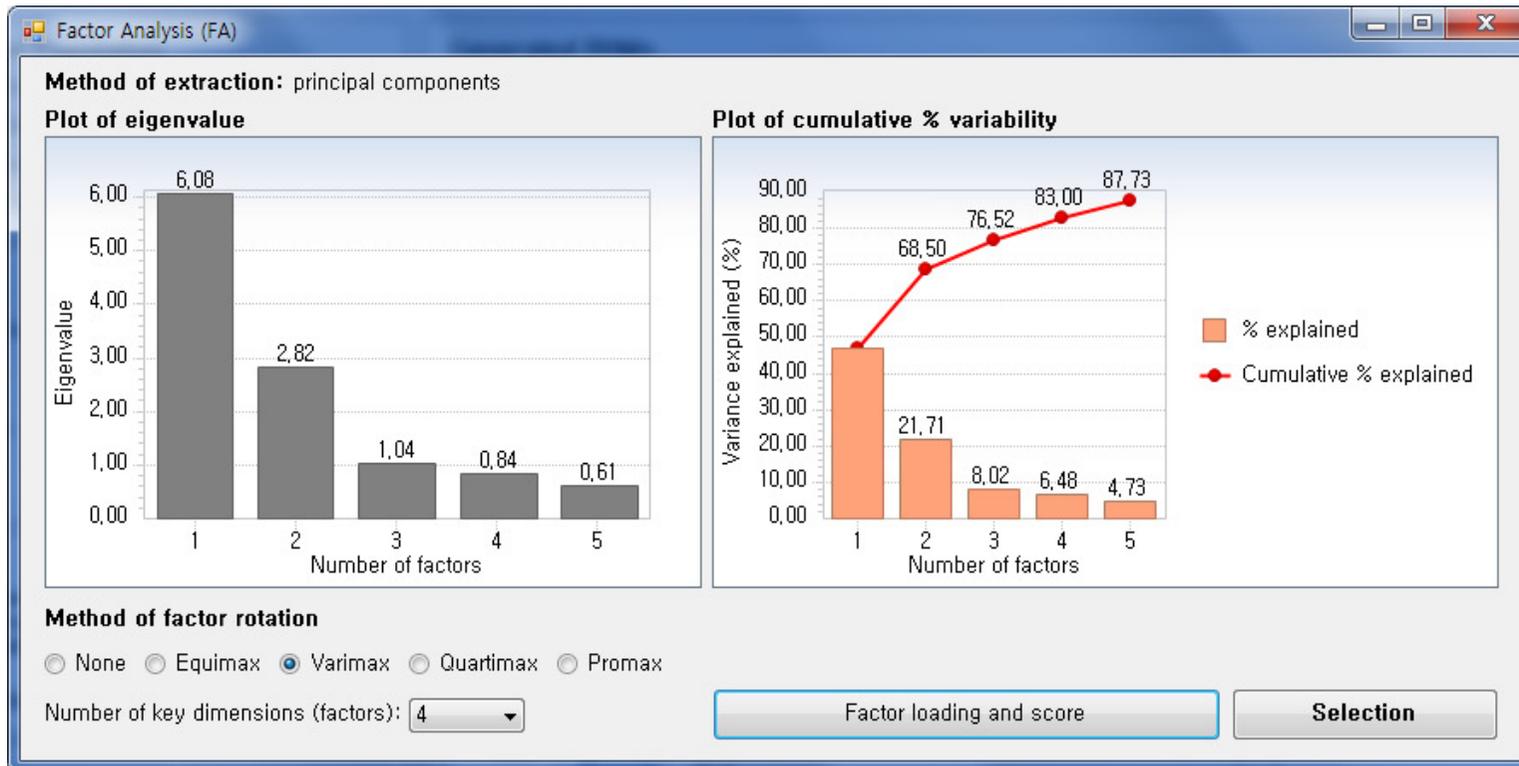


그림 4-3. Eigenvalue and cumulative percent variability of FA

variance explained가 76.52%로 요인개수 선정기준인 80%보다 낮은 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구는 FA의 중요변수로 percent variance explained가 83.00%가 되는 4개의 요인을 선정하고 요인회전방법(method of factor rotation)으로 Bittner (2000)가 권장한 Varimax 방법을 사용하여 13개의 인체변수를 대표할 수 있는 4개의 새로운 변수(factor loading: 표 4-2 참조)를 생성하여 사용하였다(F-G, F-C, F-O). 또한, 본 시스템은 FA의 요인추출방법(method of factor extraction)으로 principal components 방법을 사용하기 때문에 PCA의 eigenvalue 및 percent variance explained는 같은 값을 가지게 된다. 따라서, 본 연구에서는 PCA의 중요 변수로 PCA를 사용하여 생성된 새로운 4개의 변수(principal component loading:

표 4-2. Factor loadings of F-G, F-C, and F-O (method of factor rotation: Varimax)

No.	Anthropometric variable	F1	F2	F3	F4
1	Biacromial breadth	0.280	0.067	0.368	-0.149
2	Buttock circumference	0.967	0.150	0.092	0.173
3	Cervicale height	0.050	0.750	-0.028	0.596
4	Chest circumference	0.339	0.071	0.841	0.174
5	Chest circumference – at syce	0.894	0.106	0.396	0.095
6	Crotch length	0.791	0.130	0.167	0.061
7	Interscye distance	0.073	0.707	0.128	-0.021
8	Sleeve outseam	0.337	0.366	0.015	0.449
9	Stature	0.162	0.980	0.073	0.047
10	Waist back length	0.115	0.938	0.037	0.232
11	Waist circumference	0.900	0.120	0.382	0.157
12	Waist height	0.257	0.639	0.114	0.443
13	Waist hip length	0.403	0.333	0.315	-0.077

표 4-3. Principal component loadings of P-G, P-C, and P-O

No.	Anthropometric variable	PC1	PC2	PC3	PC4
1	Biacromial breadth	-0.150	-0.182	0.580	-0.596
2	Buttock circumference	-0.326	-0.267	-0.257	0.072
3	Cervicale height	-0.259	0.380	-0.193	-0.016
4	Chest circumference	-0.233	-0.232	0.264	-0.030
5	Chest circumference – at syce	-0.328	-0.325	-0.075	0.029
6	Crotch length	-0.281	-0.280	-0.179	0.299
7	Interscye distance	-0.227	0.287	0.406	0.213
8	Sleeve outseam	-0.259	0.126	-0.325	-0.557
9	Stature	-0.297	0.343	0.128	0.171
10	Waist back length	-0.288	0.374	0.024	0.134
11	Waist circumference	-0.336	-0.312	-0.107	0.036
12	Waist height	-0.310	0.234	-0.156	-0.280
13	Waist hip length	-0.255	-0.078	0.361	0.256

표 4-3 참조)를 생성하여 사용하였다(P-G, P-C, P-O).

두 번째 단계로써, 본 연구는 18가지 치수체계들의 성능 비교를 위하여 중요변수 측면에서 95%의 목표수용비율을 만족하도록 distributed method를 적용하였다. 먼저, grid method를 적용하는 R-G는 95%의 목표수용비율과, 의복 설계 업체들이 주로 사용하는 50 mm의 설계허용공차(Jung et al., 2010)를 적용하여 격자가 형성되었다. 그리고, grid method를 적용하는 F-G와 P-G는 각각 R-G와 같은 RHM 수가 생성되는 2.35와 3.32의 설계허용공차가 적용되어 격자가 형성되었다. 본 시스템의 clustering method와 optimization method는 임의(random)의 초기해(initial solution)로부터 RHM을 생성하기 때문에 동일한 조건에서

RHM을 생성해도 생성시마다 다른 RHM을 생성시킨다. 따라서, clustering method를 적용하는 R-C, F-C, 그리고 P-C와 optimization method를 적용하는 R-O, F-O, 그리고 P-O는 생성할 RHM 수(또는 군집 수)를 감소시키며 10회씩의 simulation을 통하여 목표수용비율 95%가 만족되고 최소의 RHM 수가 생성되는 군집 및 격자를 각각 선정하였다.

마지막 단계로써, RHM의 인체크기는 두 가지 방법(estimated case와 real case)을 사용하여 결정되었다. 먼저, estimated case를 사용하는 치수체계는 목표 수용비율이 95%를 만족하도록 생성된 격자 및 군집으로부터 형상학적 중심에 위치하도록 RHM을 생성하였다. 그리고, real case를 사용하는 치수체계는 estimated RHM에서 Euclidan 거리가 가장 가까운 실제 인체크기로 선정되었다. 따라서, real case를 사용하는 치수체계의 수용비율은 estimated case를 사용하는 치수체계의 인구분포의 특성(인구 수, 격자내 밀도 등)에 영향을 받아 결정되었다. 예를 들어, 그림 4-4는 R-G-E와 R-G-R로 생성된 격자와 RHM의 위치를 보여주며, 각각 중요변수 측면의 수용비율은 95.3%와 83.3%로 생성된 것을 나타낸다.

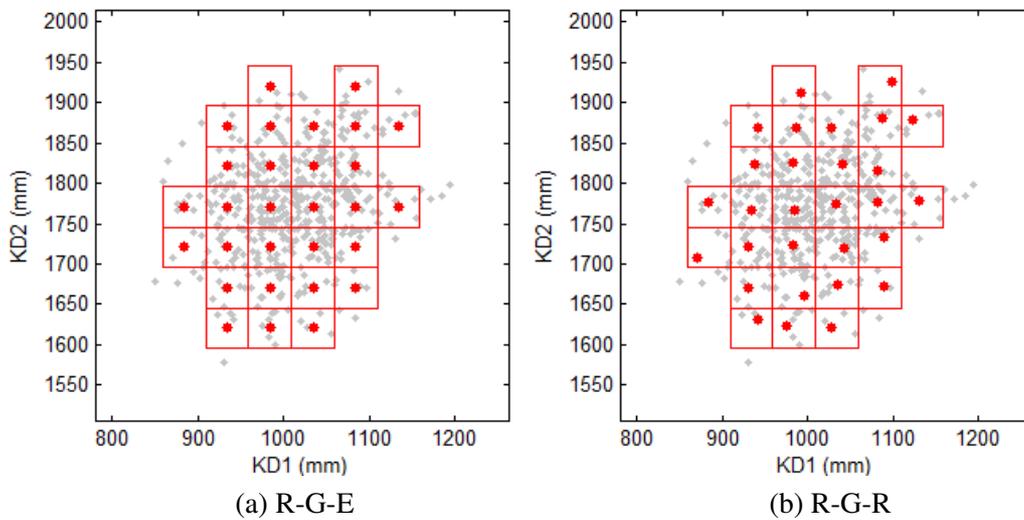


그림 4-4. Generated grids and RHM of R-G (KD1: chest circumference, KD2: stature)

4.2. Comparison of sizing systems

본 연구에서는 생성된 18가지 치수체계의 성능을 비교하기 위하여 표 4-4, 4-5와 같은 특성을 분석하였다. 먼저, estimated case와 real case를 사용한 RHM은 동일한 격자(또는 군집)내에서 생성되기 때문에 같은 수가 생성이 되는 것으로 나타났다. 예를 들면, R-G-E와 R-G-R은 모두 29개의 RHM이 생성되었다(표 4-4 참조). 본 연구에서는 비행복 설계를 위한 13개의 설계대상 인체 변수를 선정하고, RA를 통하여 2개의 실제 중요변수(real key dimensions)인 stature와 chest circumference를 선정하였다. 사용자가 설계된 치수체계를 사용하여 본인에게 적합한 비행복을 선택하기 위해서는 13개의 유관 인체변수의 치수를 모두 측정하지 않는 것으로 파악되었다. 실제로, 한국 비행복은 키

표 4-4. Characteristics of generated 18 sizing systems

No.	Sizing system	Accommodation rate for key dimensions (%)	Number of generated RHMs	Real key dimensions (2)	Real non-key dimensions (11)	
				Accommodation rate (%)	Cover ratio of ranges of dimensions (%)	Number of outliers
1	R-G-E	95.3	29	95.3	62.2	0
2	R-G-R	87.4		83.3	63.0	0
3	R-C-E	95.3	34	95.3	65.9	0
4	R-C-R	90.9		92.4	65.0	0
5	R-O-E	95.1	35	95.1	61.9	0
6	R-O-R	92.8		91.8	62.8	0
7	F-G-E	95.1	26	50.3	54.8	1
8	F-G-R	86.8		38.2	42.7	0
9	F-C-E	95.3	24	35.5	42.1	1
10	F-C-R	92.8		33.5	42.4	1
11	F-O-E	95.3	26	37.2	43.5	1
12	F-O-R	92.8		34.3	40.5	1
13	P-G-E	95.3	26	50.7	84.0	4
14	P-G-R	92.4		70.6	70.0	0
15	P-C-E	95.1	20	78.9	57.1	0
16	P-C-R	93.4		79.3	58.3	0
17	P-O-E	95.9	23	74.1	58.9	0
18	P-O-R	92.6		75.4	57.0	0

* Shade section: controlled sizing systems for accommodation rate of 95%

⌘ 4-5. Average MAPs for the different number of anthropometric variables of generated 18 sizing systems

No.	Sizing system	Number of anthropometric variables												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	R-G-E	98.7	90.7	76.8	61.7	48.3	37.5	29.2	23.0	18.4	15.1	12.6	10.7	9.3
2	R-G-R	98.9	91.3	77.6	62.3	48.5	37.2	28.6	22.1	17.4	13.9	11.4	9.5	8.0
3	R-C-E	99.1	92.4	80.4	66.7	53.8	42.8	33.9	26.9	21.4	17.3	14.0	11.5	9.5
4	R-C-R	98.9	92.1	80.2	66.7	54.0	43.1	34.2	27.2	21.7	17.5	14.2	11.6	9.5
5	R-O-E	98.8	92.3	80.3	66.6	53.7	42.8	34.0	27.0	21.6	17.3	14.0	11.4	9.3
6	R-O-R	98.7	91.9	80.0	66.5	53.8	43.1	34.3	27.3	21.8	17.5	14.0	11.3	9.1
7	F-G-E	92.5	75.0	54.8	37.9	25.6	17.3	11.9	8.3	6.0	4.4	3.3	2.5	1.9
8	F-G-R	87.9	69.4	51.9	37.9	27.5	19.9	14.5	10.6	7.9	5.9	4.4	3.3	2.5
9	F-C-E	87.9	70.0	53.3	39.9	29.9	22.7	17.5	13.8	11.0	9.0	7.4	6.2	5.2
10	F-C-R	88.5	69.7	52.2	38.5	28.5	21.3	16.1	12.4	9.6	7.5	6.0	4.8	3.9
11	F-O-E	86.9	68.9	52.2	38.8	28.8	21.5	16.1	12.2	9.4	7.2	5.5	4.2	3.1
12	F-O-R	87.0	68.2	51.3	38.1	28.2	21.0	15.8	12.1	9.4	7.5	6.1	5.1	4.3
13	P-G-E	99.5	89.6	64.7	39.8	23.1	13.5	8.1	5.1	3.3	2.3	1.6	1.3	1.0
14	P-G-R	99.2	91.8	75.6	56.7	40.5	28.7	20.7	15.3	11.6	9.1	7.2	5.8	4.7
15	P-C-E	98.5	91.6	79.0	64.1	50.1	38.6	29.8	23.2	18.3	14.6	11.7	9.4	7.6
16	P-C-R	98.5	90.7	77.3	61.9	47.9	36.5	27.9	21.6	16.9	13.3	10.6	8.4	6.6
17	P-O-E	98.2	91.2	78.5	63.3	49.1	37.4	28.4	21.7	16.8	13.1	10.3	8.2	6.6
18	P-O-R	97.9	90.0	76.7	61.5	47.5	36.1	27.4	20.9	16.0	12.4	9.6	7.4	5.6

(stature)와 가슴둘레(chest circumference)를 사용한 18개의 치수체계를 사용하고 있는 것으로 나타났다(Jeon et al., 2009). 따라서, 본 연구에서는 실용성과 효율성 측면을 고려하기 위하여 실제 중요변수측면의 인구수용비율을 분석하였다. 예를 들면, F-G-E는 FA로 생성된 중요변수 측면에서는 95.1%의 인구를 수용하지만, 실제 중요변수 측면에서는 50.9%의 인구만을 수용하는 것으로 나타났다(표 4-4 참조). 그리고, 본 연구에서는 실제 중요변수를 사용하여 선정한 치수체계를 사용할 경우의 나머지 인체변수(non-key dimensions)의 2가지 성능이 분석되었다. 첫 번째는 나머지 인체변수들의 치수범위의 합 대비 생성된 치수범위의가 cover하는 비율을 나타내는 coverage rate (%)이고, 두 번째는 생성된 나머지 인체변수들의 치수범위가 설계대상인구의 치수범위를 벗어나게 생성된 RHM의 수이다. 예를 들어, F-G-E는 56.2%의 coverage rate (sum of ranges of original dimensions = 2474.0, sum of ranges of generated dimensions = 1389.6; 표 4-6 참조)와 2개의 outlier RHM (RHM 22과 RHM 23; 표 4-7 참조)을 가지는 것으로 분석되었다. 마지막으로, 본 연구에서는 인체변수 개수에 따른 평균 MAPs가 분석되었다. 예를 들어, 인체변수 개수가 2개일 때의 R-G-E의 평균 MAP는 90.7%로써 13개 중 2개의 인체변수의 모든 조합(${}_{13}C_2 = 78$ 개)으로 이루어지는 수용비율의 평균을 의미한다(표 4-5 참조).

