

가상환경상의 인간공학적 제품설계를 위한 인체모델군 생성기법 개발 및 적용

류태범[†] · 정인준 · 유희천 · 김광재

포항공과대학교 산업공학과

Development and Application of a Generation Method of Human Models for Ergonomic Product Design in Virtual Environment

Taebeum Ryu, In-Jun Jung, Heecheon You, Kwang-Jae Kim

Department of Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, 790-784

A group of digital human models with various sizes which properly represents a population under consideration is needed in the design process of an ergonomic product in virtual environment. The present study proposes a two-step method which produces a representative group of human models in terms of stature and weight. The proposed method first generates a designated number of pairs of stature and weight within an accommodation range from the bivariate normal distribution of stature and weight of the target population. Then, from each pair of stature and weight, the method determines the sizes of body segments by using 'hierarchical' regression models and corresponding prediction distributions of individual values. The suggested method was applied to the 1988 US Army anthropometric survey data and implemented to a web-based system which generates a representative group of human models for the following parameters: nationality, gender, accommodation percentage, and number of human models.

Keywords: ergonomic design, virtual environment, human model generation, bivariate normal distribution, hierarchical regression

1. 서론

컴퓨터 상의 인간공학적 설계지원 시스템은 가상 인체모델을 사용하여 제품 설계 과정의 효율성을 제고시켜준다. 인간공학적 설계 시스템은 설계된 자동차 운전석, 비행기 조정석, 제조 작업장 등을 컴퓨터 상에 가시화하고, 생성된 가상인체 모델을 활용하여 도달성, 시계성, 거주성 등과 같은 인간공학적 사항을 평가하여 설계 문제점을 진단 및 수정한다. 이와 같은 가상환경 상의 인체모델을 이용한 제품설계는 인간공학적 평가, 진단 및 설계 수정의 순환적 설계과정을 신속하고 경제적으로 이루어지도록 한다.

지정된 범위의 인구를 수용하는 적합한 제품 설계를 위해서는 설계 대상 인구를 대표하는 다양한 크기를 가진 인체모델들이 필요한데, 기존 인간공학적 설계 시스템은 통계적 대표성이 결여된 소수의 인체모델만을 제공한다. 설계된 제품이 대상 인구를 타당하게 수용하는지 파악하기 위해서는 인구의 인체크기 특성을 반영한 다양한 크기의 인체모델을 이용한 제품 평가가 필요하다. 그러나, JACK, RAMSIS, SAFEWORK 등과 같은 기존 인간공학적 설계지원 시스템은 신장의 평균과 한계점에 위치한 5, 50, 95 백분위 수에 해당하는 인체모델 생성을 제공하고 있다(Case *et al.*, 1990; Fortin *et al.*, 1990; McDaniel, 1990; Sengupta and Das, 1997).

본 연구는 2001년도 (주)NGV의 2003년 차세대 자동차 기술 선행연구과제로 수행되었음.

[†]연락처 : 류태범, 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산 31 포항공과대학교 산업공학과, Fax : 054-279-2870,

E-mail : tbryu@postech.ac.kr

또한, 설계 대상 인구의 다양한 인체크기를 대표하는 인체 모델군을 생성하는 기존 방법들은 대상인구의 다양한 인체크기 및 비율을 반영하지 못하는 한계를 보이고 있다. Bittner *et al.* (1987)과 Bittner (2000)는 요인분석 기법을 이용하여 인구의 인체크기 분포의 경계에 위치한 인체모델들을 생성하는 방법을 제안하였다. 이 요인방법은 여러 인체변수들의 다변량 분포를 몇 개의 요인으로 나타내고 분포의 특정 수용범위를 나타내는 경계에 해당하는 소수의 인체모델을 생성하여 수용범위 내에 있을 수 있는 인체크기의 다양성을 고려하지 못한다. 또한, 목표하는 수용범위 경계는 시각적 표현의 한계인 3차원 이하에서 규정될 수 있으므로, 3개 이하의 요인으로 표현된 인체크기 분포에서만 정확히 설정될 수 있다. 그 밖에 Eynard *et al.* (2000)은 군집분석을 이용하여 신장, 체중, 몸통 길이 및 다리 길이에 의해 대상 인구를 5가지 인체유형으로 분류하고 각 인체유형에서 평균에 해당하는 인체모델의 생성 방법을 제안하였다. 그러나 이 군집방법은 각 인체유형에서 1개씩의 인체모델만을 생성하여 대상 인구의 다양한 인체크기를 대표하는 데 한계를 갖는다.

