

# 한국형 2차원 인체모형(마네킨) 개발

김 진 호      황 민 철

한국표준과학연구원 인간공학연구실

## 1. 서 론

최근 워크스테이션이나 오피스 설계에서 인간공학의 중요성이 대두되고 있으며 작업대 높이, 다리 여유공간, 시트 조절범위 등에 대한 인간공학 지침서가 있다. 그러나 이런 지침서가 일부 제품의 디자인에는 적합하더라도, 많은 제품에서는 설계가 복잡하여 마네킨의 사용이 요구된다. 특히 초기 디자인의 개념과 설계의 개략적인 평가를 위해서는 마네킨의 사용이 필수적이며 특히 작업공간이 제한되거나 특수한 작업이 요구될 때는 더욱 사용성이 증대된다.

제품을 설계하기 위하여 사용자의 신체 특성치를 고려하게 되는데 이 특정치는 크게 “큰” 집단과 “작은” 집단의 대표치로 구성된다. 그러나 설계에서 단지 몇 개 안되는 부위가 이용되는 경우라도 인체의 다양성을 잘 대변하여 주지 못하기 때문에 사용자 집단을 모두 만족시킬 수는 없다. 따라서 인체 부위의 특징을 가능한 많이 나타내는 마네킨의 개발( development of a limited family on cadre of manikins )이 필요하며 여러 체형을 대표할 수 있도록 다양한 크기의 마네킨을 구성하여야 한다.

어떤 집단에서든지 신체 부위들은 다양한 크기를 갖게 된다. 예를 들어 어떤 사람은 앉은 눈높이(sitting-eye height)는 제16분위수에 해당되지만 동작범위(functional reach)는 제60분위수, 엉덩이무릎길이(buttock-knee length)는 제70분위수(Roebuck, et al., 1975)를 갖는 사람도 있다. 따라서 아주 큰 사람(95th percentile)과 아주 작은 사람(5th percentile)을 대표하는 마네킨이 전체 사람을 대표할 수는 없다. 이런 이유로 각종 신체 치수를 변화시킬 수 있는 마네킨에 대한 요구가 있어 왔고 (Roebuck, et. al., 1975; Bittner et al, 1976) 그 요구는 증가하는 추세이다. Roebuck 등 (1975)은 워크스테이션에 잘 맞도록 “hybrid percentilemen”(manikius)라는 개념을 처음으로 도입하였다. 그러나 hybrids의 family를 체계적으로 조직화하지는 못하였다. 또 Bitter(1976)는 manikin의 family를 구성하는 개념을 최초로 제안하였다. 그는 인체측정자료 분포를 다변량 정규분포로 근사시켰다.

본 연구에서는 다양한 신체크기를 대표할 수 있는 마네킨을 구성하는 방법과 cad 마네킨을 모델링하였다. 우선 마네킨의 기본 구조와 형상을 결정하는데 필요한 25개 기본인체부위를 선정하고 인자분석을 통하여 이를 부위의 크기를 대표할 수 있는 마네킨 그룹을 결정하였다. 또 각 마네킨 그룹별로 25개 기본 인체부위의 마네킨 설계치수를 도출하였으며 이를 값을 바탕으로 2차원 인체모형을 ANSYS로 모델링하였다.

## 2. 마네킨 그룹 및 마네킨 설계치수 결정

## 2.1 마네킨 설계에 필요한 기본인체부위 설정

여러 체형을 대표할 수 있는 마네킨을 개발하기 위하여 우선 마네킨 설계에 필요한 인체측정 부위의 선택이 필요하다. Harris와 Iavecchia(1984)는 오퍼레이터의 link - model를 구하기 위하여 14개 부위를 사용하였다. Essex(1986)는 비행기 승무원석 디자인 설계에 필요한 부위를 제시하였다. Bittner등(1986)은 이들을 종합하여 Workstation설계를 위한 마네킨 그룹 구성에 필요한 19개 부위를 제시하였다.

SAE-2DM은 미국의 SAE(Society of Automotive Engineers)에 의해 규정된 것으로 구조, 형상등이 모두 SAE 규격에 맞추어 제작되고 있다. 일본의 JSAC-2DM은 일본인 성인 남자를 기준으로 한 인체모형으로써 일본의 각종 자료를 토대로 자동차기술회 인간공학연구회 인체계측분과에서 작성한 것이 있다. 이 모형에 관련된 인체측정치는 26개 부위이다.