표 4-6. An example for covered ranges of non-key dimensions of F-G-E (unit: mm)

No.	Anthropometric variable	Original dimensions			Generated dimensions		Covered Range
		Min	Max	Range	Min	Max	
1	Biacromial breadth	347.0	452.0	105.0	379.1	422.2	43.1
2	Buttock circumference	849.0	1200.0	351.0	905.0	1074.1	169.1
3	Chest circumference	850.0	1194.0	344.0	1477.6	1564.8	87.2
4	Chest circumference – at syce	894.0	1203.0	309.0	915.4	1127.9	212.5
5	Crotch length	314.0	467.0	153.0	346.9	425.2	78.3
6	Interscye distance	388.0	502.0	164.0	363.9	450.4	86.5
7	Sleeve outseam	530.0	684.0	154.0	566.9	639.0	72.1
8	Waist back length	363.0	493.0	130.0	357.7	485.4	122.4
9	Waist circumference	689.0	1064.0	375.0	695.1	998.7	303.6
10	Waist height	993.0	1267.0	274.0	1040.0	1206.6	166.6
11	Waist hip length	122.0	240.0	118.0	162.3	210.5	48.2
Total		-	-	2474.0	-	-	1389.6

표 4-7. An example for outlier RHM of F-G-E (unit: mm)

No.	Anthropometric variable	Original dimensions		Generated RHM's dimensions		Outlier dimension	
		Min	Max	RHM 22	RHM 23	RHM 22	RHM 23
1	Biacromial breadth	347.0	452.0	419.6	415.0	×	×
2	Buttock circumference	849.0	1200.0	905.0	908.7	×	×
3	Chest circumference	850.0	1194.0	1542.5	1509.2	×	×
4	Chest circumference – at syce	894.0	1203.0	1122.5	1123.2	×	×
5	Crotch length	314.0	467.0	347.6	346.9	×	×
6	Interscye distance	388.0	502.0	440.9	441.6	×	×
7	Sleeve outseam	530.0	684.0	639.0	623.1	×	×
8	Waist back length	363.0	493.0	359.9	357.7	O	O
9	Waist circumference	689.0	1064.0	695.1	713.6	×	×
10	Waist height	993.0	1267.0	1190.4	1160.7	×	×
11	Waist hip length	122.0	240.0	195.9	191.5	×	×
Total		-	-	-	-	1	1

본 연구에서의 남성 비행복을 위한 최적의 치수체계는 R-G-E가 선정되었다. 제품의 치수체계는 치수의 개수가 적고, 실제 중요변수의 인구수용비

율이 높을 수록 실용적이고 효율적이다. 생성된 RHM 수(치수체계 수)는 P-C가 22개, F-C와 P-O가 25개로 가장 적었으나, 실제 중요변수의 수용비율은 33.5% ~ 78.9%로 나타나 실제 인구를 최대 66.5% (485명 중 323명)까지 수용하지 못하는 것으로 분석되었다. 표 4-4에 나타난 것과 같이, 실제 중요변수의 수용비율이 가장 높은 치수체계는 공통적으로 RA를 사용하여 실제 중요변수를 추출한 치수체계들(R-G-E, R-C-E, 그리고 R-O-E)인 것으로 나타났다. 이는 FA나 PCA를 사용할 경우, 추출된 중요변수가 특정 인체변수만이 아닌 13개 인체변수 모두에 의해 설명되는 변동을 반영하기 때문이다. 따라서, R-G-E, R-C-E, 그리고 R-O-E가 최적의 치수체계 후보가 될 수 있는데, 이들 모두 나머지 인체변수들의 치수범위가 설계대상인구의 치수범위 미만이거나 초과하지 않는 것으로 나타났으며, coverage rate 및 인체개수 별 평균 MAPs의 차이가 모두 최대 약 5% 미만(표 4-4와 4-5 참조)인 것으로 나타나 본 연구에서는 이들 중 치수체계의 수가 가장 적게 생성된 R-G-E가 최적의 치수체계로 선정하였다. 표 4-8은 선정된 R-G-E의 13개 인체변수에 대한 29개 치수크기를 나타내며, 그림 4-5는 chest circumference와 stature로 나머지 11개 인체변수 추정 시 사용된 regression equations을 나타낸다. 예를 들면, 그림 4-5에서 biacromial breadth의 인체크기는 2개의 중요변수(X1: chest circumference, X2: stature)를 독립 변수로 하고, 3개의 regression coefficients ($\beta_0 = 108.431$, $\beta_1 = 0.065$, $\beta_2 = 0.128$)로 구성된 regression equation ($\text{adjusted } R^2 = 0.320$)을 통하여 추정되었다.

4-8. Optimal sizing system for men's flight suit (unit: mm)

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	399.0	976.0	1530.7	984.2	1014.1	381.9	400.8	600.6	1770.9	421.2	832.6	1129.7	184.2
2	402.3	1006.8	1532.6	1034.2	1057.6	390.1	416.4	602.0	1770.9	421.8	879.7	1133.0	183.6
3	392.6	965.7	1485.5	984.2	1011.4	376.0	400.0	582.7	1720.9	410.8	834.2	1095.8	178.1
4	408.6	1017.1	1577.8	1034.2	1060.3	396.0	417.2	619.9	1820.9	432.3	878.1	1166.9	189.7
5	395.9	996.4	1487.4	1034.2	1054.9	384.2	415.6	584.1	1720.9	411.4	881.2	1099.1	177.5
6	405.4	986.4	1575.9	984.2	1016.8	387.9	401.6	618.5	1820.9	431.6	831.1	1163.6	190.3
7	389.3	935.0	1483.5	934.2	967.8	367.8	384.5	581.3	1720.9	410.2	787.2	1092.5	178.6
8	395.7	945.3	1528.7	934.2	970.5	373.8	385.2	599.2	1770.9	420.6	785.6	1126.4	184.8
9	405.5	1037.5	1534.5	1084.2	1101.1	398.3	432.0	603.4	1770.9	422.5	926.7	1136.3	183.0
10	402.1	955.7	1574.0	934.2	973.2	379.7	386.0	617.1	1820.9	431.0	784.1	1160.3	190.9
11	386.2	955.4	1440.2	984.2	1008.7	370.1	399.2	564.8	1670.9	400.4	835.7	1061.9	171.9
12	411.9	1047.9	1579.8	1084.2	1103.8	404.2	432.7	621.4	1820.9	432.9	925.1	1170.2	189.1
13	415.0	1027.5	1623.0	1034.2	1063.0	402.0	418.0	637.9	1870.9	442.7	876.6	1200.7	195.9
14	411.8	996.7	1621.1	984.2	1019.4	393.8	402.4	636.5	1870.9	442.0	829.6	1197.4	196.5
15	399.1	1027.2	1489.3	1084.2	1098.4	392.4	431.2	585.5	1720.9	412.1	928.2	1102.4	176.9
16	418.3	1058.2	1625.0	1084.2	1106.5	410.1	433.5	639.3	1870.9	443.3	923.6	1204.1	195.3
17	408.8	1068.2	1536.5	1134.2	1144.7	406.5	447.5	604.9	1770.9	423.1	973.7	1139.6	182.4
18	382.9	924.6	1438.3	934.2	965.2	361.9	383.7	563.4	1670.9	399.7	788.7	1058.6	172.5
19	389.5	986.1	1442.2	1034.2	1052.2	378.3	414.8	566.2	1670.9	401.0	882.8	1065.2	171.3
20	379.8	945.0	1395.0	984.2	1006.0	364.2	398.4	546.9	1620.9	390.0	837.3	1028.0	165.8
21	392.5	914.6	1526.8	884.2	927.0	365.6	369.7	597.8	1770.9	419.9	738.6	1123.1	185.4
22	424.7	1068.5	1670.2	1084.2	1109.2	416.1	434.3	657.2	1920.9	453.7	922.0	1237.9	201.4
23	421.6	1088.9	1626.9	1134.2	1150.0	418.3	449.1	640.7	1870.9	443.9	970.6	1207.4	194.7
24	386.1	904.2	1481.6	884.2	924.3	359.7	368.9	579.9	1720.9	409.5	740.2	1089.2	179.2
25	408.5	966.0	1619.2	934.2	975.9	385.6	386.8	635.0	1870.9	441.4	782.5	1194.1	197.1
26	376.6	914.3	1393.1	934.2	962.5	356.0	382.9	545.4	1620.9	389.3	790.3	1024.7	166.4
27	418.2	1007.1	1666.3	984.2	1022.1	399.7	403.2	654.4	1920.9	452.5	828.0	1231.3	202.6
28	383.1	975.8	1397.0	1034.2	1049.5	372.3	414.0	548.3	1620.9	390.6	884.3	1031.3	165.2
29	392.7	1016.8	1444.1	1084.2	1095.8	386.4	430.4	567.6	1670.9	401.6	929.8	1068.5	170.7

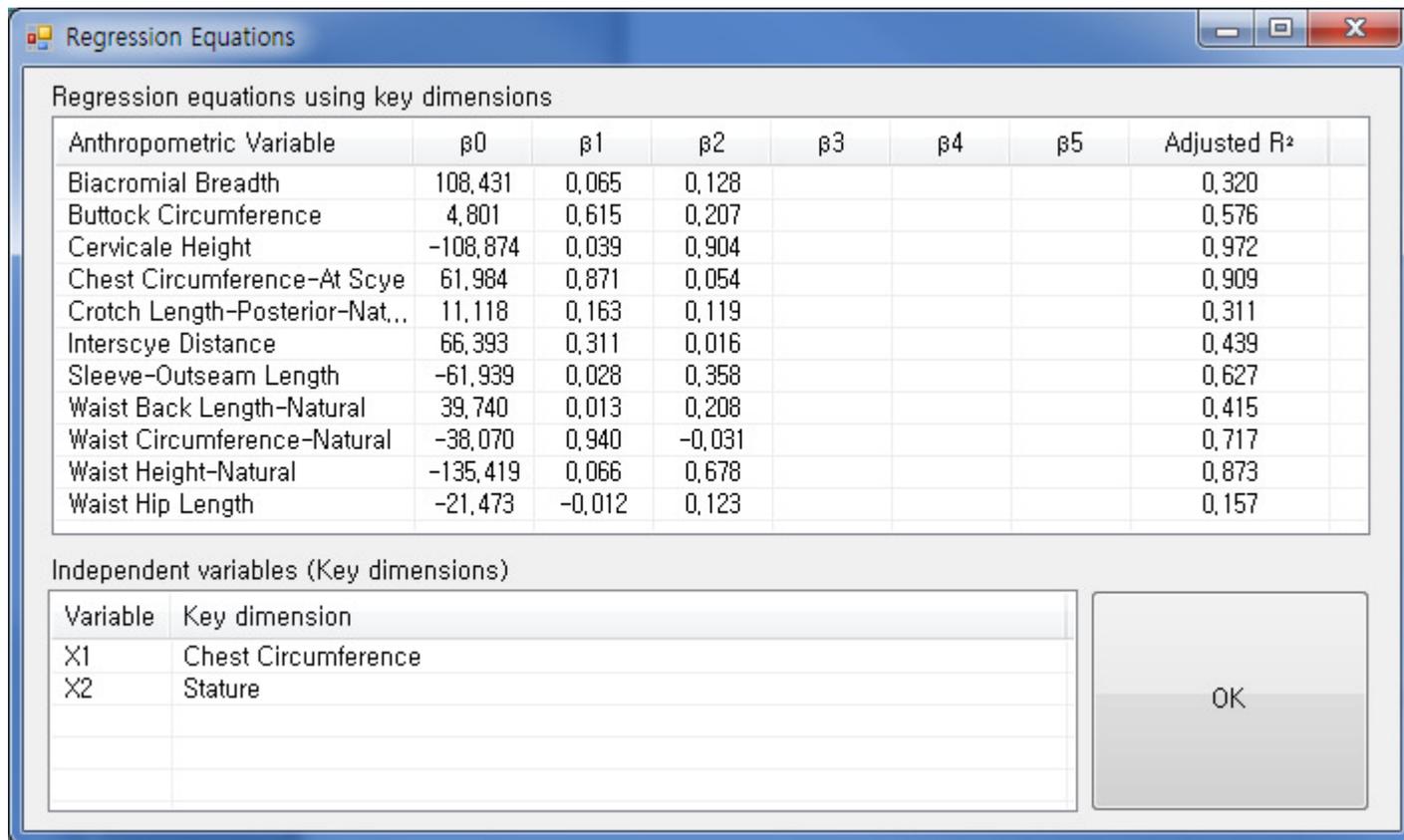


그림 4-5. Regression equations using key dimensions for optimal sizing system

V. Discussion

5.1. Distributed RHM generation and analysis system

본 연구에서는 RHM 생성에 특화된 시스템 개발을 위해 대표적인 DHM simulation system의 RHM 생성 인터페이스를 조사하였다. 조사 결과, 기존 DHM simulation system은 다양한 설계대상인구(target population) 및 설계대상 인체변수(target anthropometric variable)를 선택할 수 있는 RHM 생성 인터페이스를 제공하지 않는 것으로 나타났다. 예를 들면, 조사된 3개의 DHM simulation system (Jack, RAMSIS, 그리고 CATIA Human)은 사용자가 생성될 RHM의 성별 선택 시 남성 또는 여성만을 선택할 수 있는 인터페이스만을 제공하고 있다. 이는 혼성(composite)으로 구성된 집단을 위한 다중치수제품(예: 의복, 장갑 등) 설계 시 혼성 RHM을 생성할 수 없다는 것을 의미한다. 본 연구에서 개발된 시스템은 위와 같은 한계점을 보완하기 위하여 혼성 및 다양한 연령집단(US Army data 기준 최대 4개)에 대해 각각의 비율을 설정할 수 있는 설계대상인구 선정 인터페이스를, 다양한 인체변수(US Army data와 US Army Pilot data 기준 최대 132개)를 선정할 수 있는 설계대상 인체변수 선정 인터페이스를 제공하였다. 따라서, 본 시스템에 다양한 인체측정 data (예: SizeKorea 인체측정 data 등)가 구축된다면 다양한 국가의 다양한 설계대상인구를 위한 효율적인 RHM 생성이 가능하여 인간공학적 제품 개발 시 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 distributed RHM 생성 방법(grid method, clustering method,

그리고 optimization method) 및 생성 절차(중요변수 추출, distributed RHM 생성 방법 결정, 그리고 생성된 RHM의 인체크기 추정)와 관련된 문헌을 조사를 통하여 distributed RHM 생성 및 분석에 특화된 시스템을 개발하였다. 조사 결과, distributed RHM 생성 절차의 각 단계별로 다소 복잡하고 다양한 통계적 기법들(예: factor analysis, optimization method 등)이 활용되는 것으로 나타났다. 본 시스템은 사용자가 제품 설계를 위한 RHM 생성 시 기존 distributed RHM 생성 간 적용되어온 다양한 통계적 기법들에 대하여 개발 시간 및 용이성이 고려된 각각의 방법에 특화된 인터페이스를 제공하였다. 본 연구에서 조사된 기존 distributed RHM 생성 관련 연구들(Robinette and Annis, 1986 등 7편, 표 2-1 참조)은 체계적인 방법간의 비교없이 연구자가 임의의 방법을 사용하여 제품의 치수체계를 개발하였다. 따라서, 본 시스템은 사용자가 다양한 RHM 생성 방법간의 체계적인 비교 분석을 통한 RHM 생성을 통하여 최적의 치수체계를 설계 할 수 있는 시스템으로 활용될 수 있다.

본 연구는 시스템 개발을 통하여 기존에 적용되지 않았던 distributed RHM 생성 방법을 제공하였다. 예를 들어, McCulloch et al. (1998)은 Ashdown and Pall (1988)이 regression analysis (RA)를 통해 추출한 5개의 중요변수(chest circumference, neck circumference, shoulder circumference, sleeve outseam, 그리고 neck to buttock length)를 사용하여 optimization method로 격자를 형성하고 estimated case를 선정하여 RHM을 생성하였는데, 이는 본 연구의 R-O-E (regression analysis – optimization method – estimated case)와 같은 생성 절차가 된다. 본 연구의 시스템을 사용하면 F-O-E (factor analysis – optimization method –

real case)이나 P-O-E (principal component analysis – optimization method – estimated case) 등과 같이 새로운 방법을 적용할 수 있다. 따라서, 본 연구는 사용자가 기존 방법들의 RHM 생성 절차별 조합을 통하여 다양한 시도를 할 수 있도록 새로운 방법들을 제공하였다.

