

마네킨 설계 파라메타 분석연구

Development of Methods of Constructing Family of Manikin

김진호* · 황민철*

Jin-Ho Kim* · Min-Cheol Whang*

Abstract

Equipment designer should consider how many people and what range of percentiles will be used as design criteria. The usual practice is to select some large range of the accommodation, such as 5th-95th percentiles. There is difficulty in defining 95% accommodation of population in complex design problems which involve several body dimensions. This paper develops the methods of constructing family of manikins which are validated for population accommodation. They are analyzed by the interactions or relationships between body dimensions. Proposed manikin family represents multivariate body dimensions. Moreover, nine manikin families are determined for representative Korean of 30-50 aged by proposed manikin family. Their 2-D CAD modelings are developed for bio-mechanical and ergonomic applications.

1. 서론

일반적으로 제품을 설계하기 위하여 사용자의 신체 특성치를 고려하게 되는데 가능한 많은 사람이 불편하지 않도록 큰 사람과 작은 사람을 고려하여야 한다. 그러나 인체는 다양하기 때문에 큰 사람과 작은 사람의 신체치수를 정의하기가 어렵다. 그래서 인체 부

위의 특징을 잘 나타내는 마네킨의 개발 (family on cadre of manikins)이 필요하며 여러 체형을 대표할 수 있도록 다양한 크기의 마네킨을 구성하여야 한다. 수십년 전부터 각종 신체 치수를 변화시킬 수 있는 마네킨에 대한 요구가 있어 왔다[1, 9]. Roebuck 등[1]은 워크스테이션에 잘 맞도록 "hybrid percentile men"(manikins)라는 개념을 처음으로 도

* 한국표준과학연구원

입하였다. 그러나 hybrid family를 체계적으로 조직화하지는 못하였다. 또 Bittner[1]는 마네킨의 family를 구성하는 개념을 최초로 제안하였다. 그는 인체측정자료 분포를 다변량 정규분포로 근사시켜 마네킨을 분류하였는데 다변량 타원체(Multi-dimensional ellipsoids)를 설정하여 사용자 집단의 특정 체형 그룹을 대표할 수 있도록 하였다. 그는 마네킨 구성을 위하여 선택된 13개 인체부위들은 서로가 관련성이 있다는 사실에 근거하여 주성분분석으로 3-4개의 인자를 추출한 뒤 해석하였다.

Bittner 등[2]은 작업대 설계(workstation design)용 마네킨을 개발하는데 필요한 19개 인체부위의 치수를 제안하였다. 사용자의 여러 체형을 반영하기 위하여 17개 종류의 마네킨 그룹을 구성한 뒤 각 그룹의 설계치수(basis of cadre or family of 17 manikins)를 제시하였다. 먼저 19개 인체부위에 대하여 주성분 인자분석(principal factor analysis)을 실시하여 4개의 인자(four factors)를 유도하였다. 4개 인자가 구성하는 4차원 타원체 면 값(surface of a four-dimensional ellipsoid values)과 중심값(centroid values)에 위치한 17개 표준점수(standard score descriptions)를 구하고 그 표준점수를 각 마네킨의 표준점수로 하였다. 타원에 위치한 값은 ± 1.3517 의 조합으로 구성하고 중심값은 (0, 0, 0, 0)을 갖게 하였다. 이들 값에 대응되는 19개 인체부위의 표준정규점수를 구한 뒤 표준정규분포에서 백분위수로 환산하였다. 그리고 각 부위의 백분위수를 추정하여 마네킨의 설계치수로 사용하였다.

그러나 일반적으로 인자분석을 실시하면

추출된 인자는 연관성이 높은 변수들끼리 묶어지고, 전체 변동에 대한 각 인자가 차지하는 변동은 차이가 있게 나타난다. 표준점수를 모든 인자에 일률적으로 동일하게 선택하면 각 인자의 기여도(contribution of each factor for total variation)를 반영할 수 없게 된다. 또 설계에 사용자 수용도(accommodation of a population)는 변하지 않고 특정한 부위만을 반영할 수 있는 마네킨을 만들 수 없게 된다.

본 연구에서는 마네킨 설계의 기본인 인체부위의 크기를 결정하는 방법을 연구하였다. 제안된 마네킨 그룹은 인자의 기여도를 반영하여 개발되었다. 따라서 이 그룹들은 다양한 체형을 대표할 수 있다. 또, 제안된 방법을 적용하면 사용자의 전체 수용도(accommodation)는 변화시키지 않고 특정한 부위의 수용도의 범위를 조절할 수 있는 마네킨도 개발할 수 있다. 작업공간 설계 등에 이용될 수 있는 한국인에 대한 마네킨 설계치수도 제안하였으며, 이들 치수를 설계에 직접 응용할 수 있도록 2차원 CAD 마네킨을 모델링하였다.

2. 인체부위 선정 및 상관분석

인체부위는 제품 설계에서 사용자의 신체 특성치를 반영하는 중요한 요소(parameter)이다. 체형을 대표할 수 있는 마네킨을 설계하기 위해서는 관련된 인체부위를 선택하여 설계요소에 포함시켜야 한다. 인체부위의 종류나 갯수는 마네킨의 사용 목적에 따라 달라진다. Harris 와 Iavecchia[5]는 오퍼레이터의 Link-model를 구하기 위하여 14개 부위를 사

용하였다. Essex[4]는 비행기 승무원석 설계에 필요한 부위를 제시하였으며 Bittner 등[2]은 이들을 종합하여 Workstation 설계용 마네킨 그룹 구성에 필요한 19개 부위를 제시하였다.

SAE-2DM은 미국의 SAE(Society of Automotive Engineers)에 의해 규정된 것으로 구조, 형상 등이 모두 SAE 규격에 맞추어 제작되고 있다. 일본의 JSAE-2DM은 일본인 성인 남자를 기준으로 한 인체모형으로써 일본의 각종 자료를 토대로 자동차기술회 인간공학연구회 인체계측분과에서 작성한 것이다. 본 연구에서는 앞에서 언급한 모형을 토대로 한국형 마네킨의 개발에 필요한 25개 인체부위가 선택되었다.