본 연구에서는 Bittner(1986)가 제안한 19개 부위와 JSAC-2DM에서 사용한 26개 부위를 토대로 하고 마네킨의 관절을 잘 연결시키거나 기능을 보강시키기 위하여 필요한 부위를 추가하여 2차원 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) 앞으로뻗은 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 6개 부위, 앉은자세 9개 부위, 팔 3개 부위, 뒤허리 발뒤꿈치길이, 손길이, 발길이, 몸무게로 구성되어 있다.

## 2.2 인자분석에 의한 마네킨 그룹 결정

25개 기본인체부위들 사이의 표본상관계수행렬을 이용하여 인자분석을 실시하였다. 인자들은 상관행렬의 고유값이 1보다 크고(김기영 외, 1991) 스크리 도형(scree graph)을 plot하여 고유값의 차이가 뚜렷히 나타내지 않은 점(Cartell, 1966)에서 결정하였다.

그 다음 단계에서는 결정된 인자의 수에 의해 인자분석을 실시한 후, 추출된 인자의 성격을 명확히 하기 위해 Kaiser(1958)의 Varimax방법에 의해 직교회전을 시킨 인자패턴행렬( $\Lambda$ )을 구하였다. 인자가 결정되면 각 인자에 대해 “큰사람(大)”과 “작은사람(小)”을 조합하여 25개 인체부위를 대표할 수 있는 마네킨 그룹을 정의하였다.

예를 들어 인자가 3개인 경우는 아래와 같이 정의된다.

마네킨 1 --- 인자1 大, 인자2 大, 인자3 大  
마네킨 2 --- 인자1 大, 인자2 大, 인자3 小,  
마네킨 3 --- 인자1 大, 인자2 小, 인자3 大  
마네킨 4 --- 인자1 大, 인자2 小, 인자3 小

마네킨 5 --- 인자1 小, 인자2 大, 인자3 大  
 마네킨 6 --- 인자1 小, 인자2 大, 인자3 小,  
 마네킨 7 --- 인자1 小, 인자2 小, 인자3 大  
 마네킨 8 --- 인자1 小, 인자2 小, 인자3 小  
 마네킨 9 --- 인자1 中, 인자2 中, 인자3 中

### 2.3 마네킨 그룹별 기본 인체부위 치수 산출

앞에서 정의한 인자모형은  $m(<<p)$ 개의 인자(common factor)  $F_1, F_2, \dots, F_m$ 라 부르는 확률변수를 고려할 때, 원래의 각 변수  $X_i$ 들은 이 관찰할 수 없는 인자들의 선형결합(linear combination)과 그 변수에만 영향을 미치는 특수한 인자(specific factor)의 합으로 표현된다고 가정된 것이다. 따라서 2.2절에서와 같이 인자에 의해 정의된 마네킨 그룹에 대한 각 인자의 大, 小 값은 그 자체로는 해석할 수 없고 그와 대응하는 인체측정치로 변환되어야 한다. 본 연구에서는 아래와 같이 각 인자의 大, 小에 대응되는 인체측정치를 구하였다.

$$\textcircled{1} \quad z = \wedge v \quad (1)$$

여기서  $\wedge$ 는  $(25 \times m)$  행렬로써 2.2절에서 구한 25개 인체부위들의 직교회전된 인자패턴 행렬이고,  $v$ 는  $(m \times 1)$  벡터로써 각 원소  $v_i$  ( $i=1, \dots, m$ )은  $i$ 번째 인자의 大, 中, 小에 대응되는 크기이고,  $z$ 는  $(25 \times 1)$  벡터로써 각 원소  $z_j$  ( $j=1, \dots, 25$ )는  $j$ 번째 인체측정치의 표준정규점수이다.

값  $v$ 는  $m$ 개의 인자들에 의해 나타나는 타원체의 크기이며 그것이 증가하여나 감소함에 따라 집단의 만족도의 비율이 증가하거나 감소하게 된다. 타원체의 중심을 나타내는 값은 모든 원소들이 0인 0이다.

② 식(1)에서 각각의 변수들에 대하여 얻어진  $j$ 번째 부위의 표준정규점수( $z_j$ )를 그것과 동일한 의미를 갖는 백분위수( $p_j$ )로 전환한다. 이때 각각의 인체측정치들이 정규분포를 이루고 있다는 가정하에 백분위수를 구한다.