본 시스템의 distributed method 결정 방법 중 clustering method와 optimization method는 동일한 조건으로 RHM을 생성해도 생성되는 RHM이 달라지는 것으로 나타났다. 기본적으로 clustering method와 optimization method는 각각 K-mean clustering method와 McCulloch et al. (1998)에 의해 고안된 최적화 알고리즘을 사용한다. 두 방법의 공통점은 초기해(initial solution)로부터 각각의 방법을 사용하여 최적의 값을 찾는 것이다. 본 시스템은 두 가지 방법 모두 임의(random)의 초기해를 제공함으로써 RHM 생성 시 동일한 조건(예: 같은 군집 수 등)으로 생성해도 초기해에 따라 생성된 RHM의 인체크기 및 수용비율이 달라지는 결과 값을 제공한다.

사용자는 본 시스템을 사용하여 원하는 목표수용비율을 만족하는 real case RHM은 생성할 수 없는 것으로 파악되었다. 본 연구에서는 real case 방법을 사용한 치수체계 모두 estimated case 방법을 사용한 치수체계보다 인구수용비율이 저하되는 것으로 나타났다. Real case 방법은 estimated case를 선정 후 격자내의 RHM 후보와 estimated case RHM (centroid)과의 Euclidian 거리가 최소 (medoid)가 되는 RHM을 찾는 방법이다. 따라서, real case의 RHM 생성 결과는 estimated case의 종속되어 있다고 할 수 있다. 그러므로, 사용자는 중요변수 측면에서 목표수용비율을 만족하는 estimated case RHM을 생성할 수 있지만, real

case RHM은 생성할 수 없다. 또한, real case RHM의 목표수용비율은 중요변수 측면의 설계대상인구 분포에 영향을 받는다. 예를 들어, 생성된 estimated RHM과 real RHM의 거리가 가까운 경우 수용비율은 유사하게 나타나지만, 거리가 멀어질수록 수용비율의 차이가 많아질 수 있다. 그러므로, 설계대상인구가 밀집된 인구분포의 중앙부보다 측면부에서의 수용비율의 차이가 날 수 있다.

5.2. Application of men's flight suit

본 연구에서는 비행복 설계를 위한 중요인체변수로 stature (키)와 chest circumference (가슴둘레)가 선정되었다. 본 연구에서는 남성 비행복 치수체계 설계를 위해 US Army Pilot (Gordon et al., 1988) data에서 선정된 13개의 인체변수의 regression analysis 결과, cervicale height와 chest circumference가 다른 11개의 인체변수와의 평균수정회귀계수(average adjusted $R^2 = 0.577$)가 가장 높은 것으로 나타났으나, 사용성이 높은 stature와 chest circumference (average adjusted $R^2 = 0.574$)를 중요변수로 선정하였다. 추후 분석으로 남성 US Army ($n = 1,774$; Gordon et al., 1988) data에서 13개의 중요변수의 regression analysis 결과, cervicale height와 chest circumference가 다른 11개의 인체변수와의 평균수정회귀계수 (average adjusted $R^2 = 0.590$)가 가장 높은 것으로 나타났고, stature와 chest circumference의 평균수정회귀계수가 0.585으로 나타나 0.005만큼 차이가 나는 것으로 나타났다. 따라서, 현재 사용되고 있는 stature는 cervicale height와 같이 다른 인체변수와의 설명력이 높고, 사용성 및 활용도가 높아 비행복 치수체계

의 중요변수로 사용하는 것이 권장된다.

중요변수 측면의 수용비율은 real case RHM이 estimated case RHM보다 저하되는 것으로 파악되었다. 본 연구에서 grid method를 사용한 경우 estimated case RHM은 real case RHM보다 중요변수 측면의 수용비율이 R-G 12.0% (485명 중 58명), F-G 10.2% (49명), 그리고 P-G 12.8% (62명)만큼 높은 것으로 나타났다. 이는 grid method를 사용하여 estimated RHM에서 real RHM을 선정할 경우 인구가 밀집되어 있는 인구분포의 중앙부의 격자들 사이의 수용하지 못하는 공간이 발생하여 수용비율이 저하되는 것으로 추정된다.

중요변수 추출 방법 중 FA는 PCA보다 성능이 전반적으로 저하되는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 FA를 적용했던 6가지 치수체계(F-G-E, F-G-R, F-C-E, F-C-R, F-O-E, 그리고 F-O-R)가 PCA를 적용했던 6가지 치수체계(P-G-E, P-G-R, P-C-E, P-C-R, P-O-E, 그리고 P-O-R)보다 실제 중요변수, 나머지 중요변수 치수범위의 coverage rate와 outlier 치수체계 수, 그리고 평균 MAPs 측면에서 모두 저하되는 것으로 분석되었다. 이는 PCA의 경우 변수들 간의 상관행렬(correlation matrix)에 근간해 연관성이 높은 변수들을 집단화하지만, FA의 경우 분석 모형 적용시 수정 상관행렬(adjusted correlation matrix)이 사용되기 때문인 것으로 추정된다. 상관행렬의 대각선은 행과 열의 변수가 같기 때문에 공통분산(shared variance)이 1이되지만, 수정 상관행렬의 대각선은 다중상관제곱치(squared multiple correlation, SMC)로 대체된다. SMC는 특정 변수에 대해 나머지 변수들을 회귀 분석하여 구한 R^2 이며, 변수의 공통분산은 그 변수의 SMC와 같거나 그 이상이거나(Dwyer, 1939), 변수의 공통분산은 SMC보다 항상 크

다고 알려져 있다(Jackson and Tweed, 1980). 그러므로, FA로 추출된 요인은 추출된 요인에 의해 설명되는 공통분산으로 설명이 되기 때문에 상대적으로 변수들의 모든 변동(all variance of the variables)에 의해 설명되는 PCA와의 분석결과가 차이가 난 것으로 추정된다.

본 연구에서는 clustering method와 optimization method를 적용하여 치수 체계 생성 시 10회씩의 simulation을 통해 목표수용비율(95%)을 만족시키는 RHM의 최소 개수를 선정했다. 본 연구의 시스템을 사용할 경우, 두 방법 모두 임의의 초기해가 주어진 상태에서 최적의 값을 찾아나가기 때문에 simulation마다 다른 값을 도출한다. 두 방법을 사용한 simulation 결과, 중요변수 측면의 수용비율이 최대 5.2%까지 차이가 난 것으로 분석되었다. 따라서, 본 연구는 clustering method와 optimization method를 적용 시 현재 사용한 10회 이상의 simulation을 시도한다면 중요변수 측면의 인구수용비율은 유사하지만, 현재의 값보다 더 적은 RHM 개수의 치수체계가 생성될 수 있다.

VI. Conclusion

본 연구는 다중치수제품(multiple-size product) 설계를 위한 distributed RHM을 생성하고 생성된 distributed RHM의 인구수용비율(accommodation rate)을 분석할 수 있는 시스템을 개발하고, 개발된 시스템을 사용하여 최적의 남성 비행복 치수체계를 선정하였다. 첫째, 본 연구에서는 시스템 개발을 위하여 distributed RHM 생성 기법 및 DHM simulation system의 특성이 파악되었다. 총 10편의 distributed RHM 생성 관련 문헌에 근거하여 5단계 distributed RHM 생성 절차(S1: target population selection, S2: target anthropometric variable selection, S3: key dimension determination, S4: distributed grid formation, S5: RHM's size determination) 및 생성 방법(grid method, clustering method, 그리고 optimization method)을 체계화 하였다. 또한, 대표적인 3가지 DHM simulation system (Jack, RAMSIS, 그리고 CATIA Human)의 RHM 생성 인터페이스(percentile RHM과 custom-built RHM)의 특성 및 한계점 파악 후 이를 반영하여 시스템이 개발되었다. 이들의 한계점 보완사항으로, 설계대상인구 선정은 3가지 인체측정 data (US Army, Gordon et al., 1988; US Army Pilot, Gordon et al., 1988; Korean Pilot, Jung et al., 2008)로부터, 혼성(composite)과 다양한 연령그룹(최대 4개) 각각에 대해 비율 설정이 가능하고, 인체변수분류체계(You et al., 2004)를 적용한 설계대상 인체변수 인터페이스가 제공되었다.

둘째, 본 연구에서는 distributed RHM 생성 및 분석에 특화된 시스템이 개발되었다. Distributed RHM 생성 첫 번째 단계에서는 중요변수 추출 시

regression analysis (RA), factor analysis (FA), 그리고 principal component analysis (PCA)를 적용할 수 있는 각각의 인터페이스가 제공되었다. 두 번째 단계에서는 distributed method 적용 시 grid method, clustering method, 그리고 optimization method를 적용할 수 있는 각각의 인터페이스가 제공되었다. 마지막 단계에서는 RHM 인체크기 결정 시 estimated case와 real case를 선택할 수 있는 인터페이스가 제공되었다. 그리고, 본 시스템은 생성된 RHM에 대한 다양한 정보가 제공되었다. 본 시스템은 생성된 RHM에 대하여 설계대상인구의 성별과 연령대에 따른 인구 수와 생성된 각 RHM별로 설계대상 인체변수에 대한 치수크기가 제공하였다. 또한, 중요변수 측면의 인구수용비율과 5가지 다변량수용비율(average, SD, minimum, maximum, 그리고 median)을 분석 정보와, 중요변수 측면의 생성된 격자와 RHM의 위치의 시각화를 제공하였다.

셋째, 본 연구에서는 개발된 시스템을 활용하여 최적의 미군 남성 조종사의 비행복 치수체계를 선정되었다. 본 연구는 US Army Pilot 인체측정자료 (Gordon et al., 1988)를 활용하고 13개의 유관 인체변수(Jeon et al., 2009)를 사용하여 개발 가능한 18개(중요변수 추출 방법 3개 × distributed RHM 생성 방법 3개 × 생성된 RHM의 인체크기 추정 방법 2개)의 치수체계를 개발하였다. 중요변수 측면의 95% 인구수용비율을 만족하도록 설계된 18개의 치수체계 비교 분석 결과, 실제 중요변수(stature와 chest circumference) 측면의 인구수용비율(95.3%)이 높고, 생성된 치수체계의 수(29개)가 적으며, 설계대상인구의 치수범위를 벗어나는 치수체계가 없는 R-G-E (regression analysis - grid method - estimated case)가 선정되었다.

본 연구의 추후 연구로 주변부대표인체모델(boundary RHM) 생성 및 분석 시스템의 개발과 함께 DHM simulation system과의 연동이 가능한 시스템의 개발이 필요하다. Boundary RHM은 자동차와 같은 단일치수제품(one-size product)의 인간공학적 설계 시 유용하게 활용될 수 있으므로 본 연구에서 개발된 distributed RHM 생성 및 분석 시스템과 같이 다양한 설계대상인구 및 설계대상 인체변수에 대해 다양한 boundary method를 적용할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다. 또한, 개발된 시스템을 통해 생성된 distributed RHM 및 boundary RHM의 인체크기는 DHM simulation system의 custom-built RHM 생성 인터페이스의 인체크기 입력부분과 연동되어 제품 설계를 위한 인간공학적 평가 기준(예: 도달성, 여유공간 등)을 적용 시에 활용될 수 있도록 시스템간의 연동이 필요하다.

References

1. Annis, J. F., and McConville, J. T. (1996). *Anthropometry*. In A. Bhattacharya and J. D. McGlothlin (Eds.), *Occupational Ergonomics: Theory and Applications*, pp. 1-46, Marcel Dekker, Inc., New York.
2. Ashdown, S. P. and Pall, B. (1988). Development of a Statistical Method of Size Categorization. *Technical Report*. U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center: Natick, Massachusetts.
3. Ashdown, S. P. (2003). Sizing up the apparel industry. Cornell's Newsletter for the New York State Apparel and Sewn Products Industry.
4. Bittner, A. C., Glenn, F. A., Harris, R. M., Iavecchia, H. P., and Wherry, R. J. (1987). CADRE: A family of manikins for workstation design. In S.S. Asfour (Eds.) *Trends in Ergonomics/Human factors IV* (pp. 733-740). Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V.
5. Bittner, A. C. (2000). A-CADRE: Advanced family of manikins for workstation design. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 44th annual meeting*, California, USA, 774-777.
6. CAESAR (2002). CAESAR Final Report. SAE International.
7. Chaffin, D. B. (2001). *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design*. Pennsylvania, USA: SAE.
8. Chaffin, D. B. (2005). Improving digital human modeling for proactive ergonomics in design. *Ergonomics*, 48(5), 478-491.
9. Dassault Systemes (2005). *CATIA Users' Manual: Human Builder* (version 5 release 18). Dassault Systemes.
10. Gordon, C. C., and Friedl, K. E. (1994). *Anthropometry in the US armed forces*. In Ulijaszek, S. J. (Ed.). *Anthropometry: The Individual and the Population*. Cambridge University Press: Cambridge UK.
11. Gordon, C. C., Bradtmiller, B., Churchill, T., Clauser, C., McConville, J., Tebbetts, I., and Walker, R. (1988). *1988 Anthropometric Survey of US Army Personnel: Methods and Summary Statistics* (Technical Report NATICK/TR-89/044). Massachusetts, USA: Natick.

12. HFES 300 (2004). Guidelines for Using Anthropometric Data in Product Design. Santa Monica, California: Human Factors and Ergonomics Society.
13. Hidson, D. (1991). *Development of a Standard Anthropometric Dimension Set for Use in Computer-Aided Glove Design* (DREO technical note 91-22). Defence research establishment OTTAWA.
14. Human Solutions (2007). *RAMSIS Users' Manual: BodyBuilder* (version 3.8.30). Human Solutions.
15. Jeon, E., Park, J., Jeong, J., Park, S., Park, J., You, H., and Kim, H. (2009). Pattern analysis and determination of body dimension for flight suit design. *J. of the Korean Society for the Clothing Industry*, 11(2), 286-292.
16. Jimmerson, D. G. (2001). Digital Human Modeling for Improved Product and Process Feasibility Studies. In Chaffin, D. B. (Ed.), *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design* (pp. 127-135). Warrendale, PA: SAE International.
17. Jung, K. and You, H. (2007). Evaluation of a Representative Human Model Generation Method for Anthropometric Design: Grid Approach. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(1), 103-109.
18. Jung, K., Cho, J., Jung, J., Park, J., Lee, W., Eum, J., Lee, J., Kang, B., Kim, H., Park, S., and You, H. (2008). *Anthropometric analysis of Korean helicopter pilots for helicopter cockpit design*. *J. of the Ergonomics Society of Korea*, 27(4), 37-44.
19. Jung, K., Kwon, O., and You, H. (2009). Development of a digital human model generation method for ergonomic design in virtual environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(5), 744-748.
20. Jung, K. (2009). Development of a Multivariate Representative Human Model generation Method for Anthropometric Design. Unpublished Ph.D. dissertation. Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea.
21. Jung, K., You, H., and Kwon, O. (2010). Evaluation of the multivariate accommodation performance of the grid method. *Applied Ergonomics*, 42, 156-161.
22. Lee, B., Chang, Y., Jung, K., Jung, I., and You, H. (2010). 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.
23. Kim, J., and Whang, M. (1997). Development of a set for Korean manikins. *Applied Ergonomics*, 28(5), 407-410.