선정된 인체부위를 모두 고려한 마네킨을 만들려면 그 종류가 매우 많아야 한다. 따라서 가능한 경제적인 비용과 사용의 편리성을 감안하여 적절한 마네킨의 종류로 인체의 특성을 대표할 수 있기를 바라게 된다. 서론에서 언급하였듯이 인체부위는 통계적인 특성을 가지게 된다. 또 부위들간의 상관관계가 존재하기 때문에 상관관계를 이용하여 분석할 수 있다. 본 연구에서는 Bittner 등[1, 2]이 제안한 인자분석을 이용하여 차원을 축소하여 마네킨 종류를 결정하였다.

우선 기존에 조사된 인체측정 자료에서 선정된 부위들간의 표본상관계수 행렬을 추정 ($\Sigma : p \times p$ 행렬, p 는 선정된 인체부위 수)한다. 다음 단계로 인자분석(factor analysis)을 실시하여 m 개의 인자를[12] 추출한다. 인자패턴행렬(factor loading) $L(p \times m$ 행렬)을 구하고 인자에 대한 개념상 해석이 가능한 구조로 변환시키기 위하여 회전된 인자패턴행렬

($L^* : p \times m$ 행렬)을 구한다. 그러면 p 개의 인체부위 보다 적은 m 개의 인자에 의해 해석이 가능하게 되므로 보다 단순해진다. 즉, m 개의 인자가 구성하는 조합을 이용하여 체형을 대표하는 마네킨 그룹을 만들 수 있다.

3. 마네킨 설계치수 도출

앞에서 정의한 인자모형은 m ($\ll p$) 개의 인자 F_1, F_2, \dots, F_m 라 부르는 확률변수를 고려할 때, 원래의 각 변수들은 관찰할 수 없는 인자들의 선형결합(linear combination)과 그 변수에만 영향을 미치는 특수한 인자(specific factor)의 합으로 표현된다고 가정한 것이다. 마네킨의 설계치수를 만들려면 관찰할 수 없는 인자의 값을 직접 사용할 수 없고 인자의 값에 대응하는 값에 대응하는 수치를 구하여야 한다.

먼저 인자에 대응되는 표준정규점수(standard normal score, $s : p \times 1$ 벡터)는 회전된 인자패턴행렬(L^*)에 임의의 벡터($v : m \times 1$)를 곱하여 구한다. 즉,

$$s = L^* v. \tag{3-1}$$

v 의 i 번째 값은 i 번째 인자의 중심에서 타원체까지의 거리(size of ellipsoid)를 나타내는 것으로 그 값이 크면 사용자의 수용도(population accommodation)가 높아지고 반대로 적으면 수용도가 낮아진다. 즉 v 는 m 차원의 타원체 면(surface of a m -dimensional ellipsoid)에 위치하는 값이다[1, 2]. Bittner 등[2]은 v 의 원소가 ± 1.3517 또는 모든 원소가 0의 값(타원체의 중심)을 갖도록 제안하였다.

0은 인체측정치가 모두 평균을 갖도록 만든다.

일반적으로 인자분석을 실시하면 각 인자가 차지하는 공헌도(공통분산의 비율)가 각기 다르게 나타난다. Bittner 등[2]이 제안한 수치는 인자의 공헌도를 고려하지 않은 것이다. 인간공학적인 설계의 목적은 제품이나 물건(product or layout)이 사용자 중 원하는 비율을 만족시키는 것이다. 그러므로 사용자의 수용도를 변화할 수 있는 v 를 선택하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 v 를 선택하는 방법을 제안하였다. 먼저 각 인자의 값이 너무 크거나 작아서 나타날 수 있는 불편 비율을 생각해 보자. 이는 식 (3-2)와 같이 나타날 수 있다.

$$\Pr[F_1 \in \chi_{v_1}] : \Pr[F_2 \in \chi_{v_2}] : \dots : \Pr[F_m \in \chi_{v_m}] = w_1 : w_2 : \dots : w_m, \quad (3-2)$$

여기서 F_i 는 i 번째 인자 ($i=1,2,\dots,m$)이고 χ_{v_i} 는 i 인자의 양쪽 꼬리 부분, 즉, $\chi_{v_i} = (-\infty, v_i)$ 또는 $(v_i, +\infty)$, w_i 는 i 인자의 불편 비율이다.

또 m 인자에 의해 나타나는 전체의 수용도 (accommodation of a population)는 식 (3-3)과 같이 고려될 수 있다.

$$\Pr[F_1 \in \chi_{v_1} \text{ or } F_2 \in \chi_{v_2} \text{ or } \dots \text{ or } F_m \in \chi_{v_m}] = \alpha, \quad (3-3)$$

여기서 α 는 수용할 수 없는 집단의 비율 (unaccommodated proportion of a population), 즉, 적어도 하나의 인자로 인해 불편을 겪게 되는 비율이다.

m 인자모형에서 i 인자의 공헌도(total common variance due to the i th factor)는 $\hat{\lambda}_i/m$, (여기서 $\hat{\lambda}_i, i=1,2,\dots,p, \hat{\Sigma}$ 의 고유치)이다. 공헌도가 큰 인자는 설계에서 다른 것보다 상대적으로 영향을 크게 고려하여야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 인자의 공헌도를 고려한 가중치(w_i)를 고려하였다. 즉, 인자의 공헌도와 불편 비율은 반비례하면서 공헌도의 영향을 어느 정도 둔감시키는 가중치(w_i)는

$$w_i = \frac{1}{\sqrt{\hat{\lambda}_i}}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3-4)$$

로 제안하였다. 그러면 전체 수용도의 크기인 α 가 주어지면 식 (3-2)와 (3-3)에 의해 $\Pr[F_i \in \chi_{v_i}] = \alpha_i^*$ 이 구해진다.

인자모형에서는 $E(F) = 0, Cov(F) = I$ 로 가정하였다. 따라서 v 의 v_i 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$v_i = \Phi^{-1}(\alpha_i^*), \quad (3-5)$$

여기서 Φ 는 누적표준정규분포이다.