### 2.4 한국인 30-50세에 대한 마네킨 그룹과 마네킨 설계치수 산출

'92 국민인체측정조사 자료를 이용하여 2.1절에서의 25개 인체부위들에 대하여 인자분석을 실시한 결과 남자는 인자 3개로 전체를 93.8%, 여자는 인자 3개로 96.2%의 설명(공통분산의 비율)을 하고 있었다. 남여 모두 제1인자는 “선자세의 높이·길이의 정도”를 나타내고 있었으며, 제2인자는 “너비·두께의 정도”, 제3인자는 “앉은자세에서의 높이의 정도”를 나타내고 있었다.

먼저 남, 여 별로 3개의 인자로 인자분석을 한 후 회전된 인자패턴( $\wedge$ )을 구하였다. 2.2절의 예와 같이 3개 인자의 大, 小에 의하여 남, 여 각각 9개의 마네킨 그룹을 만들 수 있다. 본 연구에서는 식(1)과 같이 25개 부위중  $j$ 번째 부위의 표준정규점수( $z_j$ )를 유도하기 위하여 각 인자의 大는 +1.282, 小는 -1.282를 갖게 하는 벡터, 즉  $v$ 의 원소들은 ±1.282의 값을 같도록 하였으며, 마네킨 9에 해당되는 값은 0을 갖도록 하였다. 마지막으로  $j$ 번째 부위의 표준정규점수  $z_j$ 에 대응하는

표 1. 한국인 30~50세 마비진 그룹별 25개 인체부위치수

인체부위	남자									여자								
	마비진 그룹									마비진 그룹								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
키	177.4	171.6	175.7	170.0	165.9	160.1	164.2	158.4	167.9	163.6	158.3	164.0	158.7	152.8	147.5	153.2	147.9	155.8
눈높이	165.3	159.9	163.6	158.1	154.5	149.1	152.7	147.3	156.3	152.3	147.3	153.0	148.1	141.9	136.9	142.6	137.7	145.0
목덜미	152.2	147.9	151.5	147.3	141.4	137.2	140.7	136.5	144.3	139.6	135.4	139.9	135.7	129.6	125.4	130.0	125.7	132.7
대퇴돌기 높이	86.2	84.2	85.8	83.8	78.8	76.8	78.4	76.4	81.3	78.6	77.5	79.7	78.6	71.5	70.4	72.6	71.5	75.1
흉통너비	49.2	48.5	43.9	43.2	48.1	47.4	42.8	42.1	45.6	46.2	45.3	40.7	39.8	45.1	44.2	39.6	38.6	42.4
가슴너비	32.1	31.6	28.5	28.0	31.4	30.9	27.8	27.3	29.7	30.0	29.8	25.7	25.5	30.1	29.9	25.8	25.6	27.8
엉덩이너비	34.7	33.9	31.9	31.0	33.3	32.5	30.5	29.7	32.2	34.0	33.7	30.9	30.6	33.2	32.9	30.1	29.8	31.9
가슴두께	24.0	24.1	20.3	20.4	23.7	23.7	20.0	20.0	22.0	24.8	24.9	19.4	19.5	25.1	25.2	19.7	19.8	22.3
배두께	24.0	23.9	19.3	19.2	24.2	24.1	19.6	19.4	21.7	23.9	24.3	18.2	18.6	24.2	24.6	18.5	18.9	21.4
앞으로 뻗은 손끝길이	85.1	84.2	83.3	82.3	79.6	78.6	77.8	76.8	81.0	80.3	80.0	78.9	78.6	74.8	74.4	73.4	73.1	76.7
않은 키	96.4	90.6	95.2	89.4	93.1	87.3	91.9	86.1	91.2	90.0	84.3	89.7	84.1	86.5	80.8	86.3	80.6	85.3
않은 눈높이	85.0	79.0	83.8	77.8	81.9	75.9	80.7	74.7	79.9	79.2	73.9	78.8	73.5	76.3	71.0	75.9	70.6	74.9
않은 어깨높이	64.8	59.5	63.4	58.1	62.6	57.4	61.2	55.9	60.4	60.1	55.6	59.3	54.8	58.5	54.1	57.7	53.3	56.7
않은 팔꿈치높이	29.3	24.7	28.5	23.9	29.8	25.2	29.0	24.5	26.9	27.8	23.4	27.3	22.9	28.4	24.1	28.0	23.6	25.7
않은 무릎높이	52.5	51.8	51.7	50.9	48.0	47.3	47.2	46.5	49.5	48.3	47.7	47.5	47.0	44.3	43.7	43.6	43.0	45.6
않은 오금길이	42.5	42.4	42.7	42.6	38.7	38.6	38.9	38.8	40.7	38.7	38.4	38.6	38.3	35.5	35.1	35.4	35.0	36.9
않은 넓적다리두께	15.4	14.8	13.5	12.9	14.9	14.3	13.0	12.4	13.9	15.1	14.9	13.1	13.0	14.5	14.3	12.6	12.4	13.7
엉덩이 무릎길이	58.2	57.9	56.2	56.0	53.5	53.2	51.5	51.3	54.7	55.4	55.1	53.5	53.3	51.4	51.1	49.5	49.2	52.3
엉덩이 오금길이	48.4	48.0	47.3	46.9	44.2	43.8	43.0	42.6	45.5	46.9	46.7	44.9	44.8	43.3	43.2	41.3	41.2	44.0
다허리 발뒤꿈치길이	111.7	108.9	109.1	106.2	103.7	100.8	101.0	98.1	104.9	104.3	101.8	102.6	100.1	95.6	93.1	93.9	91.4	97.8
어깨 첨 팔꿈치길이	35.8	35.5	35.2	34.9	33.0	32.7	32.4	32.1	34.0	32.9	33.0	32.6	32.7	30.2	30.3	29.9	30.0	31.4
팔꿈치 손끝길이	46.2	46.0	45.7	45.4	42.5	42.3	42.0	41.8	44.0	42.3	42.1	41.8	41.6	39.0	38.7	38.5	38.2	40.3
손길이	19.0	18.8	18.6	18.4	17.7	17.5	17.3	17.1	18.1	17.7	17.5	17.3	16.5	16.4	16.4	16.2	16.9	
발길이	25.9	25.5	25.3	25.0	24.3	23.9	23.7	23.3	24.6	23.9	23.4	23.5	23.0	22.5	21.9	22.1	21.5	22.7
몸무게	81.0	76.8	64.0	59.8	74.2	70.0	57.2	53.0	67.0	68.0	64.9	52.5	49.4	63.5	60.4	47.9	44.8	56.4