24. Kwon, O., Jung, K., Sun, M., You, H., and Kim, H. (2004). Determination and Application of Key Dimensions for a Sizing System of Glove by Analyzing the Relationships Between hand Anthropometric Variables. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 23(3), 25-38.
25. Kwon, O., Jung, K., You, H., and Kim H. (2009). Determination of key dimensions for a glove sizing system by analyzing the relationship between hand dimensions. *Applied Ergonomics*, 40, 762-766.
26. Laing, R. M., Holland, E. J., and Niven, B. E. (1999). Development of sizing systems for protective clothing for the adult male. *Ergonomics*, 42(10), 1249-1257.
27. Lattin, J. M. (2003). *Analyzing Multivariate Data*. California: Pacific Grove.
28. McCulloch, C. E., Paal, B., and Ashdown, S.P. (1998). An optimization approach to apparel sizing. *Journal of the Operational Research Society*, 49, 492-499.
29. Meunier, P. (1998). Effects of a data reduction technique on anthropometric accommodation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting*, Chicago, Illinois, 727-731.
30. Moon, M. O. (2002). A study on the sizing system for clothes of lower body: females from 19 to 24 years old. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 26(7), 1036-1042.
31. Nelson, C. (2001). Anthropometric Analysis of Crew Interfaces and Component Accessibility for the International Space Station. In Chaffin, D. B. (Ed.), *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design* (pp. 17-36). Warrendale, PA: SAE International.
32. Park, J., Jung, K., Lee, W., Kang, B., Lee, J., Eom, J., Park, S., and You, H. (2008). 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*.
33. Roebuck, J. A., Kroemer, K. H. E., and Thomson, W. G. (1975). *Engineering Anthropometry Methods*. New York: Wiley-Interscience.
34. Robinette, K. M., and Annis, J. F. (1986). *A Nine-Size System for Chemical Defense Gloves* (Technical Report AAMRL-TR-86-029). Ohio: Wright-Patterson Air Force Base.
35. Roebuck, J. A., Jr. (1995). *Anthropometric Methods: Designing to Fit the Human*

- Body*. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society.
36. Rosenblad-Wallin, E. (1987). An anthropometric study as the basis for sizing anatomically designed mittens. *Applied Ergonomics*, 18(4), 329-333.
 37. SIMENS (2006). *Jack User Manual* (version 5.1). Texas: Unigraphics Solutions.
 38. SizeKorea (2006). Size Korea homepage. Retrieved November 1, 2010 from <http://sizekorea.kats.go.kr>.
 39. Thompson, D. D. (2001). The Determination of the Human Factors/Occupant Packaging Requirements for Adjustable Pedal Systems. In Chaffin, D. B. (Ed.), *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design* (pp. 101-111). Warrendale, PA: SAE International.
 40. Webb Associates (1978). *Anthropometric Source Book Volume I: Anthropometry for Designers*, Webb Associates: Yellow Springs, OH.
 41. Winks, J. M. (1997). *Clothing Sizes International Standardization*. The Textile Institute International Headquarters, Manchester, UK.
 42. You, H., Lowe, B. D., Oesterling, B., Freivalds, A., and Gilmore, B. J. (1997). A Prototype Testing and Evaluation for the Development of Ergonomic Transit Bus Operator's Workstation Design Guidelines. In *Proceedings of International Ergonomics Association 13th Triennial Congress*. Tampere, Finland: International Ergonomics Association.
 43. You, H. (2007). Digital human model simulation for ergonomic design of tangible products and workplaces. In *Proceedings of the 2007 Fall Conference of the Ergonomics Society of Korea*.
 44. Zheng, R., Yu, W., and Fan, J. (2007). Development of a new Chinese bra sizing system based on breast anthropometric measurements. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37, 697-705.

Appendices

Appendix A. Body sizes of generated RHM

A.1. R-G-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	399.0	976.0	1530.7	984.2	1014.1	381.9	400.8	600.6	1770.9	421.2	832.6	1129.7	184.2
2	402.3	1006.8	1532.6	1034.2	1057.6	390.1	416.4	602.0	1770.9	421.8	879.7	1133.0	183.6
3	392.6	965.7	1485.5	984.2	1011.4	376.0	400.0	582.7	1720.9	410.8	834.2	1095.8	178.1
4	408.6	1017.1	1577.8	1034.2	1060.3	396.0	417.2	619.9	1820.9	432.3	878.1	1166.9	189.7
5	395.9	996.4	1487.4	1034.2	1054.9	384.2	415.6	584.1	1720.9	411.4	881.2	1099.1	177.5
6	405.4	986.4	1575.9	984.2	1016.8	387.9	401.6	618.5	1820.9	431.6	831.1	1163.6	190.3
7	389.3	935.0	1483.5	934.2	967.8	367.8	384.5	581.3	1720.9	410.2	787.2	1092.5	178.6
8	395.7	945.3	1528.7	934.2	970.5	373.8	385.2	599.2	1770.9	420.6	785.6	1126.4	184.8
9	405.5	1037.5	1534.5	1084.2	1101.1	398.3	432.0	603.4	1770.9	422.5	926.7	1136.3	183.0
10	402.1	955.7	1574.0	934.2	973.2	379.7	386.0	617.1	1820.9	431.0	784.1	1160.3	190.9
11	386.2	955.4	1440.2	984.2	1008.7	370.1	399.2	564.8	1670.9	400.4	835.7	1061.9	171.9
12	411.9	1047.9	1579.8	1084.2	1103.8	404.2	432.7	621.4	1820.9	432.9	925.1	1170.2	189.1
13	415.0	1027.5	1623.0	1034.2	1063.0	402.0	418.0	637.9	1870.9	442.7	876.6	1200.7	195.9
14	411.8	996.7	1621.1	984.2	1019.4	393.8	402.4	636.5	1870.9	442.0	829.6	1197.4	196.5
15	399.1	1027.2	1489.3	1084.2	1098.4	392.4	431.2	585.5	1720.9	412.1	928.2	1102.4	176.9
16	418.3	1058.2	1625.0	1084.2	1106.5	410.1	433.5	639.3	1870.9	443.3	923.6	1204.1	195.3
17	408.8	1068.2	1536.5	1134.2	1144.7	406.5	447.5	604.9	1770.9	423.1	973.7	1139.6	182.4
18	382.9	924.6	1438.3	934.2	965.2	361.9	383.7	563.4	1670.9	399.7	788.7	1058.6	172.5
19	389.5	986.1	1442.2	1034.2	1052.2	378.3	414.8	566.2	1670.9	401.0	882.8	1065.2	171.3
20	379.8	945.0	1395.0	984.2	1006.0	364.2	398.4	546.9	1620.9	390.0	837.3	1028.0	165.8
21	392.5	914.6	1526.8	884.2	927.0	365.6	369.7	597.8	1770.9	419.9	738.6	1123.1	185.4
22	424.7	1068.5	1670.2	1084.2	1109.2	416.1	434.3	657.2	1920.9	453.7	922.0	1237.9	201.4
23	421.6	1088.9	1626.9	1134.2	1150.0	418.3	449.1	640.7	1870.9	443.9	970.6	1207.4	194.7
24	386.1	904.2	1481.6	884.2	924.3	359.7	368.9	579.9	1720.9	409.5	740.2	1089.2	179.2
25	408.5	966.0	1619.2	934.2	975.9	385.6	386.8	635.0	1870.9	441.4	782.5	1194.1	197.1
26	376.6	914.3	1393.1	934.2	962.5	356.0	382.9	545.4	1620.9	389.3	790.3	1024.7	166.4
27	418.2	1007.1	1666.3	984.2	1022.1	399.7	403.2	654.4	1920.9	452.5	828.0	1231.3	202.6
28	383.1	975.8	1397.0	1034.2	1049.5	372.3	414.0	548.3	1620.9	390.6	884.3	1031.3	165.2
29	392.7	1016.8	1444.1	1084.2	1095.8	386.4	430.4	567.6	1670.9	401.6	929.8	1068.5	170.7

A.2. R-G-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	398.5	975.8	1527.2	985.0	1014.6	381.6	401.0	599.2	1767.0	420.4	833.6	1127.1	183.7
2	402.6	1006.7	1535.4	1033.0	1056.8	390.3	416.1	603.1	1774.0	422.5	878.5	1135.0	184.0
3	392.7	964.8	1487.3	982.0	1009.6	375.9	399.4	583.4	1723.0	411.2	832.1	1097.1	178.3
4	409.5	1022.0	1580.9	1041.0	1066.4	397.5	419.3	621.3	1824.0	433.0	884.4	1169.4	190.0
5	396.3	1001.1	1486.9	1042.0	1061.7	385.4	418.0	584.0	1720.0	411.3	888.6	1099.0	177.3
6	405.8	985.9	1579.5	982.0	1015.1	388.0	401.0	619.9	1825.0	432.5	828.9	1166.2	190.9
7	389.2	932.6	1484.4	930.0	964.3	367.3	383.2	581.6	1722.0	410.3	783.2	1093.0	178.8
8	395.2	944.4	1525.2	934.0	970.2	373.3	385.1	597.8	1767.0	419.8	785.6	1123.7	184.3
9	406.2	1037.4	1540.0	1082.0	1099.6	398.7	431.4	605.6	1777.0	423.7	924.5	1140.3	183.8
10	402.8	958.7	1576.9	938.0	976.7	380.7	387.3	618.3	1824.0	431.7	787.6	1162.6	191.3
11	385.5	959.8	1430.8	995.0	1017.5	370.6	402.4	561.2	1660.0	398.2	846.3	1055.2	170.4
12	411.1	1044.9	1575.2	1081.0	1100.8	403.1	431.7	619.5	1816.0	431.8	922.3	1166.6	188.6
13	414.5	1023.5	1622.0	1028.0	1057.6	400.9	416.0	637.4	1870.0	442.4	870.8	1199.7	195.8
14	411.6	997.5	1619.5	986.0	1020.9	393.9	402.9	635.8	1869.0	441.7	831.3	1196.3	196.2
15	401.1	1033.3	1500.5	1090.0	1104.2	394.7	433.2	590.0	1733.0	414.7	933.3	1111.0	178.3
16	419.6	1061.8	1633.3	1087.0	1109.5	411.7	434.6	642.6	1880.0	445.2	926.0	1210.4	196.4
17	409.4	1067.2	1542.7	1130.0	1141.4	406.6	446.3	607.3	1778.0	424.5	969.6	1144.1	183.3
18	382.6	922.5	1437.4	931.0	962.4	361.3	382.7	562.9	1670.0	399.5	785.8	1057.8	172.4
19	390.1	987.5	1445.9	1035.0	1053.2	378.9	415.1	567.7	1675.0	401.9	883.4	1068.0	171.8
20	379.6	940.4	1396.6	976.0	999.0	363.1	395.9	547.4	1623.0	390.3	829.5	1028.9	166.1
21	393.0	914.9	1531.4	883.0	926.3	366.0	369.4	599.6	1776.0	421.0	737.4	1126.5	186.0
22	426.2	1078.1	1675.3	1098.0	1121.5	418.9	438.7	659.4	1926.0	455.0	934.9	1242.3	201.9
23	421.7	1082.9	1632.9	1122.0	1139.8	417.2	445.4	642.9	1878.0	445.3	958.9	1211.4	195.7
24	383.6	893.5	1469.4	871.0	912.2	356.0	364.6	574.9	1708.0	406.7	728.2	1079.6	177.8
25	408.8	970.4	1617.8	942.0	982.6	386.7	389.2	634.6	1869.0	441.1	790.0	1193.4	196.7
26	378.4	920.8	1403.4	941.0	969.0	358.4	385.2	549.6	1632.0	391.7	796.3	1032.7	167.7
27	417.7	1010.9	1659.5	993.0	1029.4	400.2	405.8	651.8	1913.0	450.9	836.6	1226.6	201.5
28	382.6	971.4	1396.8	1027.0	1043.3	371.2	411.8	548.1	1621.0	390.5	877.6	1030.9	165.3
29	393.4	1020.8	1446.2	1090.0	1100.9	387.6	432.2	568.5	1673.0	402.2	935.2	1070.3	170.9

A.3. R-C-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	409.1	1002.8	1593.2	1004.8	1035.7	393.4	408.3	625.7	1839.2	435.7	849.9	1177.3	192.3
2	377.9	915.0	1403.9	931.3	960.6	356.9	382.2	549.7	1633.0	391.8	787.2	1032.7	167.9
3	419.6	1073.8	1622.8	1110.8	1129.5	414.1	441.8	638.8	1867.4	442.9	948.7	1203.4	194.5
4	390.8	930.4	1500.1	920.5	956.9	367.8	380.5	587.7	1739.8	413.9	773.7	1104.4	181.1
5	426.1	1069.5	1681.5	1081.5	1107.6	417.1	433.7	661.6	1933.5	456.3	919.1	1246.3	203.0
6	425.1	1100.5	1647.3	1145.5	1161.1	422.8	453.0	648.9	1893.0	448.7	980.6	1223.1	197.3
7	415.3	1039.7	1615.1	1057.3	1082.6	404.6	425.0	635.0	1861.2	440.9	898.6	1195.7	194.4
8	382.5	950.4	1413.5	986.0	1008.7	366.9	399.3	554.2	1641.3	394.2	838.4	1042.0	168.3
9	408.2	972.6	1611.3	948.0	987.5	386.8	391.0	632.1	1861.6	439.7	795.8	1188.8	195.7
10	412.5	1092.2	1548.2	1169.3	1175.9	413.6	458.7	610.0	1782.3	425.9	1006.4	1149.7	183.4
11	386.4	935.0	1459.0	943.5	974.5	366.1	386.9	571.7	1693.4	404.5	796.8	1074.5	175.2
12	395.0	917.2	1546.2	881.1	925.5	367.7	369.1	605.4	1792.4	424.4	735.1	1137.5	188.1
13	410.1	1060.4	1554.2	1114.6	1128.7	405.7	441.7	611.6	1791.3	427.1	954.6	1152.1	185.1
14	411.5	1043.5	1580.1	1076.9	1097.5	403.1	430.5	621.4	1821.5	432.9	918.3	1170.1	189.3
15	399.5	1000.0	1515.1	1029.5	1052.5	387.1	414.6	595.0	1751.7	417.8	875.9	1119.7	181.3
16	399.9	978.2	1536.5	985.5	1015.5	382.9	401.3	602.9	1777.3	422.6	833.7	1134.1	185.0
17	398.6	1009.6	1499.3	1051.4	1070.6	388.5	421.1	589.1	1733.4	414.2	897.0	1108.7	178.8
18	414.8	1024.4	1623.5	1029.0	1058.5	401.2	416.4	638.0	1871.6	442.8	871.7	1200.9	196.0
19	403.6	1041.0	1515.1	1097.2	1111.3	397.8	435.7	595.9	1748.9	418.1	939.6	1122.2	180.1
20	394.2	1009.4	1462.7	1064.9	1080.1	385.8	424.7	574.7	1692.3	405.9	911.0	1081.8	173.6
21	402.9	1003.1	1541.4	1024.8	1050.0	389.8	413.6	605.4	1781.0	423.8	870.6	1139.2	184.9
22	385.2	986.7	1405.9	1048.8	1062.8	375.8	418.7	552.0	1630.2	392.7	897.8	1038.6	166.1
23	420.5	1058.1	1643.9	1076.8	1101.2	411.5	431.6	646.7	1892.1	447.6	916.0	1217.9	198.0
24	403.3	972.7	1569.7	964.0	998.8	383.9	395.2	615.8	1814.9	430.1	812.3	1158.1	189.8
25	382.4	899.8	1454.3	887.1	925.3	356.6	369.3	569.1	1690.6	403.2	743.9	1068.8	175.5
26	410.5	1024.5	1587.3	1042.7	1068.2	398.6	420.0	623.8	1831.1	434.5	885.8	1174.3	190.9
27	406.5	1029.3	1549.4	1065.0	1085.3	397.2	426.2	609.1	1788.2	425.8	908.1	1146.7	185.3
28	396.6	980.0	1507.5	999.4	1025.9	381.3	405.1	591.6	1744.6	415.9	847.8	1112.9	180.8
29	404.5	997.7	1559.0	1009.2	1037.5	389.6	409.1	612.2	1801.2	427.8	855.2	1151.9	187.6
30	397.8	946.9	1544.7	930.8	968.6	375.3	384.5	605.5	1788.7	424.2	781.9	1138.2	187.0
31	416.0	1011.2	1644.7	999.2	1033.9	399.3	407.5	646.0	1896.4	447.6	842.9	1215.7	199.4
32	389.7	979.6	1449.3	1020.8	1041.0	377.1	410.8	568.8	1679.3	402.6	869.9	1070.0	172.5
33	390.4	963.4	1469.3	986.4	1012.4	374.2	400.4	576.3	1702.9	407.1	836.9	1083.7	175.8
34	395.0	959.1	1511.1	963.6	995.0	376.1	394.1	592.6	1750.1	416.6	813.9	1114.3	181.9