본 연구는 설계대상 인구를 통계적으로 대표하고 인구의 인체크기 특성을 반영하는 다양한 크기의 인체모델군을 생성하는 방법을 제안하였다. 제안된 인체모델군 생성기법은 신장과 체중의 이변량 분포를 기반으로 지정된 수용범위의 설계대상 인구를 대표하는 신장과 체중값들을 형성한다. 그리고, 이들 각 신장과 체중값으로부터 인체모델의 세부 인체부위 크기를 계층적 회귀모형(2.2절 참조)을 적용하여 결정한다. 개발된 인체모델군 생성기법은 인구의 수용범위와 생성될 모델의 수를 기반으로 인체모델군을 자동적으로 생성하는 웹 기반 시스템 개발에 적용되었다.

2. 인체모델군 생성기법

본 연구의 인체모델군 생성기법은 신장과 체중의 이변량 분포에서 임의의 신장과 체중값을 생성하는 방법과 이들 신장과 체중에 기반하여 인체모델의 인체변수들을 계층적 회귀모형으로 예측하는 방법으로 구성된다(<그림 1> 참조).

먼저, 신장과 체중 임의변량 생성기법은 목표 수용범위와 인체모델의 수를 입력받아 인체모델군의 신장과 체중 값들을 생성한다. 그리고, 신장과 체중 기반 인체변수 계층적 회귀모형은 생성된 신장과 체중값을 입력받아 어깨높이, 허리높이, 앉은 키 같은 인체모델의 여러 인체변수들의 값을 예측한다.

2.1 신장과 체중의 임의변량 생성 방법

인체모델군의 신장과 체중은 1) 대상 인구의 인체측정자료에서 신장과 체중의 이변량 정규분포를 파악하고, 2) 파악된 이변량 정규분포를 사용하여 생성된 임의의 신장과 체중값이

설정된 인구 수용범위 내에 있는지 평가하여 입력된 인체모델의 수만큼 생성된다(<그림 2> 참조). 첫째, 신장과 체중의 이변량 정규분포는 설계대상 인구의 인체측정자료에서 신장과 체중의 평균, 분산, 그리고 상관계수를 산출함으로써 파악된다. 일반적으로 신장, 체중의 분포는 정규분포로 알려져 있다 (Roebuck, 1975). 본 연구는 신장과 체중의 분포를 이변량 정규분포로 가정하였는데, 1988년 US Army 남성 인체자료의 경우 χ^2 분포적합도 검정 결과 신장과 체중 분포는 평균이 175.6cm, 78.5kg 이고 분산이 44.7, 123.5이며 상관계수가 0.5인 이변량 정규분포를 따르는 것으로 나타났다($\chi^2 = 9.66, p = 0.379$).

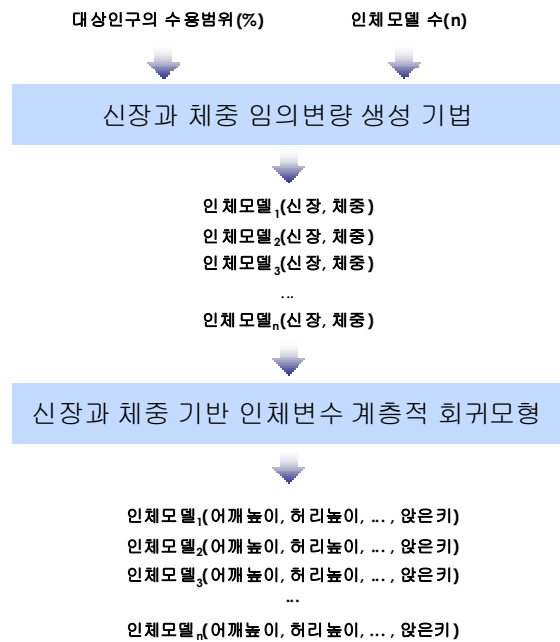


그림 1. 인체모델군 생성 절차.