앞에서 v_i 는 인자의 공헌도에 비례하는 가중치(식 (3-4))에 의하여 구하였다. 그러나 목적에 따라 다른 가중치를 부여할 수 있다. 즉 마네킨이 사용되는 분야에 따라 특수한 가중치를 부여할 수 있다. 회전된 인자패턴행렬은 적재값이 높은 부위들에 의해 해석될 수 있으므로 각 인자는 그와 상관관계가 높은 부위들을 대표한다고 할 수 있다. 그러므로 어떤 측정치가 디자인에 중요한 파라메타라면 그와 관련이 높은 인자에 높은 가중치를

준다. 그러면 중요한 부위로 인해 불편을 겪게 되는 비율이 적게 되므로 마네킨의 효율은 높게 될 것이다. 그렇지만 전체의 수용도는 변하지 않으므로 경제적인 비용은 감소되지 않는다.

동일한 인체부위가 사용되더라도 수용도는 다르게 결정될 수 있다. 1개의 부위만을 고려할 때, 어떤 치수는 제 1백분위수-제 99백분위수의 범위가 사용될 수도 있고 집단의 90%가 만족하는 제 5-95백분위수가 이용될 수 있다. 수용도의 최소범위와 경제적인 요소를 고려하여 결정하여야 하며 일반적으로 이용자의 90%가 만족할 수 있도록 장비가 설계되어야 하며 가능하다면 95% 이상이 만족하면 더 좋다. 부위가 2개 이상 사용되면 수용도를 고려한 범위를 결정하는데 어려움을 따르게 된다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법을 이용하면 수용도를 변화시키지 않고 각 부위의 범위를 결정할 수 있다. 불편률의 크기가 α 이므로 0.1~0.2로 선택하는 것이 바람직할 것이다.

4. 한국형 마네킨의 설계치수

본 연구에서는 Bittner[2]가 제안한 19개 부위와 JSAE-2DM에서 사용한 26개 부위[6, 11, 14]를 토대로 하고 마네킨의 관절을 잘 연결시키거나 기능을 보강시키기 위하여 필요한 부위를 첨가하여 마네킨 개발을 위하여 다음과 같이 25개 인체부위를 선정하였다.

- | | |
|-----------|----------|
| 1) 키 | 2) 몸무게 |
| 3) 눈높이 | 4) 목뒤높이 |
| 5) 대퇴돌기높이 | 6) 몸통너비 |
| 7) 가슴너비 | 8) 엉덩이너비 |

- | | |
|----------------|--------------|
| 9) 가슴두께 | 10) 배두께 |
| 11) 앞으로뺨은 손끝길이 | 12) 앉은키 |
| 13) 앉은눈높이 | 14) 앉은어깨높이 |
| 15) 앉은팔꿈치높이 | 16) 앉은무릎높이 |
| 17) 앉은오금높이 | 18) 앉은넓적다리두께 |
| 19) 엉덩이 무릎길이 | 20) 엉덩이 오금길이 |
| 21) 어깨점 팔꿈치길이 | 22) 팔꿈치 손끝길이 |
| 23) 뒤허리 발뒤꿈치길이 | 24) 손길이 |
| 25) 발길이 | |

이들 25개 부위는 선자세높이 부위가 4개, 너비, 두께 5개 부위, 앉은자세 9개 부위, 팔 3개 부위, 몸무게, 기타 3개 부위로 구성되어 있다.

본 연구에서 사용된 인체측정자료는 제 3차 국민인체측정조사 자료[14]로서 30-50세 남자 766명, 여자 764명이었다. 남녀별로 인자분석을 한 결과 남녀 모두 3개의 인자가 추출되었다. 총 변동(total variation)에 대한 인자들의 설명률은 남자가 64.3%, 18.4%, 11.0% 이었으며 여자는 59.2%, 25.4%, 11.6% 이었다. 표 1은 회전된 인자패턴행렬 (I^* : 25×3 행렬)을 나타낸 것이다. 제 1인자는 “선자세 높이부위”, 제 2인자는 “너비, 두께부위”, 제 3인자는 “앉은자세 높이부위”를 대변한다고 할 수 있다.

3 개의 인자를 이용하여 한국인의 마네킨을 다음과 같이 개발하였다. 먼저 식 (3-2)에서 $\alpha_i^* = \Pr [F_i \in \chi_{\alpha_i}] = w_i \alpha$, $i = 1, 2, 3, (\alpha > 0)$ 이 얻어진다. 전체 수용도를 $\alpha = 0.10$ 라 두면 식 (3-3)에 의해 식 (3-6)이 얻어진다.

$$(w_1 w_2 w_3) a^3 - (w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3) a^2 + (w_1 + w_2 + w_3) a - 0.10 = 0. \quad (3-6)$$