A.4. R-C-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	407.9	998.0	1587.4	999.0	1030.3	391.7	406.4	623.3	1833.0	434.3	844.7	1172.7	191.6
2	379.1	920.8	1408.7	939.0	967.6	358.8	384.7	551.7	1638.0	392.9	794.3	1036.6	168.4
3	419.8	1076.3	1622.6	1115.0	1133.1	414.7	443.1	638.8	1867.0	442.9	952.7	1203.4	194.4
4	391.7	933.1	1504.9	923.0	959.4	368.9	381.4	589.6	1745.0	415.0	775.9	1108.1	181.7
5	426.0	1060.9	1687.6	1065.0	1093.6	415.3	428.7	663.9	1941.0	457.7	903.4	1250.3	204.1
6	423.7	1095.8	1639.0	1141.0	1156.7	421.0	451.4	645.6	1884.0	446.8	976.6	1216.7	196.2
7	415.0	1034.9	1616.5	1049.0	1075.5	403.5	422.5	635.5	1863.0	441.2	890.8	1196.4	194.7
8	382.4	950.1	1412.4	986.0	1008.6	366.7	399.3	553.8	1640.0	394.0	838.4	1041.1	168.1
9	407.2	966.9	1607.7	940.0	980.3	385.0	388.4	630.6	1858.0	438.8	788.4	1185.8	195.4
10	412.4	1093.4	1546.2	1172.0	1178.1	413.7	459.4	609.2	1780.0	425.5	1009.0	1148.2	183.1
11	386.7	934.2	1462.2	941.0	972.5	366.1	386.2	572.9	1697.0	405.3	794.3	1076.7	175.6
12	394.6	920.5	1539.7	889.0	932.0	368.1	371.4	603.0	1785.0	422.9	742.7	1133.0	187.0
13	410.4	1059.0	1557.4	1111.0	1125.8	405.5	440.7	612.8	1795.0	427.8	951.2	1154.4	185.6
14	412.0	1044.9	1583.2	1078.0	1098.7	403.7	430.9	622.7	1825.0	433.7	919.2	1172.5	189.7
15	399.6	999.9	1516.2	1029.0	1052.1	387.1	414.5	595.5	1753.0	418.0	875.4	1120.5	181.5
16	400.1	977.2	1538.9	983.0	1013.5	382.8	400.6	603.8	1780.0	423.1	831.3	1135.8	185.3
17	398.8	1008.7	1501.6	1049.0	1068.6	388.4	420.5	589.9	1736.0	414.8	894.7	1110.3	179.1
18	414.5	1023.5	1622.0	1028.0	1057.6	400.9	416.0	637.4	1870.0	442.4	870.8	1199.7	195.8
19	402.9	1040.9	1509.9	1099.0	1112.5	397.4	436.1	593.9	1743.0	416.9	941.5	1118.4	179.4
20	392.5	1005.1	1451.5	1062.0	1076.9	383.9	423.6	570.2	1680.0	403.3	908.6	1073.2	172.1
21	403.2	1004.7	1542.4	1027.0	1052.0	390.3	414.3	605.8	1782.0	424.1	872.6	1140.0	185.0
22	386.0	984.5	1414.5	1042.0	1057.4	375.9	416.8	555.3	1640.0	394.7	891.1	1044.8	167.4
23	419.9	1053.0	1642.6	1069.0	1094.4	410.0	429.1	646.1	1891.0	447.3	908.7	1216.7	197.9
24	403.0	970.3	1569.6	960.0	995.4	383.2	394.0	615.7	1815.0	430.1	808.6	1158.0	189.9
25	382.8	904.5	1454.1	895.0	932.1	357.8	371.8	569.1	1690.0	403.2	751.3	1069.0	175.3
26	410.7	1024.4	1589.1	1042.0	1067.8	398.8	419.8	624.5	1833.0	434.9	885.1	1175.6	191.1
27	407.0	1030.1	1552.9	1065.0	1085.6	397.7	426.3	610.5	1792.0	426.6	908.0	1149.3	185.8
28	396.3	978.8	1506.0	998.0	1024.6	380.9	404.7	591.0	1743.0	415.6	846.5	1111.7	180.6
29	404.2	995.1	1558.7	1005.0	1033.8	388.9	407.8	612.0	1801.0	427.7	851.3	1151.5	187.6
30	398.3	948.3	1547.7	932.0	969.8	375.9	384.9	606.7	1792.0	424.9	782.9	1140.5	187.4
31	415.6	1009.0	1643.4	996.0	1031.0	398.6	406.5	645.4	1895.0	447.2	839.9	1214.6	199.3
32	390.7	982.4	1455.4	1023.0	1043.3	378.2	411.6	571.3	1686.0	404.0	871.8	1074.7	173.3
33	390.6	962.3	1471.1	984.0	1010.4	374.1	399.7	577.0	1705.0	407.5	834.5	1085.0	176.1
34	395.4	958.9	1514.5	962.0	993.9	376.3	393.6	593.9	1754.0	417.4	812.3	1116.8	182.4

A.5. R-O-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	386.1	962.2	1433.6	998.0	1020.3	371.4	403.4	562.3	1663.0	398.9	849.0	1057.5	170.8
2	392.5	1005.1	1451.5	1062.0	1076.9	383.9	423.6	570.2	1680.0	403.3	908.6	1073.2	172.1
3	401.2	977.0	1548.6	979.0	1010.6	383.5	399.5	607.7	1791.0	425.3	827.2	1143.0	186.7
4	412.4	1093.4	1546.2	1172.0	1178.1	413.7	459.4	609.2	1780.0	425.5	1009.0	1148.2	183.1
5	382.8	904.5	1454.1	895.0	932.1	357.8	371.8	569.1	1690.0	403.2	751.3	1069.0	175.3
6	403.0	970.3	1569.6	960.0	995.4	383.2	394.0	615.7	1815.0	430.1	808.6	1158.0	189.9
7	390.6	962.3	1471.1	984.0	1010.4	374.1	399.7	577.0	1705.0	407.5	834.5	1085.0	176.1
8	395.2	944.4	1525.2	934.0	970.2	373.3	385.1	597.8	1767.0	419.8	785.6	1123.7	184.3
9	402.0	1029.2	1511.8	1079.0	1095.3	394.5	429.9	594.4	1746.0	417.2	922.6	1119.1	180.0
10	405.4	1002.7	1562.7	1016.0	1043.6	391.2	411.3	613.7	1805.0	428.7	861.5	1154.9	188.0
11	400.6	1007.1	1518.5	1040.0	1061.8	389.2	417.9	596.5	1755.0	418.6	885.6	1122.6	181.6
12	398.8	946.7	1553.9	927.0	965.8	375.9	383.5	609.1	1799.0	426.3	778.0	1144.9	188.3
13	411.3	1000.5	1614.3	993.0	1026.7	394.3	405.0	633.9	1863.0	440.5	838.1	1192.7	195.4
14	378.4	920.8	1403.4	941.0	969.0	358.4	385.2	549.6	1632.0	391.7	796.3	1032.7	167.7
15	397.4	1007.0	1491.7	1050.0	1068.9	387.3	420.6	586.0	1725.0	412.5	896.0	1102.9	177.8
16	411.6	1026.9	1594.6	1044.0	1069.8	399.8	420.5	626.7	1839.0	436.2	886.8	1179.8	191.8
17	395.3	983.7	1492.9	1011.0	1035.1	381.2	408.5	586.0	1728.0	412.6	859.2	1102.4	178.6
18	404.6	1048.7	1517.5	1109.0	1121.7	400.0	439.4	597.0	1751.0	418.6	950.6	1124.4	180.3
19	414.5	1023.5	1622.0	1028.0	1057.6	400.9	416.0	637.4	1870.0	442.4	870.8	1199.7	195.8
20	418.4	1020.1	1657.4	1009.0	1043.2	402.5	410.7	651.2	1910.0	450.5	851.7	1225.6	201.0
21	386.7	934.2	1462.2	941.0	972.5	366.1	386.2	572.9	1697.0	405.3	794.3	1076.7	175.6
22	420.6	1063.9	1639.7	1088.0	1110.7	412.7	435.0	645.2	1887.0	446.7	926.7	1215.2	197.2
23	407.0	1030.1	1552.9	1065.0	1085.6	397.7	426.3	610.5	1792.0	426.6	908.0	1149.3	185.8
24	421.7	1082.9	1632.9	1122.0	1139.8	417.2	445.4	642.9	1878.0	445.3	958.9	1211.4	195.7
25	422.4	1058.6	1659.0	1072.0	1098.0	412.7	430.3	652.6	1909.0	451.1	911.0	1229.1	200.1
26	410.4	1059.0	1557.4	1111.0	1125.8	405.5	440.7	612.8	1795.0	427.8	951.2	1154.4	185.6
27	395.4	958.9	1514.5	962.0	993.9	376.3	393.6	593.9	1754.0	417.4	812.3	1116.8	182.4
28	407.2	966.9	1607.7	940.0	980.3	385.0	388.4	630.6	1858.0	438.8	788.4	1185.8	195.4
29	390.2	931.6	1493.2	925.0	960.5	367.7	381.8	585.0	1732.0	412.4	778.2	1099.4	180.1
30	397.6	977.8	1517.5	992.0	1020.1	381.5	403.0	595.5	1756.0	418.2	840.5	1120.1	182.3
31	420.6	1063.9	1639.7	1088.0	1110.7	412.7	435.0	645.2	1887.0	446.7	926.7	1215.2	197.2
32	401.8	997.3	1536.6	1017.0	1042.9	387.9	411.1	603.4	1776.0	422.7	863.4	1135.3	184.4
33	412.0	1044.9	1583.2	1078.0	1098.7	403.7	430.9	622.7	1825.0	433.7	919.2	1172.5	189.7
34	386.0	984.5	1414.5	1042.0	1057.4	375.9	416.8	555.3	1640.0	394.7	891.1	1044.8	167.4
35	394.6	920.5	1539.7	889.0	932.0	368.1	371.4	603.0	1785.0	422.9	742.7	1133.0	187.0

A.6. R-O-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	386.6	964.7	1435.8	1001.2	1023.2	372.2	404.4	563.2	1665.3	399.4	851.9	1059.2	171.0
2	392.4	1008.3	1448.5	1068.4	1082.3	384.5	425.6	569.1	1676.4	402.6	914.8	1071.2	171.6
3	401.1	975.8	1548.6	977.0	1008.9	383.2	398.9	607.6	1791.0	425.3	825.3	1142.9	186.7
4	412.8	1093.2	1549.4	1170.5	1177.0	413.9	459.0	610.5	1783.7	426.2	1007.4	1150.6	183.5
5	382.3	902.5	1450.9	892.9	930.1	357.0	371.1	567.8	1686.6	402.5	749.5	1066.5	174.9
6	404.1	972.8	1576.6	961.5	997.1	384.4	394.6	618.5	1822.6	431.7	809.8	1163.3	190.8
7	390.3	961.4	1469.3	983.2	1009.6	373.7	399.4	576.3	1703.1	407.1	833.8	1083.7	175.9
8	395.8	945.3	1529.5	933.9	970.3	373.8	385.2	599.5	1771.8	420.8	785.3	1127.0	184.9
9	402.0	1030.3	1510.7	1081.3	1097.2	394.7	430.7	594.0	1744.7	417.0	924.8	1118.3	179.8
10	405.9	1001.9	1567.4	1013.1	1041.3	391.3	410.4	615.6	1810.3	429.8	858.6	1158.3	188.7
11	399.9	1005.6	1513.8	1039.3	1061.0	388.5	417.7	594.7	1749.9	417.5	885.2	1119.1	181.0
12	398.8	947.4	1552.6	928.7	967.2	376.0	384.0	608.6	1797.5	426.0	779.6	1144.0	188.1
13	411.0	997.3	1614.3	987.7	1022.1	393.5	403.4	633.8	1863.2	440.5	833.1	1192.4	195.5
14	378.5	927.4	1398.2	953.9	979.9	359.8	389.1	547.7	1625.7	390.6	808.7	1029.3	166.7
15	396.8	1005.7	1487.8	1049.2	1068.0	386.6	420.3	584.5	1720.7	411.6	895.4	1100.0	177.3
16	411.6	1027.3	1594.5	1044.7	1070.4	399.9	420.7	626.7	1838.9	436.1	887.5	1179.8	191.8
17	395.2	982.4	1493.2	1008.8	1033.3	380.9	407.8	586.1	1728.5	412.7	857.2	1102.5	178.7
18	405.4	1053.6	1520.2	1116.2	1128.1	401.5	441.7	598.2	1753.7	419.3	957.3	1126.7	180.5
19	414.7	1027.4	1620.1	1035.1	1063.6	401.7	418.2	636.7	1867.6	442.0	877.6	1198.6	195.4
20	417.2	1014.0	1652.6	1000.8	1035.8	400.6	408.1	649.2	1905.1	449.4	844.2	1221.7	200.5
21	386.3	934.2	1458.7	942.2	973.4	365.9	386.5	571.6	1693.1	404.5	795.6	1074.2	175.1
22	420.5	1065.5	1637.5	1091.5	1113.6	412.9	436.0	644.4	1884.5	446.2	930.1	1213.7	196.9
23	406.5	1028.8	1550.4	1063.8	1084.4	397.1	425.9	609.4	1789.3	426.0	907.0	1147.4	185.5
24	422.7	1088.4	1636.5	1129.6	1146.7	418.9	447.9	644.5	1881.7	446.1	966.0	1214.4	196.1
25	422.7	1060.0	1660.4	1073.7	1099.5	413.1	430.9	653.2	1910.5	451.4	912.5	1230.2	200.3
26	410.3	1059.5	1556.2	1112.4	1126.9	405.6	441.1	612.4	1793.6	427.6	952.5	1153.5	185.5
27	395.0	959.7	1510.7	964.8	996.1	376.3	394.5	592.4	1749.6	416.5	815.1	1114.0	181.8
28	407.0	960.3	1611.3	927.7	969.9	383.6	384.7	631.9	1862.5	439.6	776.8	1188.0	196.1
29	390.2	929.2	1495.9	920.0	956.3	367.2	380.3	586.0	1735.2	413.0	773.4	1101.3	180.6
30	397.7	978.7	1518.0	993.3	1021.2	381.7	403.4	595.7	1756.5	418.3	841.7	1120.5	182.3
31	420.5	1065.5	1637.5	1091.5	1113.6	412.9	436.0	644.4	1884.5	446.2	930.1	1213.7	196.9
32	401.9	997.5	1537.8	1016.9	1042.9	388.1	411.1	603.9	1777.4	423.0	863.2	1136.2	184.6
33	411.8	1041.6	1584.0	1072.2	1093.7	402.9	429.1	622.9	1826.1	433.8	913.7	1172.9	189.9
34	385.0	985.8	1404.9	1047.7	1061.8	375.5	418.4	551.6	1629.1	392.5	896.8	1037.8	166.0
35	394.1	915.7	1539.4	881.3	925.3	366.8	369.0	602.7	1784.9	422.8	735.5	1132.4	187.1

A.7. F-G-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	402.1	978.0	1552.3	987.2	1018.6	383.6	402.0	610.8	1794.4	423.0	828.1	1149.0	186.7
2	397.5	981.7	1518.9	994.1	1019.3	382.9	402.8	595.0	1757.1	420.8	846.6	1119.3	182.3
3	399.2	1004.8	1511.0	1031.1	1053.0	388.5	415.2	591.8	1747.4	420.0	884.2	1113.6	181.1
4	403.8	1001.1	1544.3	1024.3	1052.3	389.1	414.4	607.6	1784.7	422.2	865.7	1143.4	185.5
5	380.8	1055.7	1523.6	1005.4	978.2	422.6	380.0	587.7	1744.0	426.3	984.6	1129.7	162.3
6	401.2	955.8	1555.1	998.7	1047.7	381.7	405.7	634.9	1800.4	366.1	795.6	1206.6	177.2
7	404.7	1023.3	1541.6	1012.9	1023.3	391.0	410.7	583.6	1778.8	479.1	898.2	1085.9	195.0
8	422.2	950.3	1531.8	1049.9	1127.2	355.0	449.6	611.7	1788.0	416.0	765.2	1127.3	204.3
9	415.8	930.9	1506.4	1019.7	1094.2	348.8	437.9	599.1	1760.5	414.6	746.2	1103.1	201.0
10	398.3	982.7	1513.8	1042.5	1082.1	386.6	418.9	615.9	1753.3	363.1	851.6	1171.1	171.6
11	385.4	1051.9	1556.9	998.6	977.5	423.3	379.3	603.6	1781.3	428.4	966.1	1159.5	166.8
12	398.3	1003.9	1516.1	982.6	990.3	384.8	399.0	571.0	1751.2	477.8	879.2	1061.8	191.8
13	396.6	959.6	1521.7	1005.5	1048.4	381.1	406.5	619.0	1763.0	363.9	814.1	1176.8	172.7
14	379.1	1032.5	1531.5	968.4	944.5	417.1	367.6	590.9	1753.7	427.1	947.1	1135.4	163.5
15	417.6	954.0	1498.4	1056.7	1127.9	354.3	450.4	595.9	1750.7	413.8	783.7	1097.5	199.9
16	420.5	927.2	1539.7	1012.9	1093.5	349.4	437.2	614.9	1797.8	416.8	727.7	1132.9	205.5
17	403.0	1000.2	1549.5	975.8	989.6	385.5	398.3	586.8	1788.5	479.9	860.7	1091.5	196.2
18	402.9	979.0	1547.1	1035.7	1081.4	387.2	418.2	631.7	1790.6	365.3	833.1	1200.9	176.0
19	400.0	1027.0	1508.2	1019.7	1024.0	390.4	411.5	567.8	1741.4	477.0	916.7	1056.1	190.6
20	383.7	1028.8	1564.8	961.6	943.8	417.7	366.8	606.7	1791.1	429.2	928.6	1165.2	167.9
21	418.4	976.2	1495.6	1045.3	1098.8	356.2	446.6	571.9	1744.8	470.7	816.3	1040.0	209.4
22	419.6	905.0	1542.5	1024.3	1122.5	347.6	440.9	639.0	1803.7	359.9	695.1	1190.4	195.9
23	415.0	908.7	1509.2	1031.1	1123.2	346.9	441.6	623.1	1766.4	357.7	713.6	1160.7	191.5
24	416.7	953.1	1503.6	1008.3	1065.1	350.7	434.2	575.0	1754.5	471.5	778.8	1045.6	210.5
25	379.9	1054.7	1528.7	957.0	915.4	419.0	363.9	566.9	1747.8	484.0	979.6	1077.9	173.0
26	386.3	1074.1	1554.1	987.2	948.4	425.2	375.6	579.5	1775.4	485.4	998.7	1102.0	176.3
27	392.8	985.4	1485.6	1000.9	1020.1	382.3	403.5	579.2	1719.8	418.7	865.1	1089.5	177.8
28	394.5	1008.6	1477.6	1037.9	1053.8	387.8	415.9	576.0	1710.1	417.9	902.7	1083.8	176.7
29	400.4	954.9	1560.2	950.2	984.9	378.1	389.6	614.0	1804.1	423.8	790.6	1154.7	187.9