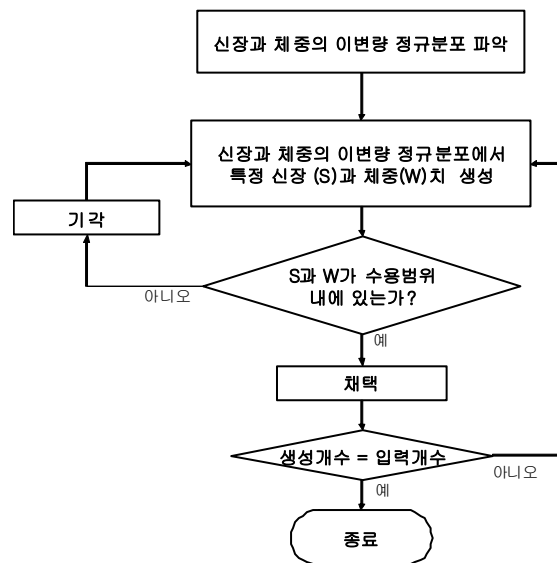


그림 2. 신장과 체중의 임의변량 생성 절차.

둘째, 파악된 이변량 정규분포에서 생성된 임의의 신장과 체중은 대상 인구의 이변량 분포에서 설정된 수용범위 내에 있을 경우 인체모델의 신장과 체중으로 채택된다. 생성된 신장과 체중이 특정 수용범위 내 위치 여부는 신장, 체중값과 분포 중심 간의 표준화된 제곱 거리(normalized squared distance)를 이용하여 판단될 수 있다. 이변량 정규분포에서 임의로 생성된 신장과 체중이 분포의 100p % (수용비율 $p = 0 \sim 1$)를 수용하는 범위 내에 있는 경우 식 (1)과 같이 신장, 체중값과 분포 중심 간의 제곱 거리가 $\chi^2(1-p)$ 보다 작아야 한다(Jonson & Wichern, 1988).

$$(S - \mu_s \quad W - \mu_w) \begin{pmatrix} \sigma_s^2 & \sigma_{sw} \\ \sigma_{sw} & \sigma_w^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S - \mu_s \\ W - \mu_w \end{pmatrix} \leq \chi^2(1-p) \quad (1)$$

단, S = 신장, W = 체중, p = 인구수용 비율

이때, $\chi^2(1-p)$ 는 자유도 2의 카이제곱 분포의 상위 100(1-p) 백분위수로서 이변량 정규분포에서 100p %를 수용하는 경계선과 분포중심 사이의 제곱 거리를 나타낸다. 예를 들어, 1988년 US Army 남성 인체자료에서 파악된 신장과 체중의 이변량 분포로부터 임의의 생성된 (182cm, 60kg)과 (171cm, 90kg)의 분포 중심(175.6cm, 78.5kg)에 대한 제곱 거리는 6.28과 3.31이고, 분포 중심에서 90% 수용범위 경계 간 제곱 거리는 4.61이므로 이 값보다 작은 (171cm, 90kg)가 설정된 수용범위 내부값으로 파악된다. 본 신장과 체중 임의변량 생성기법을 사용하여 1988년 US Army의 이변량 정규분포에서 90% 수용범위 내에 있는 1,000개의 신장과 체중값을 생성한 결과는 <그림 3>과 같다.

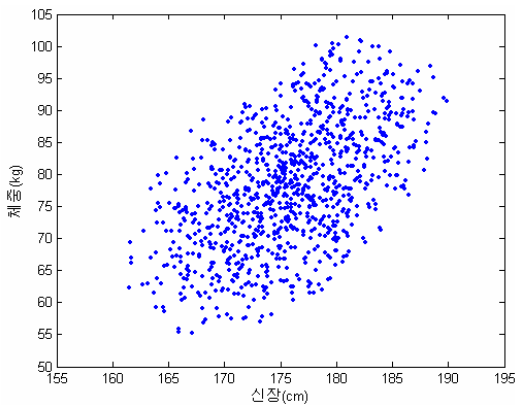


그림 3. 1988년 US Army 남성에 대한 90% 수용범위 내 1,000개의 신장과 체중 임의변량 생성.

2.2 인체변수 임의변량 생성 방법

생성된 신장과 체중값으로부터 인체모델의 다른 인체변수들의 값을 생성하는 방법은 1) 인체변수의 계층적 회귀모형의 개발과 2) 개발된 회귀모형의 예측치 분포를 이용한 임의변량

생성으로 이루어진다. 첫째, 인체변수 계층적 회귀모형은 여러 인체변수들을 단계적으로 추정하는 모형으로 인체변수 간 연관관계를 이용한 계층적 추정구조에 따라 개발된다(류태범 and 유희천, 게재 예정).