표 1. 한국 성인(30-50세)에 대한 25개 부위의 회전된 인자적재값 및 공통성

인체부위	남자				여자			
	FACTOR			COMMUNALITY	FACTOR			COMMUNALITY
	1	2	3		1	2	3	
1) 키	0.82	0.12	0.40	0.855	0.85	-0.03	0.41	0.898
2) 눈높이	0.84	0.13	0.42	0.906	0.83	-0.06	0.40	0.866
3) 목뒤높이	0.80	0.04	0.31	0.749	0.84	-0.02	0.35	0.834
4) 대퇴골기높이	0.71	0.03	0.19	0.554	0.81	-0.12	0.13	0.693
5) 몸통너비	0.15	0.75	0.10	0.610	0.14	0.70	0.12	0.527
6) 가슴너비	0.14	0.73	0.10	0.573	-0.01	0.82	0.03	0.675
7) 엉덩이너비	0.32	0.66	0.20	0.595	0.18	0.67	0.06	0.494
8) 가슴두께	0.07	0.74	-0.01	0.558	-0.04	0.85	-0.01	0.725
9) 배두께	-0.03	0.81	0.03	0.664	-0.04	0.88	-0.06	0.795
10) 앞으로뻗은 손끝길이	0.59	0.19	0.10	0.403	0.65	0.16	0.03	0.453
11) 앞은키	0.43	0.15	0.77	0.812	0.45	0.02	0.74	0.771
12) 앞은눈높이	0.38	0.14	0.74	0.728	0.40	0.05	0.74	0.723
13) 앞은어깨높이	0.30	0.19	0.74	0.682	0.25	0.13	0.72	0.607
14) 앞은팔꿈치높이	-0.09	0.12	0.77	0.621	-0.12	0.08	0.77	0.623
15) 앞은무릎높이	0.84	0.16	0.13	0.758	0.83	0.15	0.12	0.730
16) 앞은오금높이	0.73	-0.05	0.01	0.541	0.76	0.02	0.08	0.596
17) 앞은넓적다리두께	0.12	0.50	0.17	0.303	0.18	0.61	0.06	0.410
18) 엉덩이 무릎길이	0.71	0.29	0.03	0.605	0.67	0.31	0.04	0.560
19) 엉덩이 오금길이	0.67	0.17	0.06	0.485	0.61	0.34	0.02	0.500
20) 뒤허리 발뒤꿈치길이	0.74	0.24	0.26	0.693	0.75	0.14	0.21	0.636
21) 어깨점 팔꿈치길이	0.78	0.17	0.07	0.652	0.74	0.08	-0.02	0.563
22) 팔꿈치 손끝길이	0.82	0.11	0.05	0.692	0.76	0.11	0.05	0.604
23) 손길이	0.65	0.19	0.10	0.477	0.56	0.08	0.08	0.337
24) 발길이	0.55	0.19	0.12	0.364	0.58	0.16	0.21	0.421
25) 몸무게	0.32	0.80	0.19	0.784	0.25	0.86	0.17	0.840

이 얻어진다. 남자에 대하여 가중치는 식 (3-4)에 의해 $w_1 = \frac{1}{\sqrt{0.643}} = 1.247$, $w_2 = \frac{1}{\sqrt{0.184}} = 2.331$, $w_3 = \frac{1}{\sqrt{0.110}} = 3.015$ 로 구해지고 식 (3-6)의 해를 구하면 $a = 0.0157$ 가 된다. 따라서, 식 (3-5)에 의해 $v_1 = \phi^{-1}(1.247 \times 0.0157) \approx 2.063$, $v_2 \approx 1.792$, $v_3 \approx 1.672$ 가 각각 구해진다.

여자에 대해서도 동일한 방법으로 구해지며 $w_1 = 1.300$, $w_2 = 1.984$, $w_3 = 2.933$ 로 얻어지고 식 (3-6)에서 $a = 0.0166$, 식 (3-5)에서 v_1 , v_2 , v_3 는 2.022, 1.839, 1.657로 각각 구하여진다.

본 연구에서는 남녀별로 9개의 마네킨 그룹을 제안하였다. 식 (3-1)에 의해 표준정규

점수(s)를 구하였는데 v의 v_i는 위에서 구한 v_i의 ±v_i 조합, 또는 0을 갖도록 하였다. 즉, 남자 마네킨 1의 v는 (2.063, 1.792, 1.672)^T, 마네킨 2는 (2.063, 1.792, -1.672)^T, ... , 마네킨 9는 (0, 0, 0)^T를 갖는다.

표 2는 표준정규점수를 그에 대응되는 백

분위수 (Read, 1985)로 변환한 것을 나타낸 것이다. 9개의 마네킨에 대한 특징을 나타내면 아래와 같다. 인자 1(F₁)은 선자세 높이부위, 길이부위를 나타내는 척도(measure)이고, 인자 2(F₂)는 너비부위, 두께부위를 나타내는 척도, 인자 3(F₃)은 앉은자세 높이부위를 나