A.8. F-G-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	398.2	997.0	1544.1	993.6	1011.8	391.5	398.9	603.0	1781.6	429.1	864.9	1137.6	182.8
2	395.8	993.5	1521.0	998.7	1017.2	388.7	400.9	594.7	1756.9	421.7	867.2	1122.0	179.9
3	401.9	989.2	1516.8	1027.4	1060.4	382.6	417.7	599.4	1756.8	410.8	854.9	1126.5	183.1
4	400.8	1005.4	1536.1	1023.6	1046.3	391.7	411.5	603.6	1774.1	420.3	877.9	1138.2	182.3
5	386.1	1038.3	1524.0	1005.0	991.7	412.2	387.5	589.4	1749.4	428.1	950.2	1125.3	168.7
6	397.7	978.8	1547.3	998.5	1030.1	389.3	400.8	620.7	1787.4	388.8	837.3	1179.2	176.4
7	407.1	1003.0	1535.3	1018.0	1043.7	382.5	417.6	590.0	1776.3	458.9	865.0	1097.1	195.2
8	413.8	970.4	1539.2	1032.2	1087.3	369.5	431.8	609.7	1788.5	421.4	805.6	1133.5	196.6
9	409.5	957.4	1519.0	1015.9	1070.0	365.2	425.5	601.2	1766.8	416.9	793.7	1117.7	193.6
10	402.3	968.7	1521.4	1030.0	1077.6	378.8	420.0	616.4	1764.7	374.5	822.0	1165.1	178.4
11	388.8	1038.7	1546.7	1000.6	989.4	413.9	386.3	599.2	1774.2	431.3	942.8	1144.3	171.4
12	405.7	981.4	1520.4	998.3	1029.6	373.6	413.6	584.1	1762.7	456.9	834.5	1082.7	195.9
13	393.6	980.4	1527.7	1002.5	1030.1	390.5	399.6	614.1	1764.9	379.6	849.3	1169.9	171.3
14	388.2	1011.0	1531.4	991.9	993.9	403.7	387.2	601.2	1761.6	410.0	902.7	1147.7	169.7
15	418.0	943.0	1502.0	1049.8	1126.6	351.3	449.2	600.9	1756.0	406.2	764.8	1107.6	199.9
16	412.8	960.5	1539.3	1015.6	1071.4	366.6	426.4	608.7	1789.1	423.7	790.3	1130.7	197.2
17	400.7	989.4	1542.0	980.2	1000.2	384.6	398.7	594.3	1781.3	451.1	849.0	1112.3	189.9
18	406.1	971.0	1530.3	1038.8	1090.6	377.8	425.8	619.9	1775.8	379.0	819.3	1168.8	182.1
19	396.5	1028.4	1512.8	1019.3	1021.1	396.1	406.4	576.5	1744.4	457.3	923.1	1081.4	183.8
20	387.9	1027.7	1563.6	974.2	963.1	413.5	375.9	606.0	1792.2	433.3	922.2	1158.6	172.2
21	409.8	987.7	1506.2	1034.3	1073.4	370.7	430.7	581.8	1749.8	449.7	843.7	1074.9	197.2
22	415.2	929.9	1527.6	1033.2	1114.3	356.1	438.4	624.6	1782.8	373.9	743.1	1164.9	192.6
23	413.9	925.4	1512.2	1024.9	1104.1	351.9	436.9	613.3	1766.5	384.1	739.9	1139.2	194.1
24	410.5	972.6	1510.6	1010.1	1052.3	364.7	424.9	580.2	1756.3	460.3	816.8	1067.3	201.3
25	388.7	1039.4	1531.6	976.7	956.1	407.8	381.0	574.2	1757.6	477.1	944.6	1083.9	180.2
26	392.0	1043.9	1547.0	990.8	974.8	410.0	386.7	585.0	1775.0	469.9	945.4	1105.9	180.9
27	389.9	1005.6	1499.0	1007.2	1015.2	394.3	398.6	585.3	1729.8	415.0	898.6	1109.2	172.7
28	393.7	999.2	1494.2	1032.4	1053.8	390.1	411.8	593.0	1728.1	393.6	886.2	1123.9	172.2
29	392.2	983.3	1552.1	960.1	974.4	393.7	381.8	609.8	1788.1	416.8	848.2	1158.3	177.0

A.9. F-C-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	407.4	968.7	1511.4	1014.4	1058.8	368.3	422.7	591.1	1756.3	431.3	815.4	1097.4	193.6
2	410.8	953.9	1521.2	1025.1	1085.2	364.4	429.8	607.8	1770.5	403.9	786.7	1132.1	192.5
3	399.5	973.9	1547.3	996.0	1030.9	385.6	402.6	619.0	1788.9	394.8	826.9	1172.4	179.6
4	396.2	1001.7	1510.9	1024.3	1044.6	390.6	409.9	595.2	1746.2	409.1	882.9	1124.9	177.0
5	407.1	1003.0	1535.3	1018.0	1043.7	382.5	417.6	590.0	1776.3	458.9	865.0	1097.1	195.2
6	400.1	1009.5	1551.4	1027.1	1049.3	397.6	409.3	615.9	1789.2	405.7	882.9	1168.6	178.4
7	399.2	989.7	1553.2	972.6	990.5	388.3	393.2	601.2	1791.9	445.2	849.0	1129.8	187.5
8	383.8	1042.4	1541.9	978.2	954.5	417.1	374.0	589.6	1765.7	445.7	954.5	1126.9	169.9
9	400.6	988.7	1553.9	993.6	1019.4	389.0	401.1	611.6	1794.1	421.1	847.1	1154.0	184.0
10	416.9	946.8	1522.1	1039.8	1112.4	357.2	441.9	610.3	1775.6	404.3	768.1	1130.3	198.2
11	397.1	1018.1	1521.1	1027.0	1039.0	395.9	409.1	592.5	1755.0	427.4	905.5	1118.2	179.5
12	402.3	968.7	1521.4	1030.0	1077.6	378.8	420.0	616.4	1764.7	374.5	822.0	1165.1	178.4
13	410.0	986.2	1523.6	1042.8	1087.4	375.3	431.3	600.5	1768.6	422.8	838.7	1118.9	192.2
14	393.1	994.7	1544.2	1001.0	1020.3	398.1	395.3	617.6	1779.8	388.3	869.1	1179.3	171.1
15	395.9	982.8	1540.9	976.3	996.7	388.3	392.5	604.1	1778.7	421.5	845.4	1141.3	181.0
16	393.1	988.7	1529.8	990.8	1009.4	392.1	394.6	604.9	1765.4	404.2	861.5	1148.5	174.8
17	389.0	1040.9	1533.5	1011.3	1000.8	412.2	391.4	593.2	1760.5	431.5	948.9	1130.9	171.4
18	406.4	975.2	1528.5	1034.9	1082.7	377.5	424.8	613.2	1773.3	393.8	825.5	1152.6	184.8
19	401.8	990.5	1534.0	1004.8	1031.6	384.4	408.5	599.1	1773.9	430.7	852.3	1124.2	186.7
20	407.8	975.2	1525.5	1000.8	1038.4	371.1	416.7	589.5	1769.9	451.3	821.3	1092.2	197.1
21	408.5	961.7	1534.7	1002.0	1050.1	369.5	417.7	604.6	1781.8	425.2	798.0	1126.0	193.9
22	415.5	922.4	1548.2	1035.2	1124.0	359.1	437.2	645.5	1805.6	345.4	727.7	1213.2	188.0
23	391.5	1017.2	1517.2	996.6	996.4	398.2	393.9	583.2	1747.6	441.5	910.4	1101.9	177.8
24	414.7	958.1	1549.0	1022.8	1084.4	366.9	429.7	618.2	1800.7	412.6	782.8	1150.7	196.8
25	394.5	1034.5	1542.4	1002.6	997.3	405.1	394.5	589.6	1773.0	455.7	929.1	1113.8	181.1

A.10. F-C-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	404.7	971.4	1508.8	1011.2	1051.3	371.2	418.7	590.4	1751.8	427.6	823.5	1099.4	190.5
2	408.1	954.1	1520.1	1018.0	1074.2	366.7	424.6	607.7	1767.9	400.7	790.5	1135.0	189.7
3	401.5	967.2	1548.3	995.1	1035.2	381.8	405.1	620.0	1791.8	395.6	813.6	1171.4	182.0
4	393.5	1004.4	1510.3	1017.6	1032.6	393.6	404.6	594.0	1743.7	408.9	890.6	1125.5	174.5
5	408.2	999.3	1540.8	1018.5	1047.9	381.7	418.6	595.0	1783.1	453.8	856.8	1107.1	195.4
6	401.8	1003.9	1552.9	1028.0	1055.2	394.7	411.8	618.0	1792.4	403.9	871.6	1170.9	180.1
7	397.1	997.4	1553.3	970.1	981.1	392.4	389.3	598.7	1789.9	449.4	863.7	1127.0	185.8
8	382.6	1046.1	1548.8	973.2	945.7	420.5	369.9	591.9	1771.7	446.4	960.4	1133.8	168.6
9	399.0	997.9	1553.8	994.3	1013.6	393.0	398.8	608.8	1792.0	426.4	863.6	1149.9	182.8
10	418.5	939.8	1514.4	1041.3	1118.9	351.9	445.8	606.7	1769.4	406.2	756.5	1119.5	200.6
11	398.9	1014.2	1522.5	1026.0	1041.4	393.0	411.1	592.3	1757.8	431.2	896.6	1114.9	182.1
12	400.8	973.8	1518.0	1034.0	1078.5	381.4	419.5	615.4	1759.9	371.7	832.9	1165.4	176.2
13	411.1	988.1	1516.4	1043.8	1087.3	372.7	433.8	592.3	1761.4	436.0	841.4	1098.4	195.5
14	392.1	1002.2	1545.4	1000.2	1014.0	401.2	393.1	615.2	1779.5	394.3	881.8	1175.5	170.6
15	395.7	986.6	1535.7	979.8	998.2	388.5	393.8	599.9	1772.7	425.9	852.7	1132.0	181.3
16	393.6	985.5	1526.4	994.3	1015.9	390.4	396.9	605.4	1762.5	399.7	856.8	1149.2	174.6
17	386.9	1040.6	1535.8	1008.2	995.9	415.0	387.6	597.3	1761.9	422.3	950.9	1143.0	168.0
18	405.5	975.7	1523.6	1033.9	1080.2	377.4	424.1	610.1	1767.7	395.2	828.3	1146.6	184.3
19	400.9	993.6	1530.4	1008.4	1033.5	385.8	408.7	598.2	1769.5	428.3	859.2	1123.6	185.2
20	409.8	974.3	1523.7	1001.9	1041.4	368.1	419.7	585.7	1769.1	460.5	817.5	1080.5	200.6
21	406.0	967.5	1536.4	995.4	1036.6	373.5	412.1	602.9	1781.4	428.8	809.7	1125.4	192.1
22	412.9	931.4	1540.5	1030.9	1110.4	362.1	433.1	636.4	1795.0	357.0	746.3	1195.6	187.3
23	391.7	1018.3	1516.3	992.4	990.3	397.5	392.9	579.2	1746.5	450.8	911.6	1091.8	179.7
24	412.4	965.5	1543.0	1022.7	1077.7	370.0	427.1	613.0	1792.3	416.4	798.6	1142.3	195.0
25	394.2	1031.1	1539.0	998.3	993.3	403.4	393.6	587.2	1769.7	457.8	924.5	1108.1	181.7

A.11. F-O-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	397.1	1018.1	1521.1	1027.0	1039.0	395.9	409.1	592.5	1755.0	427.4	905.5	1118.2	179.5
2	408.5	1005.1	1518.3	1042.5	1073.5	380.1	428.7	586.9	1759.7	448.7	871.0	1090.0	194.1
3	414.7	958.1	1549.0	1022.8	1084.4	366.9	429.7	618.2	1800.7	412.6	782.8	1150.7	196.8
4	405.2	971.5	1533.3	1002.0	1041.8	375.5	413.2	603.1	1777.3	423.9	818.1	1127.6	190.0
5	399.2	989.7	1553.2	972.6	990.5	388.3	393.2	601.2	1791.9	445.2	849.0	1129.8	187.5
6	393.4	1035.2	1530.4	1032.1	1033.8	407.2	403.7	598.2	1760.7	419.5	936.0	1137.9	173.2
7	401.8	990.5	1534.0	1004.8	1031.6	384.4	408.5	599.1	1773.9	430.7	852.3	1124.2	186.7
8	410.9	944.0	1502.3	1019.9	1082.9	357.0	431.6	596.7	1752.1	411.2	774.2	1105.0	195.0
9	393.1	987.8	1530.0	979.2	994.8	390.6	391.1	599.2	1765.3	418.7	859.2	1134.3	177.7
10	403.0	984.0	1508.2	1022.3	1056.8	377.4	419.1	591.2	1748.9	422.8	846.3	1105.2	186.8
11	383.8	1042.4	1541.9	978.2	954.5	417.1	374.0	589.6	1765.7	445.7	954.5	1126.9	169.9
12	395.7	991.4	1510.3	1016.9	1041.2	387.9	408.0	598.0	1746.5	401.5	867.4	1131.1	176.1
13	399.5	973.9	1547.3	996.0	1030.9	385.6	402.6	619.0	1788.9	394.8	826.9	1172.4	179.6
14	393.7	1009.7	1556.7	1002.5	1014.2	404.0	393.5	617.6	1791.1	402.1	889.5	1179.3	172.6
15	405.8	1002.5	1547.0	1037.5	1070.0	389.1	420.4	612.4	1788.5	414.8	865.6	1152.9	185.6
16	411.8	943.4	1537.1	1028.3	1098.3	365.0	430.5	626.7	1789.1	375.9	766.8	1174.7	188.8
17	407.1	1003.0	1535.3	1018.0	1043.7	382.5	417.6	590.0	1776.3	458.9	865.0	1097.1	195.2
18	394.4	986.2	1535.8	1003.3	1028.7	392.9	399.3	615.7	1772.9	385.1	855.8	1173.0	172.3
19	410.1	960.3	1521.6	1022.8	1077.8	366.5	427.7	604.0	1769.6	413.0	797.4	1124.3	193.1
20	384.4	1042.4	1537.4	998.7	981.3	417.7	381.5	596.5	1761.9	423.6	956.1	1144.1	166.1
21	402.0	985.3	1560.9	994.0	1023.6	388.2	402.3	616.6	1802.6	417.8	838.6	1163.6	184.9
22	409.4	976.5	1523.0	1009.0	1049.0	369.7	421.3	588.4	1768.0	452.5	822.1	1088.1	198.5
23	401.6	955.0	1507.3	1026.1	1079.6	372.8	420.9	613.5	1751.6	366.0	803.9	1158.4	177.7
24	391.5	1017.2	1517.2	996.6	996.4	398.2	393.9	583.2	1747.6	441.5	910.4	1101.9	177.8
25	418.0	943.0	1502.0	1049.8	1126.6	351.3	449.2	600.9	1756.0	406.2	764.8	1107.6	199.9
26	403.8	974.3	1521.0	1031.5	1076.7	378.3	421.9	610.6	1764.3	389.5	828.8	1149.9	182.0