인체변수의 계층적 추정구조란 특정 인체변수와 이 변수로부터 추정되는 다른 인체변수의 관계를 계층적으로 표현한 구조를 의미한다. 예를 들어, <그림 4(a)>의 다리 부위 5개 인체변수들 중 신장에서 대퇴골기 높이를, 대퇴골기 높이에서 윗다리 길이와 무릎중앙 높이를, 그리고 무릎중앙 높이에서 종아리 길이와 바깥복사점 높이를 단계적으로 추정한다면 계층적 추정 구조는 <그림 4(b)>와 같이 구성된다.

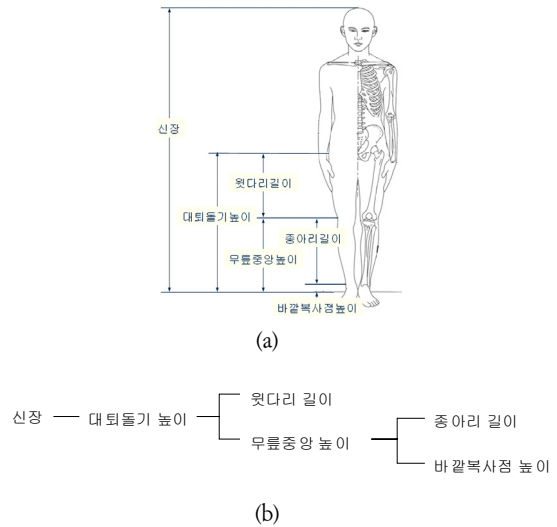


그림 4. 인체변수 계층적 추정구조 - 다리부위(예).

계층적 추정구조에 따라 개발된 계층적 회귀모형은 신장 또는 체중만으로 다른 인체변수를 일괄적으로 추정하는 기존 회귀모형보다 상대적으로 정확한 추정을 할 수 있다. 1988년 US Army 인체자료를 이용하여 개발된 류태범 & 유희천(게재 예정)의 계층적 회귀모형은 Annis & McConville (1996)의 단층적 회귀모형에 비해 비교대상 총 19개 변수 중 16개 변수에 대해 표준오차(standard error)가 평균적으로 28% (1 ~ 69%) 감소하고 모형 적합도(adj-R²)는 38%(0 ~ 107%) 증가하는 결과를 보였다.

둘째, 인체모델의 인체변수 임의변량은 개발된 계층적 회귀모형의 예측치 정규분포 식 (2)를 이용하여 생성된다. 먼저, 생성된 신장과 체중으로부터 계층적 추정 구조에 따라 인체변수들의 값을 예측하고, 이들 예측치의 정규분포에서 인체변수들의 임의변량을 생성한다. 이러한 인체변수 임의변량 생성 방법은 동일한 신장과 체중에 대해 다양한 크기의 인체변수값을 갖는 인체모델 생성을 가능하게 한다. 예를 들어, 1988년 US Army의 남성 인체측정자료에 대해 신장과 체중을 사용한 어깨 높이 회귀모형은

$$\text{어깨높이} = -101.311 + 0.863 \times \text{신장} + 0.036 \text{ 체중}$$

이고, 관련 어깨높이 예측치 분포는

$$N(-101.311 + 0.863 \times \text{신장} + 0.036 \times \text{체중}, 256.08(1 + 0.43 - 0.0004 \times \text{신장}))$$

이다. 도출된 어깨높이 예측치 분포를 사용하여 신장과 체중이 175.6cm, 78.5kg인 인체모델에 대해 100개의 어깨높이를 임의 생성하면 <그림 5>와 같다.

$$N(\hat{\beta}'x_{new}, MSE(1 + x'_{new}(X'X)^{-1}x_{new})) \quad (2)$$

단, $\hat{\beta}$ = 회귀모형 계수 열, MSE = mean squared error x_{new} = 독립변수의 특정치 열, X = 독립변수 측정치 행렬

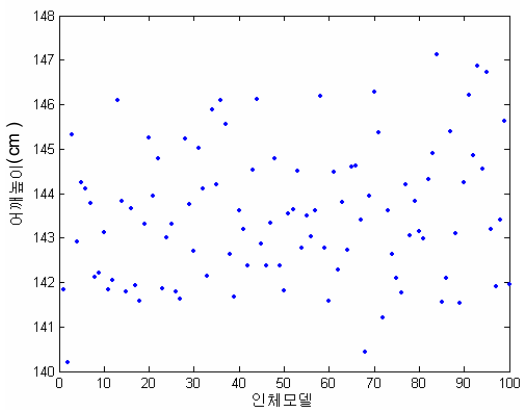


그림 5. 인체모델의 어깨높이 생성 (예 : 신장 = 175.6cm, 체중 = 78.5kg인 경우).