인체측정치는 그 부위가 '92 국민인체측정조사의 표본평균과 표본분산을 갖는 정규분포라고 가정하여 구하였다.

표 1은 마네킨 그룹별로 표준정규점수(z)를 유도한 뒤 부위별 표준정규점수에 대응하는 인체측정치를 구한 것이다.

### 3. cad 마네킨 모델링

본 연구에서는 선 자세와 앉은 자세의 cad 마네킨을 설계하였다. 선 자세의 cad 마네킨은 주로 입식작업대 등의 설계에 사용될 수 있으며 앉은자세의 cad 마네킨은 의자, 책상 등 워크스테이션 설계에 이용될 수 있다. cad 마네킨 설계는 주로 유한요소분석 전용 프로그램인 ANSYS (Swanson Analysis Systems Co.)의 cad기능을 이용하였다.

먼저 모델링을 위하여 설계기준점을 선정하였다. 그리고 설계기준점에 대응하는 인체부위를 선정하고 '92 국민인체측정조사 자료, '88 한국인 자료 (김철중 외, 1988), 일본인 자료 (생명공학기술연구소, 1994)에서 이들 부위에 대한 인체측정치를 구하였다. 그림 1은 설계기준점을 나타내는데 이 점들은 인체부위측정점에서 비롯된 것이다.

25개 인체부위와 설계점과의 상관관계를 이용하여 설계점 좌표화를 위한 관계식을 산출하고 나머지 설계점은 앞에서 언급한 3개 문헌의 자료와 25개 부위와의 관계를 이용하여 관계식을 유도하였다. 표 1의 25개 인체부위 값을 유도된 관계식에 대입하여 설계점에 대한 2차원 벡터를 구하고 각 점을 ANSYS preprocessing의 모델링기능에서 굴곡이 심한 형상 모델링에 알맞는 spline fit기법을 사용하여 2차원 한국형 cad 마네킨을 설계 제작하였다.

그림 2는 ANSYS에 의해 설계된 대표적인 인체모델이다. 모델링은 가로 200cm, 세로 200cm 인 reference box 안에 그려졌다.

