Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.21, No.1, pp.15-26, April 2002

한국인 조종사의 대표적 인체모형군 생성

Formulation of Human Manikin Models Representative of Korean Male Pilots

이 종 선*, 송 영 웅**

ABSTRACT

The anthropometric characteristics of the intended user population are most important parameters in the equipment and workplace layout design, particularly in the airplane cockpit design. Because human body is composed of multi-dimensional body segments, single 'average' or 'extreme' manikin is not sufficient in computer-aided design(CAD) environments. To overcome this limitation, we constructed a manikin group representing Korean male pilot population.

First, we identified 16 anthropometric variables which are important parameters in the evaluation of reach, visibility, and clearance. And we found their correlations and conducted a factor analysis. Four common factors were extracted in the factor analysis. The first one was related with length dimensions, the second was with the arm reach, the third was with the sitting height, and the last was with breadth-depth dimensions. Finally, 17 manikins were constructed and presented in the CAD prototype.

Keyword: Anthropometry, Human Manikin, Korean Pilot, Factor Analysis, Workplace Design

* 공군사관학교 산업공학과
주소 : 363-840 충북 청원군 남일면 쌍수리 사서함 335-2
전화 : 043-290-6490
E-mail : ergoman@afa.ac.kr
** 포항공대 기계산업공학부
주소 : 790-784 경북 포항시 효자동 산31
전화 : 054-279-2853
E-mail : songyw@postech.ac.kr

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

과학 기술의 발전과 더불어 항공기의 조종실 기능이 복잡해지고 다양해지면서, 인간 요소를 고려한 설계의 필요성이 증가하고 있다. 특히 조종실의 설계 단계에서부터 조종실 운영자인 조종사들의 인체 치수를 이용하여 작업 및 활동 영역(reach envelop), 시야(visual field), 여유 공간(clearance) 등에 대한 분석 및 검증 작업은 모든 항공기 제작의 초기 단계에서 필수적인 방법이 되어가고 있다.

작업 공간 또는 인간-기계 체계의 접면(interface) 설계에 대한 평가에는 실물 크기의 mock-up제작을 통하여 실제적인 시험을 수행하는 방법과 CAD 기법을 이용하여 실물에서와 같은 동일한 방법으로 필요 기능을 점검하는 방법이 있다. 실물 모형의 제작은 모형 제작 비용, 제작 기간, 모형 수정 등을 위해 투입되는 경제적, 시간적인 손실을 초래할 수 있으나, 상대적으로 CAD모형을 이용하는 경우는 시간적, 공간적, 경제적인 제약이 거의 없어, 요구되는 분석들을 비교적 자유롭게 수행할 수 있는 장점이 있다. 따라서 자동차나 항공기의 조종실 설계를 포함하여 의자, 책상과 같은 작업 환경의 설계 및 평가에 인체 모형을 컴퓨터 화면에 구현하여 모의 실험하는 기법이 많이 사용되고 있다. 그림 1 은 인체 모형을 이용한 항공기 조종실 설계의 예를 나타내고 있다. 이와 같이 인체 모형을 활용하여 설계 · 평가를 할 때에 대상 조종사나 승무원의 모집단을 표현하는 인체 모형을 컴퓨터 상에서 정확하게 묘사하는 것은 매우 중요한 기본 조건이 된다.

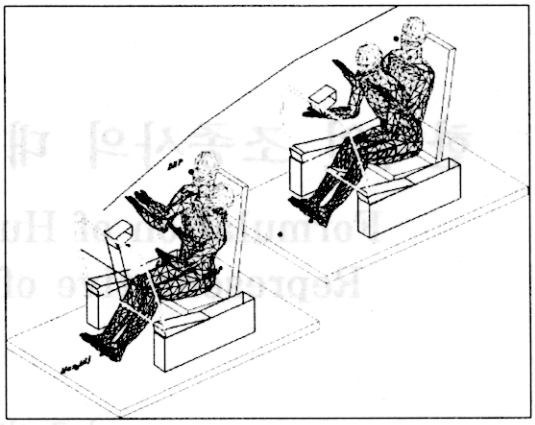

그림 1. 인체모형을 이용한 항공기 조종실 설계 · 평가 예 (김영준 등, 1999)

그러나, 설계 대상 집단에 대한 인체 측정치를 구하고, 정규성 검정을 통하여 백분위수 값을 결정하는 등의 방법에 의해 특정 백분위수의 인체 모형을 구성하는 것은 매우 어려운 일이라고 할 수 있다. 또한 신체 부위 각각의 특정 백분위수 값을 조합하여 인체 모형을 구성하게 되면, 최종적으로 대상 모집단 중에서 포함되는 범위는 매우 좁아지게 된다(Zehner, 1993). 이것은 인체가 단일 차원으로 구성된 것이 아니고, 여러 인체 부위의 다차원으로 구성되어 있으며, 인체 부위 크기의 변동이 크기 때문이다.