3. 인체모델군 생성 시스템

본 연구의 인체모델군 생성방법은 자동차 내장 설계에 이용되는 인체모델들을 자동적으로 생성하는 웹 기반 시스템 개발에 적용되었다. 인체모델의 인체변수들로 자동차 내장 설계와 관련된 59개 인체변수들이 선정되었고, 1988년 US Army 인체측정자료가 계층적 회귀모형 개발에 활용되었다. 대상 인구의 이변량 분포에서 인체모델의 신장과 체중을 생성하는 기법과 생성된 신장과 체중을 기반으로 계층적 회귀모형을 이용하여 인체변수들의 값을 생성하는 기법은 MatLab 프로그램으로 구현되어 웹 시스템에 연동되었다.

인체모델군 생성 시스템은 설계대상인구를 대표하는 인체모델군을 간단한 입력 정보에 의해 자동적으로 생성해 주고, 생성된 인체모델의 인체변수들의 값을 가시화해 준다. 예시된 <그림 6>의 인체모델군 생성 시스템은 설계대상 국가, 성별, 수용 범위 및 모델 수의 네 가지 입력 정보를 받아 인체모델군을 자동적으로 생성한다. 또한, 생성시스템은 각 인체모델의 부위별 인체변수 값들을 제공하여 주고 VRML(Virtual Reality Modelling Language)을 사용하여 3차원 형상으로 가시화해 준다.

4. 토론

본 연구는 인체측정조사에서 기본적으로 측정되는 신장과 체중을 기반으로 인구의 수용범위를 설정하고 제품 설계의 평가에 필요한 다양한 크기의 인체모델을 생성할 수 있었다. 기존 인체모델 생성방법들은 신장의 일부 백분위 수(5, 50, 95)에 해



그림 6. 인체모델군 생성 시스템.

당하는 인체모형을 확률적 비율을 사용하여 생성하거나, 인구의 수용범위의 경계에 있는 일부 인체모형을 요인분석을 통해 생성하며, 또는 군집분석으로 파악된 5가지 인체유형의 평균 인체모형을 생성하였다. 이러한 방법에 의해 생성된 소수의 인체모형들은 인구의 다양한 인체크기를 대표하지 못하므로, 다양한 인체크기의 사용자들에 대한 제품 설계 및 평가에 적용한계가 있다. 본 연구는 인체측정조사에서 기본적으로 측정되고 인체골격의 크기와 근육 및 피부조직의 부피를 나타내는 신장과 체중의 이변량 정규분포를 사용하여 인구의 수용범위를 정의하였다. 그리고, 인구의 수용범위 경계 및 내부의 신장과 체중값으로 제품 설계의 평가에 필요한 다양한 인체크기와 비율을 갖는 인체모형을 생성할 수 있었다.

인체변수 회귀모형의 예측치 분포에 따른 인체변수의 임의변량 생성방법은 다양한 인체비율의 인체모형 생성을 가능하게 하였다. 인체모형의 인체변수는 예측 분포에서 임의로 생성되어 신장과 체중이 같은 인체모형들도 서로 다른 인체비율을 갖게 되었다. 기존의 인간공학설계 지원 시스템은 확률적 인체비율을 사용하여 신장과 체중이 같은 인체모형의 인체변수들이 모두 같은 값을 갖게 하므로 현실에 존재할 수 있는 다양한 인체비율을 고려할 수 없다.