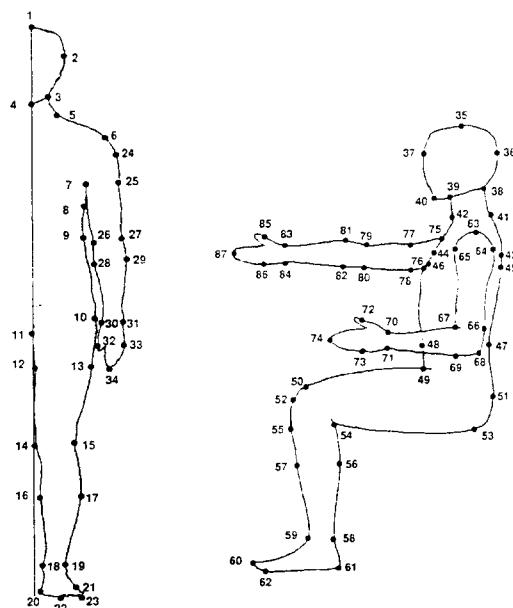
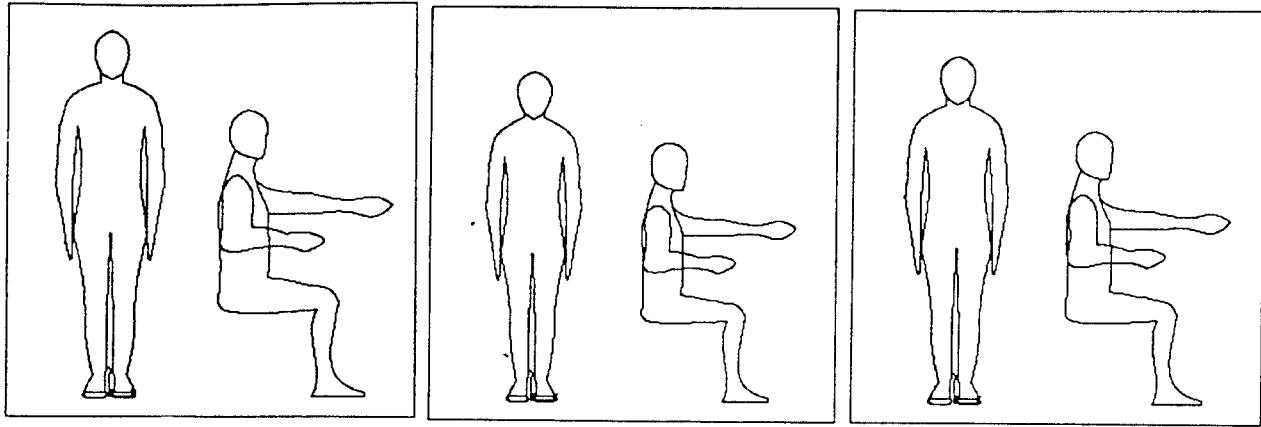


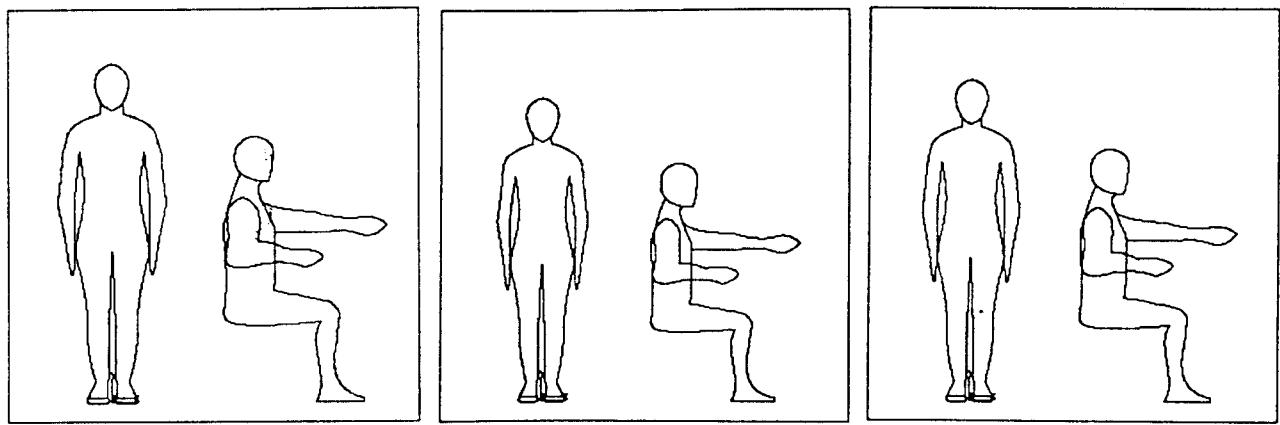
그림 1. 선 자세와 앉은 자세의 모델링기준점



(a) 남자 마네킨 그룹 1  
(인자1大, 인자2大, 인자3大)