인체 부위 크기의 변동을 고려하여 인체 마네킨의 상대적인 크기를 변화시켜야 한다는 생각은 오래 전부터 제시되어 왔으며(Roebuck et al., 1975; Bittner, 1976), 변동을 고려하는 방법으로 대상 모집단의 인체 부위 특성에 따라 요인 분석(factor analysis)을 통하여 인체 부위를 그룹화하고, 각 그룹을 대표하는 인자를 변화시키면서 그 조합으로 인체 모형을 구성하는

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

방법이 제안되고 있다. Bittner et al.(1987)의 연구에서는 작업대(workstation) 설계를 위한 17개 마네킨 모형인 CADRE 를 제안하였으며, 이후에 CADRE의 수정 모형인 A-CADRE를 발표하였다(Bittner, 2000). 한국인의 인체 모형에 대한 연구로는 작업장 배치(workplace layout) 문제에 적용하기 위해, 30-50세의 한국인 남자를 대표하는 9개의 마네킨 그룹을 제안한 연구가 있다(Kim and Whang, 1997).

그러나, 현재까지 제안된 연구 결과를 한국인을 사용자 대상으로 하는 항공기 조종실 설계에 직접 적용하기에는 부적합하다고 할 수 있다. 이것은 한국인 조종사의 인체 측정 자료를 바탕으로 하지 않았으며, 조종실 설계에서 중요한 인체 부위를 중심으로 모형 구성이 요구되기 때문이다. 한국인의 인체 측정 자료를 사용한 Kim and Whang(1997)의 연구에서는 30-50 세의 1992년도 한국인 남자 데이터(한국표준 과학 연구원, 1992)를 사용하였는데, 실제 조종사의 인체 측정 데이터(김영준 등, 1999)와 차이를 보이고 있다. 키 크기를 비교해 보면, 한국인 조종사의 키의 평균이 173.4 cm 인 반면, 1992년도 한국인 남자 키는 30-34세는 168.9 cm, 35-39세는 168.9 cm, 40-50세는 166.9 cm로 보고되었다. 따라서, 본 연구에서는 항공기 조종실 설계 및 평가에 활용 가능하도록 한국인 조종사의 인체 측정 자료를 바탕으로 한국인 조종사의 인체 특성을 잘 반영하는 인체 모형군을 구성하고자 한다.

2. 인체 모형군 구성 방법

한국인 조종사의 인체 모형군 구성은 다음과 같은 단계를 거쳐 구성되었다.

1) 항공기 조종실 설계에 연관된 인체 측정 변수 선정하고,
2) 상관 계수를 구한 다음 요인 분석을 통하여 인체 측정 변수를 그룹화 한 후,
3) 한국인 조종사의 마네킨 그룹의 인체 부위 크기를 결정하였다.

여기에 사용된 자료로는 현재 공군에서 현역으로 근무하고 있는 남자 조종사 80명(26세-37세)의 인체 측정 자료(김영준 등, 1999)를 사용하였다.

2.1 인체 측정 변수 선정

선정된 인체 측정 변수의 종류에 따라 구성되는 인체 마네킨의 특성이 결정되므로, 인체 측정 변수 선정은 연구 목적에 맞도록 적절한 변수를 선정하여야 한다. 미국 항공기 승무원의 인체 유형별 마네킨 개발 연구(Zehner et al., 1993)에서는 엄지 끝 길이, 엉덩이 무릎 길이, 앉은 자세 오금 길이, 앉은 키, 앉은 눈 높이, 앉은 어깨 높이의 6가지 측정 변수를 사용하여 8가지 유형의 마네킨을 구성하였다. 한국인 인체 마네킨 그룹을 제안한 Kim and Whang(1997)의 연구에서는 일반적인 작업대 설계에 적용하도록 키, 눈 높이 등을 포함하여 25개의 인체 측정 변수를 사용하였다. 또한 Bittner(2000)는 17개의 측정 변수를 사용하였다.

본 연구에서는 항공기 조종실 디자인에서 가장 중요한 인간공학적 고려 요소인 작업 영역

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

(reach), 가시도(visibility), 여유공간(clearance)과 관련된 중요 변수로서, 중복되는 변수는 대표적인 하나의 변수만 포함시켰으며, 각 인체 부위의 변동을 반영할 수 있도록 선정하였다. 인체를 CAD로 정밀하게 표현하기 위해서는 상당히 많은 측정 변수가 요구되지만, 한국인 조종사 인체 측정 자료가 많지 않고 또한 인체 모형군의 사용 목적인 작업영역, 가시도, 여유공간 평가에만 중점을 둘 수 있도록 선정하였다.