본 연구의 인체모형 생성방법을 적용하여 개발된 인체모형군 생성 시스템은 간단한 생성조건의 입력으로 특정 인구의 수용범위를 대표하는 인체모형군을 용이하게 생성할 수 있었다. 인체모형군 생성 시스템은 설계대상 국가, 성별, 수용범위, 그리고 생성모형 수의 입력으로 인체변수들의 값을 생성하고 VRML로 인체모형을 시각화하며, 인체부위별로 인체변수값을 제공한다. 또한, 현재 1988년 US Army 인체자료를 기반으로 개발된 시스템은 다양한 인구의 인체측정조사 결과를 추가하여 여러 인구를 대표하는 인체모형군을 생성할 수 있도록 확장될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 신장과 체중의 임의변량 생성기법과 인체변수의 임의변량 생성기법으로 구성된 인구의 인체크기를 대표하는 인체모형군을 생성하는 통계적 기법을 제안하였다. 신장과 체중의 임의변량 생성기법은 대상 인구의 신장과 체중 이변량 정규분포에서 특정 수용범위 내의 임의의 신장과 체중값을 인체모형의 수만큼 생성한다. 그리고, 인체변수 임의변량 생성기법은 생성된 각 신장과 체중값을 기반으로 인체변수 계층적 회귀모형의 예측치 분포를 이용하여 인체변수의 임의 값을 생성한다.

본 연구의 인체모형군 생성기법은 웹 기반의 인체모형군 자

동 생성 시스템 개발에 적용되었다. 인체모형군 생성 시스템은 1988년 US Army의 인체측정자료를 기반으로 자동차 내장 설계용 인체모형군을 생성하기 위해 개발되었다. 본 시스템은 설계대상 인구의 국가, 성별, 수용범위 및 인체모형 수의 간단한 생성조건을 입력받아 인구의 특정 수용범위를 대표하는 인체모형을 생성하고 가시화하며 인체변수들의 값을 인체부위별로 제공한다.

참고 문헌

- Ryu, T. & You, H. (in press). Development and application of a hierarchical estimation method for anthropometric variables. *Journal of the Ergonomic Society of Korea*.
- Annis, J. F., & McConville, J. T. (1996). Anthropometry. In A. Bhattacharya & J. D. McGlothlin (Eds.), *Occupational ergonomics: Theory and application* (pp. 1-46). New York: Dekker.
- Anthropology Group of the Material Human Factors Branch, Behavioral Sciences Division, SATD, U.S. Army Natick Research Development and Engineering Center. (1988). 1988 Anthropometric survey U.S. ARMY [Data file]. Available from National Technical Information Service Web site, <http://www.ntis.gov>
- Eynard, E., Fubini, E., Masali, M., (2000). Generation of virtual man models representative of different body proportions and application to ergonomic design of vehicles, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 44th annual meeting*, San Diego, California, 489-492.
- Bittner, A.C., Glenn, F.A., Harris, R.M., Iavecchia, H.P. Wherry, R.J. (1987). CADRE: A family of manikins for workstation design. In S.S. Asfour (Ed.) *Trends in Ergonomics/Human factors IV* (pp. 733-740). North Holland: Elsevier Science Publishers B.V.
- Bittner, A. C. (2000). A-CADRE: Advanced family of manikins for workstation design, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomic Society 44th annual meeting, San Diego, California*, 774-777.
- Case, K., Porter, J. M., & Bonney, M. C. (1990). SAMMIE: A man and workplace modeling system. In W. Karwowski, A. Genaidy, & S.S. Asfour (Eds.), *Computer aided ergonomics* (pp. 31-56). London: Taylor & Francis.
- Fortin, C., Gilbert, R., Beuter, A., Laurent, F., Schiettekatte, J., & Carrier, R. et al. (1990). SAFEWORK: A microcomputer-aided workstation design and analysis. New advances and future development. In W. Karwowski, A. Genaidy, & S.S. Asfour (Eds.), *Computer aided ergonomics* (pp. 157-180). London: Taylor & Francis.
- Johnson, R. A. & Wichern, D. W. (1988). *Applied multivariate statistical analysis* (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- McDanlel, J.W. (1990). Models for ergonomic analysis and design: COMBIMAN and CREW CHIEF. In W. Karwowski, A. Genaidy, & S.S. Asfour (Eds.), *Computer aided ergonomics* (pp. 138-156). London: Taylor & Francis.
- Roebuck, J. A., Kroemer, K. H. E., & Thomson, W. G. (1975). *Engineering anthropometry methods*. New York: Wiley-Interscience.
- Sengupta, A. K., & Das, B. (1997). Human: An AutoCad based three dimensional anthropometric human model for workstation design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 345-352.