표 2. 한국인 성인(30-50세)에 대한 25개 인체부위의 마네킨 설계 백분위수

인 체 부 위	남 자									여 자								
	마네킨 그룹									마네킨 그룹								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1) 키	99.5	88.9	98.5	78.6	21.4	1.5	11.1	0.5	50.0	99.1	83.4	99.3	86.1	13.9	0.7	16.6	0.9	50.0
2) 눈높이	99.6	90.0	98.6	78.4	21.6	1.4	10.0	0.4	50.0	98.8	82.1	99.3	87.3	12.7	0.7	17.9	1.2	50.0
3) 목뒤높이	98.9	88.9	98.2	85.2	14.8	1.8	11.1	1.1	50.0	98.7	85.4	99.0	87.6	12.4	1.0	14.6	1.3	50.0
4) 대퇴돌기높이	96.9	89.0	95.9	86.3	13.7	4.1	11.0	3.1	50.0	94.9	88.5	98.2	95.1	4.9	1.8	11.5	5.1	50.0
5) 몸통너비	96.9	93.5	19.6	11.4	88.6	80.4	6.5	3.1	50.0	96.3	91.6	21.2	11.5	88.5	78.8	8.4	3.7	50.0
6) 가슴너비	96.4	92.4	20.1	11.5	88.5	79.9	7.6	3.6	50.0	93.9	92.2	7.0	5.5	94.5	93.0	7.8	6.1	50.0
7) 엉덩이너비	98.6	93.8	42.4	19.4	80.6	57.6	6.2	1.4	50.0	95.7	93.5	22.1	16.5	83.5	77.9	6.5	4.3	50.0
8) 가슴두께	92.8	93.5	11.5	12.6	87.4	88.5	6.5	7.2	50.0	92.5	93.4	4.6	5.2	94.8	95.4	6.6	7.5	50.0
9) 배두께	92.5	90.9	6.9	5.7	94.3	93.1	9.1	7.5	50.0	92.4	95.0	3.3	5.3	94.7	96.7	5.0	7.6	50.0
10) 앞으로벤은 손끝길이	96.0	92.0	85.2	75.7	24.3	14.8	8.0	4.0	50.0	95.3	94.0	86.0	83.1	16.9	14.0	6.0	4.7	50.0
11) 앉은키	99.3	45.3	97.2	24.6	75.4	2.8	54.7	0.7	50.0	98.7	39.7	98.3	35.8	64.2	1.7	60.3	1.3	50.0
12) 앉은눈높이	98.9	42.1	96.2	23.1	76.9	3.8	57.9	1.1	50.0	98.4	37.4	97.5	30.2	69.8	2.5	62.6	1.6	50.0
13) 앉은어깨높이	98.7	40.2	93.5	16.7	83.3	6.5	59.8	1.3	50.0	97.4	32.4	92.9	17.4	82.6	7.1	67.6	2.6	50.0
14) 앉은팔꿈치높이	90.8	10.5	80.6	4.3	95.7	19.4	89.5	9.2	50.0	88.4	8.5	81.0	4.5	95.5	19.0	91.5	11.6	50.0
15) 앉은무릎높이	98.8	96.5	95.3	89.0	11.0	4.7	3.5	1.2	50.0	98.5	96.1	94.5	88.4	11.6	5.5	3.9	1.5	50.0
16) 앉은오금높이	92.7	91.8	94.9	94.2	5.8	5.1	8.2	7.3	50.0	95.8	92.8	95.0	91.5	8.5	5.0	7.2	4.2	50.0
17) 앉은넓적다리두께	92.8	81.3	36.1	17.7	82.3	63.9	18.7	7.2	50.0	94.5	91.8	25.7	19.6	80.4	74.3	8.2	5.5	50.0
18) 엉덩이 무릎길이	98.1	97.5	84.5	81.7	18.3	15.5	2.5	1.9	50.0	97.9	96.9	80.9	76.4	23.6	19.1	3.1	2.1	50.0
19) 엉덩이 오금길이	96.5	94.5	87.9	83.1	16.9	12.1	5.5	3.5	50.0	97.2	96.8	74.1	71.8	28.2	25.9	3.2	2.8	50.0
20) 뒤허리 발뒤꿈치길이	99.3	93.8	93.9	74.3	25.7	6.1	6.2	0.7	50.0	98.4	92.3	94.7	81.5	18.5	5.3	7.7	1.6	50.0
21) 어깨점 팔꿈치길이	98.0	96.5	92.5	88.4	11.6	7.5	3.5	2.0	50.0	94.7	95.6	90.5	91.8	8.2	9.5	4.4	5.3	50.0
22) 팔꿈치 손끝길이	97.7	96.5	94.3	91.8	8.2	5.7	3.5	2.3	50.0	96.9	95.3	92.3	89.2	10.8	7.7	4.7	3.1	50.0
23) 손길이	97.0	93.7	87.9	79.3	20.7	12.1	6.3	3.0	50.0	92.6	88.0	87.0	80.3	19.7	13.0	12.0	7.4	50.0
24) 발길이	95.6	90.2	84.4	72.6	27.4	15.6	9.8	4.4	50.0	96.8	87.4	89.2	70.1	29.9	10.8	12.6	3.2	50.0
25) 몸무게	99.2	96.2	32.8	13.5	86.5	67.2	3.8	0.8	50.0	99.2	96.5	21.5	8.7	91.3	78.5	3.5	0.8	50.0

타내는 척도이다.

- (a) Manikin 1: F_1 , F_2 , F_3 이 모두 큰 값, 즉 신체가 키, 몸무게, 앉은키 등이 모두 큰 사람을 대표하는 마네킨.
- (b) Manikin 2: F_1 , F_2 는 크지만 F_3 는 적은 값, 즉 앉은키 등 앉은자세의 높이부위가 작은 사람을 대표하는 마네킨
- (c) Manikin 3: F_1 는 크고, F_2 는 적고, F_3 는 큰 값
- (d) Manikin 4: F_1 는 크고, F_2 , F_3 는 적은 값
- (e) Manikin 5: F_1 는 적고, F_2 , F_3 는 큰 값
- (f) Manikin 6: F_1 은 적고, F_2 는 크고, F_3 는 적은 값
- (g) Manikin 7: F_1 , F_2 는 적고, F_3 는 큰 값
- (h) Manikin 8: F_1 , F_2 , F_3 모두 적은 값
- (i) Manikin 9: 모든 부위가 평균을 가지는 사람을 대표하는 마네킨

마네킨 9를 제외하고 각 마네킨은 90%의 수용도를 가지게 된다. 전체적으로 3개의 인자 중 어느 인자 하나가 적거나 커서 불편을 겪게 되는 사람의 비율은 약 10%정도가 될 것이다. 표 2는 한국인 성인에 대한 25개 인체부위의 마네킨 설계 백분위수를 나타낸 것이고 표 3은 제 3차 국민인체측정조사 자료를 이용하여 표 2에 대응되는 한국인 남자 마네킨 설계치수를 구한 것이다.

표 3에 나타난 인체치수를 제3차 국민인체측정조사 자료를 이용하여 마네킨 1에 대하여 분석하였다. 25개 부위중 최소한 한 부위 이상이 표 3의 값 보다 같거나 큰 사람은 전체 중 약 36.5%에 해당하였다. 그러나 키의 수용도 즉, 키가 이 값 보다 작은 사람의 비율은 약 99.5%, 가슴두께의 수용도는 92.8%, 앉은팔꿈치높이의 수용도는 90.8%였다. 키는

인자 1, 가슴두께는 인자 2, 앉은팔꿈치높이는 인자 3과 관련이 깊은 부위이다.

위에서 제안한 표 2와 표 3의 마네킨 치수는 주로 작업공간이나 시스템의 조절범위(예, 작업역, 조종장치의 조절범위, 시야범위 등)를 결정하거나 평가하는데 응용될 수 있다. 3개 이상의 인체 부위가 디자인에 고려될 때 이를 대표할 수 있는 사람의 선정은 불가능하다[1]. 이때 다양한 신체 체형을 대표하는 마네킨을 이용하여 제품이나 시스템을 평가하면 만족 또는 불만족한 사용자 집단을 체형별로 모두 파악할 수 있을 것이다. 마네킨 9는 여러 가지 제약조건으로 인하여 단 하나의 규격으로 제품이나 시스템의 치수가 고정되어 있을 때 이들 제품을 설계하거나 평가하는데 응용될 수 있을 것이다.