(b) 남자 마네킨 그룹 8  
(인자1小, 인자2小, 인자3小)

(c) 남자 마네킨 그룹 9  
(인자1中, 인자2中, 인자3中)



(d) 여자 마네킨 그룹 1  
(인자1大, 인자2大, 인자3大)

(e) 여자 마네킨 그룹 8  
(인자1小, 인자2小, 인자3小)

(f) 여자 마네킨 그룹 9  
(인자1中, 인자2中, 인자3中)

그림 2. 30-50세의 한국형 cad 마네킨 모형

#### 4. 결 론 및 토 론

본 연구에서 만들어진 인체모형은 한국인의 성별 연령별로 인체크기를 세분화 할 수 있으므로 한국인 치수를 대표하는 마네킨이라 할 수 있다. 또한 cad마네킨들은 일반적 cad 화일로 전환될 수 있으므로 인간-기계상호작용(man-machine interaction)의 모의실험이나 제품설계에 응용될 수 있다. 이 cad마네킨들은 앞서 말한 바와 같이 유한요소 분석 package의 일부를 사용하였으므로 직접적으로 분석기능에 연결되어 인체의 용력 및 변형해석도 가능하게 한다.

이 cad 마네킨은 2차원 정적모형이라는 한계가 있다. SAMMIE (Case, et al., 1990)와 같은 3 차원 정적과 동적모형이 널리 사용되어 현실에 뒤떨어진 감이 있다. 그러나 한국형 cad 마네킨은 한국인의 데이터를 분석하여 여러 신체크기를 대표하는 모형이므로 제품이나 장비, 작업장 설계 등의 평가에 유용하게 사용될 수 있다.

앞으로 이 한국형 cad 마네킨을 3차원 정적과 동적모형으로 발전시킬 예정이다. 또 이 마네킨을 이용하여 유한요소법에 의한 인체에 대한 구조 역학적 분석을 할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

1. 김기영, 전명식, "SAS 인자분석," 자유아카데미, 1991.
2. 생명공학기술연구소(일본), 생명공학공업기술연구소 보고서, ISSN OPI P-5351 Vol.2, No.1, 1 994
3. 김진호, 박수찬, 윤정선, "김창범, 산업체품 설계응용을 위한 한국형 인체모형개발(제1차년도)," 한국표준과학연구원, KRISS-94-007-IR, 1994.
4. 김철중 외, "한국군장병의 신체 Parameter 분석연구보고서," 한국표준과학연구원, 1988.
5. 김철중 외, "장병체위조사에 의한 군 피복류의 호수체계 및 치수개선연구 연구 보고서," 한국 표준과학연구원, 1992.
6. 공업진흥청, "1986년 국민표준체위조사 보고서," KSRI-86-56-IR, 1986.
7. 공업진흥청, 산업체품의 표준치설정을 위한 국민표준체위조사 보고서, KRISS-92-144-IR, 1992.
8. 한국공업표준협회, "인체 측정용어(KS A 7003-1989)", 1989.
9. Bittner, A.C., Jr., "Computerized accommodated percentage evaluation: Review and prospect, " Proceedings 6th Congress of the Ergonomics Association. Also published as Pacific Missile Center, TP-76-46 (NTIS AD-A035205/4ST), 1976.
10. Bittner, A.C., Wherry, R.J., Glenn, F.A., "A family of manikins for workstation design, Naval Air Development Center, Technical Report 2100.0713, 1986.
11. Cartell, L.S., Harman, A.J., "The scree test for the number of factors," Multivariate Behavioral Research, 1966: 1: 245-276.
12. Case, K., Peter, J.M., Bonney, M.C., "SAMMIE: a man and workplace modelling," Krawarski, W., Genaidy, A.M., Asfour, S.S., (eds), Computer Aided Ergonomics, Taylor and Francis, London, 1990: 31-36.

13. Essex, "Aircrew station accommodation criteria for military aircraft,". University of Chicago Press, 1986.
14. Harris, R. & Iavecchia, H., "Crewstation Assessment of Reach revision IV (CAR-IV) users guide," Willow Grove, PA, Analytics Inc. (TR 1800.10A), 1984
15. Kaiser, H.F., "The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis," *Psychometrika*, 1958: 23: 187-200.
16. Roebuck, J.A., Jr., Kroemer, K.H.E., Thomson, W.G., "Engineering anthropometry methods," New York, NY: Wiley, 1975
17. Thomson, G.H., "The factorial analysis of human ability," 5th, ed. New York, Houghton Mifflin, 1951.