A.12. F-O-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	398.9	1015.1	1522.9	1026.7	1041.8	393.5	411.1	592.5	1758.1	431.0	898.1	1115.7	181.9
2	412.6	988.6	1519.0	1044.6	1089.2	371.7	435.4	591.8	1764.6	441.4	839.9	1095.2	197.7
3	413.3	968.7	1548.4	1022.2	1075.9	370.8	427.1	613.2	1797.8	422.7	801.3	1141.5	196.5
4	405.8	967.6	1533.3	1001.8	1044.5	373.8	414.1	604.4	1778.2	421.2	811.2	1129.7	190.4
5	398.6	991.4	1549.3	972.8	989.0	388.5	392.9	598.3	1787.4	447.5	853.2	1124.0	187.3
6	391.9	1042.7	1531.0	1037.5	1035.2	411.5	402.9	599.5	1759.7	415.2	950.1	1143.9	170.4
7	400.2	996.4	1534.0	1006.5	1029.2	387.9	406.6	599.2	1772.5	428.9	863.8	1127.0	184.5
8	406.8	951.0	1510.4	1008.4	1062.0	364.1	421.7	599.3	1757.3	409.9	788.5	1116.2	190.8
9	394.2	987.4	1529.7	984.3	1002.4	389.6	394.1	600.0	1765.8	417.4	857.3	1134.9	178.4
10	403.8	983.0	1512.5	1020.7	1056.1	377.0	419.0	592.8	1753.9	424.4	842.9	1107.6	187.9
11	388.2	1038.3	1543.5	986.3	970.3	412.0	381.8	590.0	1770.2	450.4	942.3	1122.2	174.8
12	392.8	1002.6	1511.4	1015.7	1031.0	394.1	403.1	596.3	1744.7	403.9	888.4	1131.6	173.1
13	399.1	972.3	1549.7	990.0	1024.1	385.6	400.1	619.2	1791.2	396.7	824.1	1172.8	179.8
14	393.6	1010.3	1561.1	1007.5	1020.7	405.8	394.4	623.4	1795.7	392.6	890.1	1193.3	170.7
15	405.1	998.0	1547.8	1031.8	1065.2	388.5	418.0	614.1	1789.6	411.2	859.0	1157.2	184.7
16	411.9	936.7	1536.1	1025.6	1099.0	362.8	430.6	628.4	1789.0	371.0	756.2	1177.9	188.7
17	403.3	1014.6	1539.4	1012.2	1027.1	390.1	409.9	589.4	1777.1	461.3	887.0	1101.0	191.4
18	393.6	993.0	1537.9	1001.7	1022.0	395.7	397.0	613.5	1773.7	392.0	866.9	1169.0	172.3
19	412.7	955.5	1526.5	1024.2	1084.5	363.6	430.9	607.0	1776.6	413.6	785.7	1127.5	195.7
20	387.3	1035.0	1535.1	1004.9	995.4	412.6	387.7	597.6	1762.1	421.2	941.4	1142.7	168.7
21	400.9	992.1	1557.9	995.5	1020.3	390.5	401.3	612.8	1798.0	422.6	851.2	1156.7	184.2
22	410.3	973.6	1523.0	1003.0	1043.5	367.3	420.8	585.4	1768.7	461.0	815.9	1079.2	201.2
23	401.4	964.7	1504.2	1037.5	1087.9	375.8	423.8	611.7	1747.1	366.3	820.7	1155.8	176.5
24	391.8	1017.9	1516.3	992.5	990.7	397.3	393.1	579.3	1746.6	450.6	910.9	1091.9	179.8
25	420.6	937.4	1507.0	1052.2	1135.1	348.3	452.8	604.9	1763.3	404.3	752.0	1113.2	202.1
26	404.8	974.5	1523.3	1035.8	1083.0	378.2	424.0	613.0	1767.3	387.2	827.7	1154.3	182.3

A.13. P-G-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	410.3	998.4	1596.1	1000.7	1031.6	391.4	405.8	629.1	1841.2	437.9	843.0	1178.7	194.6
2	391.0	984.4	1467.1	1017.7	1040.0	380.6	411.4	573.5	1700.6	405.2	869.3	1084.0	173.1
3	395.5	941.8	1529.2	943.8	977.2	370.3	384.5	601.2	1770.6	421.5	786.6	1126.6	184.9
4	405.8	1041.1	1534.0	1074.6	1094.5	401.7	432.7	601.4	1771.2	421.6	925.7	1136.0	182.8
5	376.2	927.8	1400.2	960.7	985.6	359.5	390.2	545.6	1630.0	388.8	812.9	1031.9	163.4
6	425.1	1055.0	1663.0	1057.6	1086.1	412.5	427.0	657.0	1911.8	454.3	899.4	1230.8	204.3
7	420.5	1097.7	1600.9	1131.5	1149.0	422.8	454.0	629.3	1841.8	437.9	982.1	1188.1	192.5
8	380.7	885.2	1462.3	886.8	922.7	349.2	363.2	573.4	1700.0	405.1	730.2	1074.5	175.2
9	390.9	1092.3	1526.8	1048.0	1063.2	447.1	412.7	571.8	1765.1	423.7	929.3	1124.5	221.4
10	384.8	1069.5	1555.3	1069.8	1071.0	428.1	394.6	619.1	1787.3	403.0	967.8	1177.2	145.3
11	426.7	1012.6	1512.7	1079.4	1118.0	375.3	470.8	583.7	1755.1	440.1	883.6	1094.9	220.3
12	400.0	899.1	1591.4	869.9	914.3	360.1	357.5	629.0	1840.5	437.8	703.9	1169.3	196.7
13	416.4	913.3	1508.0	948.6	1000.7	343.9	422.6	583.5	1754.5	440.1	744.5	1085.5	222.4
14	425.1	947.2	1603.4	1027.2	1062.9	346.1	425.8	658.8	1847.3	435.8	839.4	1190.3	156.1
15	410.3	890.6	1536.5	970.3	1008.5	325.0	404.5	630.9	1776.7	419.4	783.1	1138.2	146.4
16	414.8	955.7	1658.3	926.8	968.7	381.2	378.8	656.9	1911.1	454.2	760.3	1221.4	206.4
17	431.2	969.9	1574.9	1005.5	1055.2	365.0	443.9	611.4	1825.1	456.5	800.9	1137.6	232.1
18	376.1	1035.6	1459.9	991.1	1008.7	426.0	391.4	543.9	1694.5	407.3	872.9	1072.4	211.7
19	386.5	1027.1	1405.0	1091.6	1102.9	390.9	438.4	545.8	1630.7	388.9	952.0	1041.3	161.3
20	441.5	1069.2	1579.6	1136.3	1172.5	396.4	492.1	611.6	1825.7	456.5	940.0	1147.0	230.1
21	389.3	1026.9	1617.4	995.9	1008.1	417.9	367.6	646.9	1857.3	419.3	885.1	1219.8	157.1
22	374.5	970.2	1550.5	939.0	953.6	396.8	346.4	619.0	1786.7	402.9	828.7	1167.8	147.4
23	370.0	1012.9	1488.4	1012.9	1016.5	407.0	373.3	591.2	1716.7	386.6	911.4	1125.1	135.6
24	439.9	1003.8	1670.3	1084.2	1117.4	367.2	447.0	686.6	1917.9	452.1	895.8	1242.4	165.8
25	404.1	1083.5	1684.3	1052.8	1062.5	439.0	388.9	674.7	1927.9	435.7	941.5	1271.9	166.8
26	420.6	989.8	1541.3	1101.1	1125.8	356.4	452.7	631.0	1777.4	419.4	922.1	1147.6	144.3
27	389.4	919.0	1557.8	965.5	984.9	351.4	366.4	648.6	1792.8	400.8	825.1	1179.3	108.9
28	405.8	933.2	1474.4	1044.2	1071.4	335.3	431.4	603.1	1706.8	403.1	865.8	1095.5	134.6
29	391.0	876.6	1407.5	987.3	1016.9	314.2	410.1	575.3	1636.2	386.7	809.4	1043.5	124.9

A.14. P-G-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	409.4	1009.6	1574.1	1017.0	1046.5	394.8	414.6	616.2	1817.5	435.0	859.5	1160.0	198.4
2	395.0	983.0	1481.5	1014.5	1039.7	379.6	413.3	578.9	1717.0	410.9	861.1	1092.3	179.1
3	395.9	955.6	1522.6	954.4	987.3	376.8	390.4	593.8	1763.8	422.5	798.1	1119.1	192.7
4	406.3	1037.9	1541.9	1064.0	1085.7	402.3	429.4	603.2	1780.4	424.6	914.2	1140.3	187.8
5	383.2	933.1	1434.9	978.9	1003.1	357.2	395.3	568.3	1666.0	393.6	827.7	1062.7	153.7
6	424.0	1049.5	1638.3	1056.2	1086.2	409.0	431.5	643.2	1886.2	452.1	893.9	1208.0	209.6
7	421.3	1077.5	1614.4	1097.8	1120.6	417.7	443.8	633.3	1858.2	443.7	943.6	1194.3	201.0
8	382.1	925.3	1461.7	930.3	960.4	365.0	377.4	570.0	1697.7	404.4	780.7	1076.1	177.1
9	395.4	1036.0	1534.6	1010.8	1034.2	417.3	405.0	585.8	1775.0	425.8	874.2	1129.2	210.4
10	394.9	1053.1	1549.0	1068.6	1079.0	414.5	410.9	613.2	1783.8	412.2	944.2	1161.0	162.1
11	414.5	1013.6	1504.9	1061.8	1093.9	383.5	450.3	581.5	1744.7	429.9	885.4	1097.1	207.7
12	401.7	920.3	1576.3	911.4	951.3	363.1	373.7	624.6	1822.7	433.2	746.3	1160.6	189.4
13	401.0	948.3	1506.1	949.9	989.6	371.4	402.1	579.3	1749.1	428.7	779.1	1095.4	212.8
14	418.7	976.6	1607.3	1021.6	1053.7	369.3	416.9	649.7	1851.6	436.7	849.9	1192.6	170.7
15	411.1	918.9	1570.9	962.2	1000.6	346.6	398.4	635.4	1814.8	429.9	783.4	1161.0	167.8
16	412.9	995.3	1646.8	953.0	990.9	401.6	388.0	641.8	1898.6	454.3	795.6	1210.3	220.5
17	420.6	966.0	1545.9	986.1	1032.9	369.7	431.0	594.9	1793.8	447.7	792.9	1116.8	231.3
18	379.3	999.0	1492.4	969.7	989.5	406.2	379.4	572.9	1728.3	408.0	845.3	1104.2	188.9
19	391.7	988.2	1417.0	1063.9	1082.6	370.4	434.4	557.0	1645.1	393.6	909.2	1047.5	158.5
20	422.8	1058.9	1575.4	1085.2	1115.0	407.3	453.2	608.9	1819.6	444.9	916.3	1153.0	218.6
21	396.0	1026.9	1620.0	982.4	1003.1	419.6	376.0	636.1	1864.0	432.0	858.2	1208.1	188.3
22	385.4	983.2	1542.3	974.2	992.8	393.5	373.8	612.0	1779.3	409.9	847.3	1153.3	160.9
23	389.5	1002.2	1535.5	1008.1	1025.1	396.6	390.1	608.6	1771.5	410.1	878.1	1147.4	161.8
24	432.8	988.6	1678.3	1023.2	1061.1	374.5	421.8	679.5	1929.3	457.1	841.5	1242.5	186.2
25	394.1	1087.9	1624.1	1056.8	1062.9	442.6	390.7	642.3	1863.1	423.1	952.8	1224.5	168.7
26	418.3	966.9	1521.3	1063.0	1094.5	350.8	446.0	614.3	1759.1	422.1	877.1	1123.0	162.3
27	389.3	945.2	1515.4	985.6	1006.4	363.4	384.9	614.7	1749.5	401.9	842.0	1135.6	136.4
28	399.9	903.3	1468.9	977.5	1012.3	333.4	409.4	590.7	1704.7	407.7	798.1	1082.4	156.1
29	381.5	883.4	1447.9	943.8	970.0	333.1	377.0	589.2	1678.9	388.7	788.5	1080.2	126.9

A.15. P-C-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	377.2	967.4	1466.7	962.4	983.0	386.8	378.0	570.6	1700.2	399.3	831.8	1087.6	171.0
2	400.6	943.3	1568.4	921.7	960.4	376.3	378.7	612.6	1814.7	434.9	760.9	1150.9	203.4
3	410.1	989.5	1563.3	1011.7	1043.1	382.1	415.4	616.3	1806.1	432.3	847.6	1152.1	190.7
4	398.6	936.6	1495.2	978.2	1010.6	356.6	404.0	593.0	1733.0	414.2	811.1	1101.6	171.9
5	403.5	1024.5	1604.4	1028.5	1048.0	404.0	399.6	640.1	1845.6	427.5	891.5	1199.3	169.9
6	395.8	1014.9	1538.2	1002.0	1026.2	405.2	400.6	595.0	1778.2	423.4	861.7	1135.3	197.3
7	426.8	1071.6	1650.3	1093.5	1118.2	414.0	441.1	654.0	1896.6	450.2	935.3	1223.7	197.0
8	392.2	968.8	1518.9	981.3	1006.4	379.8	391.2	599.9	1756.4	413.2	835.5	1126.4	171.0
9	388.4	1005.0	1465.0	1036.5	1053.8	390.4	413.2	572.2	1696.8	401.6	897.2	1086.3	168.9
10	421.7	1005.6	1644.5	997.3	1034.7	395.0	411.3	646.3	1895.3	455.2	828.9	1208.9	213.7
11	395.0	941.6	1515.8	937.4	973.0	371.7	386.6	589.7	1757.6	422.8	777.7	1111.2	196.3
12	387.6	897.5	1453.3	943.8	975.6	341.1	387.4	579.7	1687.7	400.3	780.0	1073.1	155.8
13	392.5	959.5	1459.8	987.8	1017.3	370.8	408.4	566.6	1695.5	409.7	828.7	1070.6	185.6
14	399.5	1048.5	1524.9	1069.5	1086.1	409.6	425.1	594.9	1760.8	416.9	931.0	1131.4	181.9
15	379.6	960.5	1402.4	1018.3	1035.7	366.2	408.1	552.5	1629.1	384.6	874.8	1040.8	148.4
16	404.0	1003.9	1508.1	1042.1	1067.9	384.9	427.5	590.1	1745.5	419.5	883.0	1111.0	185.4
17	412.0	1018.5	1542.9	1066.2	1091.5	387.0	436.4	609.6	1781.9	426.2	903.7	1140.0	181.9
18	420.6	1025.5	1600.3	1052.8	1083.2	393.9	433.1	631.3	1845.2	442.8	885.6	1179.7	198.1
19	394.0	939.0	1575.5	921.9	953.7	375.2	365.0	626.3	1819.0	425.0	774.5	1168.9	176.2
20	380.7	898.6	1443.3	913.5	946.4	351.2	374.4	565.1	1678.6	400.8	757.4	1060.9	172.0
21	418.6	1082.6	1567.3	1119.4	1140.3	415.6	456.7	610.4	1807.4	435.4	963.4	1156.3	200.6
22	399.3	1005.5	1611.8	978.6	1003.0	405.1	380.6	636.8	1855.8	432.0	843.3	1199.9	184.3

A.16. P-C-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	379.9	976.6	1477.2	965.3	987.0	391.8	381.2	571.6	1712.1	404.3	833.3	1092.8	180.0
2	399.7	957.4	1566.4	938.7	974.0	381.7	382.2	612.4	1811.5	432.3	782.8	1152.3	199.2
3	410.4	983.5	1554.8	1004.7	1038.5	379.6	416.6	610.0	1798.0	433.4	836.7	1142.0	196.9
4	400.5	935.4	1499.0	976.6	1010.5	355.8	405.7	593.6	1737.6	416.8	806.3	1102.5	175.8
5	405.3	1028.4	1595.6	1036.4	1057.0	404.0	406.9	633.9	1836.7	428.5	895.6	1189.5	175.5
6	397.8	1017.7	1537.8	1012.9	1036.8	403.8	406.0	596.2	1777.6	423.5	870.3	1135.3	195.3
7	423.5	1090.0	1641.6	1110.7	1130.7	422.8	443.1	649.2	1885.9	445.7	961.0	1220.3	193.5
8	391.8	975.8	1530.2	986.2	1009.0	383.6	388.8	606.7	1767.6	412.8	845.1	1138.5	166.1
9	389.7	996.4	1458.7	1042.5	1060.1	382.6	417.1	573.8	1689.6	399.3	898.8	1082.7	161.4
10	416.2	1006.6	1641.0	996.5	1029.5	397.3	403.1	648.2	1889.7	448.5	837.8	1212.4	201.4
11	394.8	934.0	1516.7	929.4	966.0	368.8	383.7	590.8	1758.8	423.0	768.5	1111.7	195.6
12	382.0	907.9	1434.1	949.4	977.5	347.9	385.9	568.8	1666.3	394.3	793.9	1060.1	154.5
13	393.4	971.2	1459.6	999.6	1028.1	375.5	413.3	564.8	1695.2	410.4	841.5	1070.0	188.5
14	393.8	1053.3	1526.5	1067.2	1079.1	415.0	415.4	597.9	1760.8	411.5	940.0	1138.8	171.8
15	376.4	957.9	1408.9	999.7	1017.3	370.1	397.8	553.1	1636.5	385.2	861.2	1045.9	151.6
16	403.7	992.3	1502.6	1035.8	1062.7	378.6	426.2	589.8	1739.8	418.0	873.9	1106.8	182.0
17	412.9	1032.1	1551.1	1073.5	1098.0	394.3	438.4	610.5	1790.6	428.7	913.5	1145.7	187.0
18	423.7	1027.9	1610.2	1058.9	1090.0	393.3	436.7	636.6	1855.9	445.5	888.8	1187.0	198.6
19	402.2	928.8	1579.0	936.7	972.0	362.4	378.6	632.9	1823.2	428.4	775.0	1169.5	173.1
20	380.9	908.8	1451.4	907.7	941.7	359.7	372.9	562.6	1688.3	405.4	753.6	1063.7	184.5
21	417.1	1079.8	1547.3	1119.8	1141.1	413.8	459.6	599.6	1786.5	432.8	962.2	1138.9	203.1
22	397.0	1011.2	1600.7	973.0	997.8	410.8	379.8	625.8	1844.8	432.2	839.9	1188.0	194.4