앞에서 언급하였듯이 마네킨의 목적에 따라 가중치 (w_i)를 달리 주어 목적에 맞는 마네킨을 만들 수 있다. 예를 들어 VDT 워크스테이션 설계에 필요한 마네킨을 생각하여 보자. 이때 w_3 에 대한 가중치를 w_1 과 w_2 보다 크게(w_1 과 w_2 보다 작은 w_3) 주게 되면 앉은자세의 높이 부위의 조절범위는 커지게 된다. 그러면 워크스테이션의 높이가 너무 작거나 커서 불편을 겪게 되는 사람은 상대적으로 매우 적게 될 것이다. 그러나 마네킨 자체의 수용도는 변함이 없다.

표 3의 인체측정치를 바탕으로 앉은자세와 선자세를 동시에 2-D CAD로 모델링하였다. 모델링은 ANSYS(Swanson Analysis System, Inc., Ver. 5.0) 프로그램 중 preprocessing 기능만을 이용하였으며 그림 1과 같다. 그림 1은 마네킨을 Family 1에서 9까지 남녀별로 모델링하였다. 그림 1은 가로 2m, 세로 2m인

표 3. 한국인 성인(30-50세)에 대한 마네킨 설계치수

인 체 부 위	남 자									여 자								
	마네킨 그룹									마네킨 그룹								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1) 키	182.1	174.6	179.8	172.3	163.6	156.1	161.2	153.7	167.9	167.4	160.6	168.0	161.2	150.4	143.5	150.9	144.1	155.8
2) 눈높이	169.8	162.7	167.3	160.3	152.4	145.3	149.9	142.8	156.3	155.8	149.4	156.9	150.5	139.5	133.0	140.5	134.1	145.0
3) 목뒤높이	156.2	150.7	155.3	149.8	138.9	133.4	138.0	132.5	144.3	143.0	137.6	143.5	138.0	127.3	121.8	127.8	122.3	132.7
4) 대퇴돌기높이	88.8	86.2	88.3	85.7	76.9	74.3	76.3	73.7	81.3	80.6	79.1	82.2	80.7	69.4	68.0	71.0	69.5	75.1
5) 몸통너비	50.8	49.8	43.3	42.4	48.9	48.0	41.5	40.5	45.7	47.9	46.7	40.0	38.7	46.1	44.9	38.2	37.0	42.4
6) 가슴너비	33.1	32.4	28.1	27.4	32.0	31.3	27.0	26.3	29.7	31.0	30.7	24.8	24.5	31.1	30.8	24.9	24.6	27.8
7) 엉덩이너비	35.8	34.7	31.9	30.8	33.6	32.5	29.7	28.6	32.2	35.0	34.6	30.5	30.1	33.7	33.3	29.2	28.8	31.9
8) 가슴두께	24.9	25.0	19.7	19.8	24.3	24.4	19.1	19.2	22.0	25.9	26.1	18.1	18.3	26.3	26.5	18.5	18.7	22.3
9) 배두께	24.9	24.7	18.4	18.2	25.3	25.0	18.7	18.5	21.7	25.0	25.5	16.8	17.3	25.4	26.0	17.2	17.8	21.4
10) 앞으로뻗은 손끝길이	87.3	86.1	84.8	83.5	78.4	77.2	75.9	74.6	81.0	82.2	81.8	80.2	79.9	73.5	73.1	71.5	71.1	76.7
11) 앉은키	98.5	90.9	96.8	89.2	93.2	85.7	91.6	84.0	91.2	91.9	84.5	91.5	84.2	86.3	79.0	86.0	78.7	85.3
12) 앉은눈높이	87.1	79.2	85.4	77.6	82.2	74.3	80.5	72.6	79.9	80.9	74.0	80.3	73.4	76.3	69.5	75.8	68.9	74.9
13) 앉은어깨높이	66.6	59.7	64.6	57.7	63.1	56.2	61.1	54.2	60.4	61.3	55.6	60.2	54.4	58.9	53.2	57.8	52.0	56.7
14) 앉은팔꿈치높이	29.9	24.0	28.9	22.9	30.8	24.9	29.8	23.8	26.9	28.3	22.7	27.6	22.0	29.4	23.8	28.7	23.1	25.7
15) 앉은무릎높이	54.2	53.2	53.0	52.0	47.0	46.0	45.8	44.8	49.5	49.7	48.9	48.6	47.9	43.4	42.6	42.4	41.6	45.6
16) 앉은오금높이	43.6	43.5	44.0	43.8	37.5	37.3	37.8	37.7	40.7	39.8	39.3	39.6	39.2	34.6	34.1	34.4	34.0	36.9
17) 앉은넓적다리두께	16.0	15.2	13.4	12.6	15.3	14.4	12.6	11.8	13.9	15.8	15.5	12.9	12.7	14.8	14.6	12.0	11.7	13.7
18) 엉덩이 무릎길이	60.0	59.7	57.3	57.0	52.4	52.2	49.7	49.5	54.7	57.0	56.6	54.3	54.0	50.6	50.3	48.0	47.6	52.3
19) 엉덩이 오금길이	49.9	49.4	48.4	47.9	43.2	42.6	41.6	41.1	45.5	48.3	48.2	45.5	45.3	42.8	42.6	39.9	39.8	44.1
20) 뒤통리 발뒤꿈치길이	115.2	111.4	111.4	107.7	102.2	98.4	98.5	94.7	104.9	107.5	104.3	105.1	101.9	93.8	90.5	91.4	88.2	97.8
21) 어깨점 팔꿈치길이	36.8	36.5	35.9	35.6	32.3	32.0	31.5	31.1	34.0	33.7	33.8	33.3	33.4	29.5	29.6	29.0	29.1	31.4
22) 팔꿈치 손끝길이	47.5	47.2	46.7	46.4	41.6	41.2	40.8	40.5	44.0	43.5	43.1	42.7	42.4	38.2	37.9	37.4	37.1	40.3
23) 손길이	19.5	19.3	19.0	18.7	17.4	17.2	16.9	16.6	18.1	18.1	17.8	17.8	17.6	16.3	16.1	16.0	15.8	16.9
24) 발길이	26.6	26.1	25.8	25.3	23.9	23.5	23.2	22.7	24.6	24.5	23.8	23.9	23.2	22.2	21.5	21.6	21.0	22.7
25) 몸무게	87.1	81.6	63.3	57.9	76.1	70.7	52.4	46.9	67.0	73.2	69.2	50.9	46.9	66.0	62.0	43.7	39.6	56.4

기준 상자 (reference box) 안에 그려졌다. 이 모델링은 앞서 기술한 25개 점을 모델 기준 점으로 이용하여 모델링에 필요한 모든 점을 1차 선형방정식화 하였다. 그러므로 모델 기

준점 25개 만을 변환하면 모든 치수의 마네킨도 설계할 수 있다. 앞으로 이 모델링을 이용하여 3-D로 발전시킬 계획이며 인체구조에 대한 구조역학적 분석도 병행할 예정이다.