A.17. P-O-E

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	378.5	1047.2	1506.5	1023.8	1032.6	425.6	388.3	582.5	1739.5	403.1	915.9	1125.7	174.5
2	395.0	984.0	1518.4	1001.3	1025.5	384.3	400.9	598.0	1755.8	414.7	854.4	1125.0	174.6
3	407.5	1030.1	1599.5	1031.6	1054.8	405.9	409.0	631.3	1842.2	433.3	887.1	1188.0	186.5
4	392.3	923.6	1542.3	901.3	938.4	369.9	366.7	603.7	1786.1	425.2	746.1	1134.1	192.9
5	420.6	1025.5	1600.3	1052.8	1083.2	393.9	433.1	631.3	1845.2	442.8	885.6	1179.7	198.1
6	409.0	968.9	1584.9	969.3	1005.2	379.6	398.3	624.0	1830.9	438.0	804.6	1166.1	197.8
7	411.1	976.4	1548.9	1023.6	1054.3	369.7	421.3	617.6	1789.5	426.7	854.2	1144.1	176.0
8	405.7	1095.5	1561.8	1066.2	1087.5	441.3	430.4	588.2	1804.2	438.0	929.3	1145.3	231.7
9	437.6	1083.7	1641.3	1142.7	1168.5	406.6	470.7	653.2	1886.8	452.8	969.1	1213.8	196.3
10	404.5	1005.9	1550.0	1011.2	1039.8	394.6	412.0	603.6	1791.8	429.6	856.8	1141.2	198.4
11	388.4	1005.0	1465.0	1036.5	1053.8	390.4	413.2	572.2	1696.8	401.6	897.2	1086.3	168.9
12	404.0	1003.9	1508.1	1042.1	1067.9	384.9	427.5	590.1	1745.5	419.5	883.0	1111.0	185.4
13	428.2	1068.7	1549.5	1139.3	1165.9	398.3	478.9	605.2	1789.8	438.4	962.0	1136.1	203.4
14	410.2	928.6	1534.7	985.0	1022.0	347.1	411.9	616.4	1775.9	424.8	804.1	1130.7	170.5
15	403.6	933.7	1511.8	946.7	988.2	361.7	402.4	587.0	1755.2	429.2	769.9	1100.8	205.9
16	416.4	1031.1	1652.0	1015.9	1045.1	409.1	406.4	651.5	1900.4	449.3	864.2	1223.3	202.0
17	381.2	900.4	1415.7	939.6	970.5	345.2	387.4	556.4	1648.1	394.4	779.8	1041.0	163.4
18	394.9	1053.1	1549.0	1068.6	1079.0	414.5	410.9	613.2	1783.8	412.2	944.2	1161.0	162.1
19	392.6	1004.4	1601.1	946.5	972.4	414.1	367.5	622.0	1846.2	432.6	818.1	1186.9	200.8
20	397.1	947.7	1480.2	982.1	1014.3	363.4	407.9	579.9	1717.6	414.1	816.5	1086.4	182.5
21	412.0	1035.4	1536.5	1078.0	1102.4	395.4	442.2	601.7	1775.3	427.1	917.7	1132.8	190.4
22	416.7	1138.8	1637.3	1144.7	1154.3	449.0	444.5	642.4	1878.5	439.4	1016.7	1223.5	191.7
23	417.8	1078.1	1628.9	1098.7	1116.6	419.1	433.8	646.8	1871.4	438.8	954.4	1214.4	183.2
24	382.1	925.3	1461.7	930.3	960.4	365.0	377.4	570.0	1697.7	404.4	780.7	1076.1	177.1
25	379.6	960.5	1402.4	1018.3	1035.7	366.2	408.1	552.5	1629.1	384.6	874.8	1040.8	148.4

A.18. P-O-R

RHM no.	AV1	AV2	AV3	AV4	AV5	AV6	AV7	AV8	AV9	AV10	AV11	AV12	AV13
1	383.4	1036.9	1502.0	1024.7	1037.7	417.0	396.6	580.4	1735.9	406.6	905.3	1117.4	179.7
2	392.6	983.2	1524.5	993.1	1016.2	386.6	393.8	601.2	1761.9	413.8	850.9	1131.8	172.1
3	405.2	1038.8	1596.8	1040.9	1060.8	410.0	408.4	631.3	1838.2	429.8	902.2	1189.4	180.9
4	392.9	927.3	1549.5	908.4	944.0	370.6	367.1	609.5	1793.1	424.7	754.8	1142.3	187.6
5	425.0	1026.3	1611.5	1060.1	1091.9	391.6	438.5	637.7	1857.4	446.4	887.8	1187.4	198.8
6	406.8	968.1	1585.0	962.5	997.8	381.3	393.5	623.5	1830.8	436.9	801.1	1167.0	197.3
7	412.7	972.7	1554.7	1015.6	1048.6	368.9	420.6	618.4	1796.7	430.2	843.0	1146.0	181.9
8	405.4	1090.8	1557.2	1076.0	1095.4	435.6	432.1	592.3	1797.9	433.4	939.2	1146.1	218.6
9	435.5	1088.5	1648.0	1126.5	1153.3	414.7	463.5	650.0	1895.0	456.1	957.1	1216.2	207.7
10	403.5	1008.3	1547.0	1011.4	1039.5	396.4	411.5	601.3	1788.4	428.9	858.6	1138.8	199.2
11	387.9	996.6	1454.6	1037.5	1054.9	384.4	414.4	570.4	1685.3	398.5	896.1	1079.2	163.1
12	403.1	1005.6	1495.8	1048.1	1073.2	384.5	430.7	584.2	1732.1	417.1	888.9	1101.2	184.9
13	421.0	1067.5	1540.6	1125.0	1148.9	402.9	467.2	600.1	1779.7	433.1	957.7	1132.2	200.1
14	399.7	926.9	1537.5	961.0	993.1	354.9	389.8	618.5	1777.3	417.8	797.6	1139.9	161.0
15	400.7	945.5	1514.0	952.5	990.5	369.1	399.3	587.7	1756.4	426.7	783.9	1105.7	202.6
16	416.0	1011.3	1646.0	999.9	1031.7	399.7	402.5	651.0	1894.7	448.5	843.4	1217.7	199.8
17	380.7	908.1	1424.0	952.1	979.5	347.5	387.0	564.2	1655.3	391.9	797.3	1052.6	153.2
18	397.9	1061.7	1540.2	1082.0	1093.6	416.0	421.5	605.8	1775.1	414.4	952.7	1150.1	170.4
19	394.7	1010.9	1600.6	966.1	990.3	412.9	375.0	625.0	1844.7	431.2	836.5	1188.7	194.3
20	396.0	955.2	1473.8	993.3	1023.3	365.7	410.6	577.6	1710.0	411.4	830.5	1083.3	179.0
21	413.3	1033.1	1553.5	1073.3	1098.0	395.0	438.5	611.2	1793.3	429.5	913.2	1147.3	188.0
22	415.1	1133.0	1604.9	1166.0	1172.7	439.5	453.5	634.2	1842.2	429.7	1035.9	1202.2	176.3
23	419.5	1085.4	1641.7	1096.2	1115.3	424.5	433.6	649.0	1885.8	443.6	952.0	1222.0	191.6
24	381.7	927.4	1461.4	925.5	956.4	367.7	376.5	566.9	1698.0	406.0	776.2	1073.9	183.0
25	375.7	961.1	1410.4	1001.1	1017.8	372.1	396.8	553.8	1637.9	384.7	864.8	1048.1	150.7

Appendix B. Body part classification system

B.1. Anthropometric variable code and name

B.1.1. US Army and US Army Pilot (Gordon et al., 1988)

No.	VARIABLE NAME	No.	VARIABLE NAME	No.	VARIABLE NAME
0	SUBJECT NUMBER	44	EAR LNTH	88	SCYE CIRC-OVER ACROMION
1	ABDOMINAL-EXT-DEPTH-SIT	45	EAR LNTH-ABOVE TRAGION	89	SCYE DEPTH
2	ACROMION HT	46	EAR PROTRUSION	90	SHOULDER CIRC
3	ACROMION HT - SITTING	47	ELBOW CIRC-EXTENDED	91	SHOULDER-ELBOW LNTH
4	ACROMION-RADIALE LNTH	48	ELBOW REST HT	92	SHOULDER LNTH
5	ANKLE CIRC	49	EYE HT-SITTING	93	SITTING HT
6	AXILLA HT	50	FOOT BRTH	94	SPINE TO ELBOW LNTH (SL)
7	ARM CIRC-AXILLARY	51	FOOT LNTH	95	SPINE TO SCYE LNTH (SL)
8	FOOT CIRC	52	FOREARM CIRC-FLEXED	96	SPINE TO WRIST LNTH (SL)
9	INSTEP LNTH	53	FOREARM TO FOREARM BRTH	97	SLEEVE-OUTSEAM LNTH
10	BIACROMIAL BRTH	54	FOREARM-HAND LENTH	98	SPAN
11	ARM CIRC-BICEPS FLEXED	55	FUNCTIONAL LEG LNTH	99	STATURE
12	BIDELTOID BRTH	56	GLUTEAL FURROW HT	100	STRAP LNTH
13	BIMALLEOLAR BRTH	57	HAND BRTH AT METACARPALE	101	SUPRATERNALE HT
14	BISPINOUS BRTH	58	HAND CIRC AT METACARPALE	102	TENTH RIB
15	BITRAGION-MENTON ARC	59	HAND LNTH	103	THIGH CIRC-PROXIMAL
16	BITRAGION-CORONAL ARC	60	HEAD BRTH	104	THIGH CLEARANCE
17	BITRAGION-CRINION ARC	61	HEAD CIRC	105	THUMB BRTH
18	BITRAGION-MINIMUM FRONTAL ARC	62	HEAD LNTH	106	THUMB-TIP REACH
19	BITRAGION-SUBMANDIBULAR ARC	63	HEEL ANKLE CIRC	107	TROCHANTERION HT
20	BITRAGION-SUBNASALE ARC	64	HEEL BRTH	109	VERTICAL TRUNK CIRC
21	BIZYGOMATIC BRTH	65	HIP BRTH	110	WAIST BACK LNTH-NATURAL
22	BUSTPOINT TO BUSTPOINT BRTH	66	HIP BRTH-SITTING	111	WAIST BACK LNTH-OMPHALION
23	BUTTOCK CIRC	67	ILIOCRISTALE HT	112	WAIST BRTH-OMPHALION
24	BUTTOCK DEPTH	68	INTERPUPILLARY DIST	113	WAIST CIRC - NATURAL
25	BUTTOCK HT	69	INTERSCYE DIST	114	WAIST CIRC-OMPHALION
26	BUTTOCK-KNEE LNTH	70	INTERSCYE DIST-MID	115	WAIST DEPTH-OMPHALION
27	BUTTOCK-POPLITEAL LNTH	71	KNEE CIRC	116	WAIST FRONT LNTH-NATURAL
28	CALF CIRC	72	PATELLA-MID HT	117	WAIST FRONT LNTH-OMPHALION
29	CALF HT	73	KNEE HT - SITTING	118	WAIST HT-NATURAL
30	CERVICALE HT	74	LATERAL FEMORAL EPICONDYLE HT	119	WAIST HT-OMPHALION
31	CERVICALE HT-SITTING	75	LATERAL-MALLEOUS HT	120	WAIST HT-NATURAL-SITTING
32	CHEST BRTH	76	THIGH CIRC-DISTAL	121	WAIST HT-UMBILICUS-SITTING

33	CHEST CIRC	77	MENTON TO NASAL ROOT DEP LNTH	122	WAIST HIP LNTH
34	CHEST CIRC-AT SCYE	78	MIDSHOULDER HT-SITTING	123	WAIST NATURAL TO WAIST UMBILICUS
35	CHEST CIRC-BELOW BUST	79	NECK TO BUSTPOINT LNTH	124	WEIGHT
36	CHEST DEPTH	80	NECK CIRC-OVER LARYNX	125	WRIST TO CENTER OF GRIP LNTH
37	CHEST HT	81	NECK CIRC-BASE	126	WRIST CIRC-STYLION
38	CROTCH HT	82	NECK HT-LATERAL	127	WRIST HT
39	CROTCH LNTH-UMBILICUS	83	OVERHEAD REACH	128	WRIST HT-SITTING
40	CROTCH LNTH (NATURAL WAIST)	84	OVERHEAD REACH- EXTENDED	129	WRIST TO INDEX FINGER LNTH
41	CROTCH LNTH-POSTERIOR- NATURAL	85	OVERHEAD REACH SITTING	130	WRIST TO THUMB TIP LNTH
42	CROTCH LNTH-POSTERIOR- OMPHALION	86	POPLITEAL HT-SITTING	131	WRIST TO WALL LNTH
43	EAR BRTH	87	RADIALE-STYLION LNTH	132	WRIST TO WALL LNTH- EXTENDED

* HT: Height, LNTH: Length, CIRC: Circumference, BRTH: Breadth,

B.1.2. Korean Pilot (Jung et al., 2008)

No.	VARIABLE NAME	No.	VARIABLE NAME	No.	VARIABLE NAME
1	키	7	엉덩이둘레	13	넓적다리중간둘레
2	가슴둘레	8	안기장	14	넓적다리둘레
3	등길이	9	무릎높이	15	총길이
4	어깨너비	10	목둘레	16	허리둘레
5	발길이	11	하의장		
6	머리둘레	12	소매길이		

B.2. Classified anthropometric variables

B.2.1. US Army and US Army Pilot (Gordon et al., 1988)

Major class	Sub class	Measurement type	Anthropometric Variable (Var. No.)	
Overall	-	Height	99, 93, 83, 84, 85	
		Weight	124	
Head/Neck	Head	Height	49	
		Length	15, 16, 17, 18, 19, 20, 44, 45, 46, 77	
		Width	21, 43, 60, 68	
		Depth	62	
		Circumference	61	
	Neck	Height	30, 31, 82	
		Circumference	80, 81	
Trunk	Chest	Height	6, 37, 78, 101	
		Length	79, 92, 100, 116, 117	
		Width	10, 12, 22, 32	
		Depth	36	
		Circumference	33, 34, 35, 88, 90	
	Abdomen	Height	102, 118, 119, 120, 121	
		Length	123	
		Width	112	
		Depth	1, 115	
			Circumference	113, 114
	Back	Length	69, 70, 89, 95, 110, 111	
	Pelvis/Perineum	Height	38, 67	
		Length	39, 40	
		Width	14	
Combined	Length	41, 42		
	Circumference	109		
Arm/Hand	Upper Arm/Shoulder	Height	2, 3	
		Length	4, 91, 94	
		Circumference	7, 11	
	Forearm/Elbow	Height	48	
		Length	87	
		Circumference	47, 52	
	Hand/Wrist	Height	127, 128	
		Length	59, 125, 129, 130	
		Width	57, 105	
			Circumference	58, 126
Combined	Length	54, 96, 97, 98, 106, 131, 132		
	Width	53		
Leg/Foot	Upper Leg/Hip	Height	25, 56, 107	
		Length	122	
		Width	65, 66	
		Depth	24, 104	
			Circumference	23, 76, 103
	Lower Leg/Knee	Height	29, 72, 73, 86	
		Circumference	28, 71	
	Foot/Ankle	Height	74, 75	
		Length	9, 51	
		Width	13, 50, 64	
		Circumference	5, 8, 63	
	Combined	Length	26, 27, 55	

B.2.2. Korean Pilot (Jung et al., 2008)

Major class	Sub class	Measurement type	Anthropometric Variable (Var. No.)
Overall	-	Height	1
Head/Neck	Head	Circumference	6
	Neck	Height	15
		Circumference	10
Trunk	Chest	Width	4
		Circumference	2
	Abdomen	Circumference	16
	Back	Length	3
Arm/Hand	Combined	Length	12
Leg/Foot	Upper Leg/Hip	Circumference	7, 13, 14
	Lower Leg/Knee	Height	9
	Foot/Ankle	Length	5
	Combined	Length	8, 11