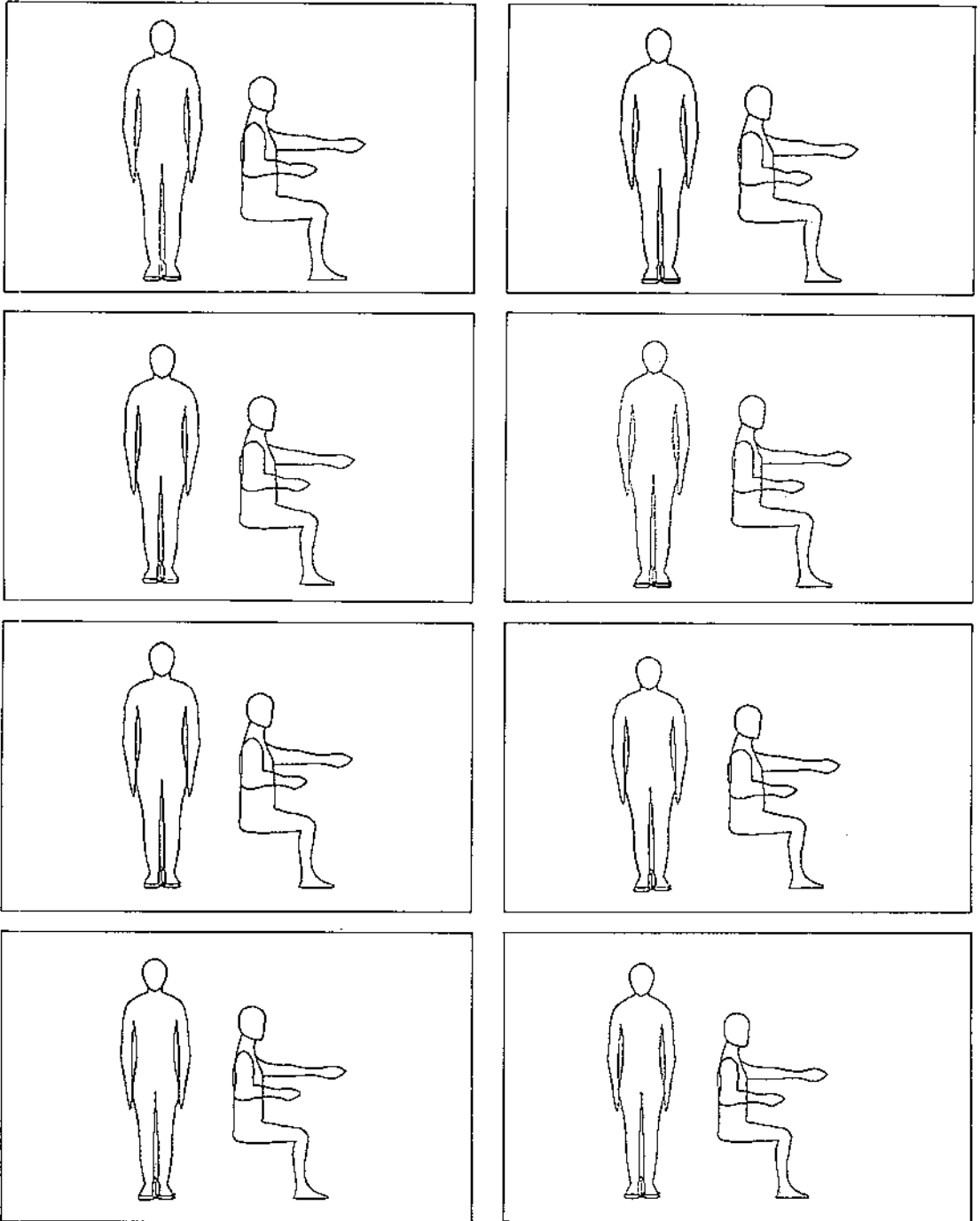


그림 1. 한국인 성인(30-50세) 대한 2-D CAD 모델링

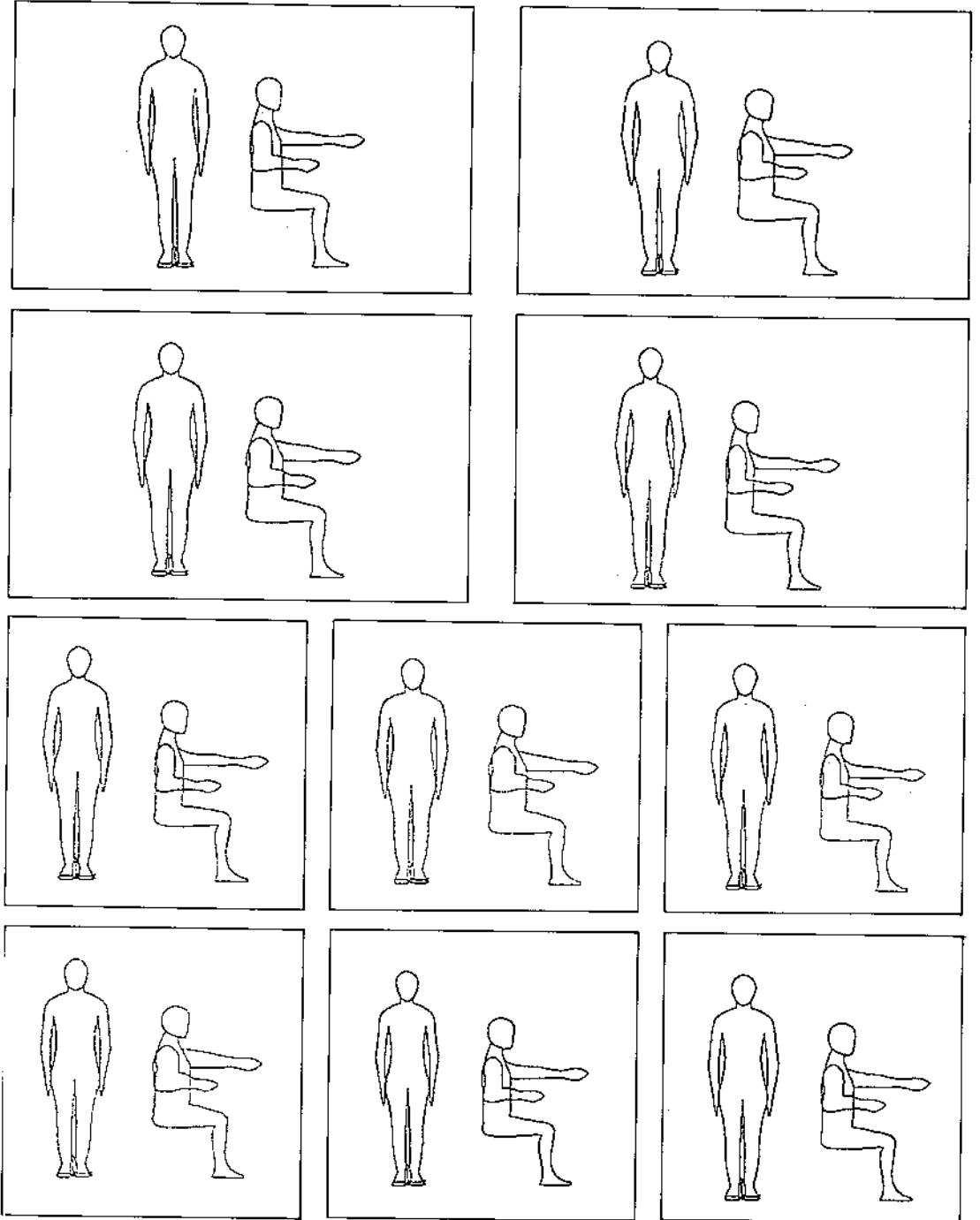


그림 1. 계속

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 체형을 대표할 수 있는 마네킨 그룹을 구성하는 방법에 대하여 연구하였으며 이들 그룹의 설계치수를 산출하는 방법을 제시하였다. 인체부위의 중요도(가중치)를 반영하여 마네킨 그룹을 구성할 수 있도록 하였다. 또 본 연구에서 제시한 방법을 이용하면, 예를 들어 가중치를 목적에 맞게 주면, 사용 목적에 적합하도록 마네킨 그룹을 형성할 수 있다. 이때 마네킨에 대한 사용자의 수용도 (accommodation)는 변하지 않기 때문에 경제적인 비용이 추가되지 않으면서 필요한 부위의 범위를 조절할 수 있게 된다.

또 한국인에 대한 마네킨 설계치수도 제안하였으며 2차원으로 CAD 마네킨을 모델링하였다. 본 연구에서 구한 설계치수는 한국인의 인체측정 조사를 바탕으로 구한 것이므로 한국인의 다양한 체형을 대표하는 마네킨이라 할 수 있다. 이 결과는 마네킨 설계 뿐만 아니라 Workstation 설계 등 각종 인간공학적 설계에 직접 적용할 수 있다.

제품설계 문제에서 경제성과 공간활당이 상반된 비용을 초래하는 경우가 많이 있다. 마네킨은 작업공간 설정(workplace layout)과 제품설계(equipment design) 등에 사용된다. 제안된 마네킨 치수는 목적에 맞는 임의 크기의 마네킨을 만들 수 있으므로 최종 제품이 특정 소비자 계층에 보다 적합시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Bittner, A.C., Jr., Computerized accommodated percentage evaluation: Review and prospectus. Proceedings 6th Congress of The Ergonomics Association, Also published as Pacific Missile Center, TP-76-46 (NTIS AD-AO35205/4ST), 1976.
- [2] A. C. Bittner, R. J. Wherry, and F. A. Glenn, Cadre: A family of manikins for workstation design, Naval Air Development Center, Technical Report 2100.0713, 1986.
- [3] Cartell, L.S. and Harman, A.J. The scree test for the number of factors, Multivariate Behavioral Research 1, 245-276. 1966.
- [4] Essex, Aircrew station accommodation criteria for military aircraft, University of Chicago Press, 1986.
- [5] Harris, R. and Iavecchia, H. (1984). Crewstation assessment of reach revision IV (CAR-IV) users guide, Willow Grove, PA: Analytics Inc. (TR 1800.10A), 1984.
- [6] JIS D 4607-1977 자동차 실내 치수 측정용 3차원 좌위인체 모형
- [7] Kaiser, H.F., The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, Psychometrika 23, 187-200, 1958.
- [8] National Highway Traffic Safety Administration [49 CFR Part 572]
- [9] Read, C.B., Normal distribution, In S. Kotz & N.L. Johnson (eds.), Encyclopedia of mathematical statistics (Volume 6), 347-359, 1995
- [10] Roebuck, J.A., Jr., Kroemer, K. H. E., and Thomson, W. G., Engineering anthropometry methods, New York, NY: wiley, 1975.

[1] Bittner, A.C., Jr., Computerized accommo-

- [11] SAE, Hybrid III: The first human-like crash test dummy PT-44, 1994.
- [12] Thomson, G.H., The factorial analysis of human ability, 5th, ed. New York; Houghton Mifflin, 1951.
- [13] 김기영, 전명식, SAS 인자분석, 자유아카데미, 1991.
- [14] 공업진흥청, 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위조사 보고서, KRISS-92-144-IR, 1992.
- [15] 김진호, 황민철, 윤정선, 신정욱, 이윤모, 한국인의 3차원 인체모형 S/W 시뮬레이터 개발에 관한 연구, KRISS-96-022-IR, 1996.

96년 3월 최초 접수, 96년 8월 최종 수정