2.2 인체 측정 변수 그룹화

선정된 인체 측정 변수들 간의 상관 행렬을 구하여 요인 분석을 수행하였다. 요인 분석은 주성분 분석을 사용하였으며, 배리맥스 회전을 수행하였다(Harmon, 1975). 공통 요인의 수는 스크리 검정을 통하여 결정하였다.

2.3 인체 모형군의 크기 결정

각 인체 측정 변수는 요인 분석에 의해 추출된 공통 요인의 선형 함수로 표현될 수 있으며, 여기에서 공통 요인의 값을 변화시켜 주면, 인체 변수의 값들도 변하게 된다. 그러므로, 공통 요인의 값을 최대(+), 최소(-)로 변화시켜 그 조합으로 마네킨 모형군을 구성할 수 있다.

Bittner et al.(1986)에 의하면, 요인 분석에서 구한 회전 후 요인 적재 값 행렬(rotated factor loading matrix)과 임의의 벡터($\bar{v}$)를 곱하면 각 인체 측정 변수의 표준 정규치(standard normal scores)를 구할 수 있다. $\bar{v}$ 벡터의 값은 보통 연구자의 필요에 의해 주관적으로 값을 결정하게 되며, Bittner et al.(1986)는 공통적으로 1.3517을 사용하였으며, Bittner et al.(2000)에서는 1.2208을 사용하였다. 이 값들은 표준 정규 분포의 z 값으로 생각할 수 있으며, 이 값에 의해 대상 모집단의 수용범위(accommodation range)가 결정된다.

본 연구에서도 $\bar{v}$ 값으로 동일한 값(v_0)을 사용하도록 하고, 키가 162.5cm가 되도록 $\bar{v}$ 값을 결정하였다. 한국에서 조종사를 가장 많이 배출한다고 할 수 있는 공군사관학교의 신체 검사에서 키의 하한 기준이 162.5cm이며, 상한 기준을 사용하지 않고 하한 기준을 사용한 것은 일반적으로 키가 작은 사람이 키가 큰 사람보다 조종실에서의 작업에 어려움이 많기 때문이다. 이렇게 구하여진 $\bar{v}$ 에서 +/- 조합을 사용하여 인체 모형을 구성하였으며, 회전 후 요인 적재 값 행렬과 $\bar{v}$ 를 곱하여 각 인체 측정 변수의 z 값을 추출하였으며, 평균과 표준편차 값을 사용하여 인체 부위 크기를 최종적으로 결정하였다.

3. 연구 결과

3.1 인체 측정 변수 선정 결과

인체 모형군 구성에 사용될 변수로서 작업영역, 가시도, 여유공간과 같은 인간공학적 평가 기준과 관련될 것으로 판단되는 16개 인체 측정 변수가 선정되었다(표 1). 작업영역과 관련된 인체 측정 변수로는 키, 앞으로 뻗은 손끝

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표 1. 한국인 조종사 인체 모형군 구성 과정에 사용된 인체 측정 변수

번호	측정 변수	설 명	평균 (cm)	표준편차 (cm)
1	키 (sta)	바닥에서 머리마루점까지의 수직거리	173.36	4.37
2	눈높이 (eye_h)	바닥에서 눈동자 중심까지의 수직거리	161.79	4.43
3	회음 높이(c_h)	바닥에서 회음점까지의 수직거리	77.01	3.47
4	앞으로 뻗은 손끝 길이 1 (f_r1)	벽면에 양 어깨를 대고 엄지와 검지를 오무린 상태에서 오른팔을 앞으로 수평되게 뻗었을 때 벽면에서 손끝점까지의 직선거리	76.73	3.89
5	앞으로 뻗은 손끝 길이 2 (f_r2)	4의 자세에서 왼 어깨만 벽면에 대고 오른팔을 앞으로 최대한 수평되게 뻗었을 때 벽면에서 손끝점까지의 직선거리	81.65	4.80
6	머리위로 뻗은 손끝 높이 (h_u_r_h)	머리위로 팔을 벽면에 최대의 높이로 뻗었을 때 바닥에서 손끝까지의 수직거리	133.47	4.53
7	앉은 키 (s_h)	허리를 세우고 꼿꼿하게 앉았을 때 앉은 면에서 머리마루점까지의 수평거리	93.91	3.06
8	앉은 눈높이 (s_e_h)	7과 같은 자세에서 눈동자까지의 수직거리	81.93	2.75
9	팔꿈치 손끝 길이 (e_r)	팔을 몸통에 붙이고 위팔과 아래팔이 90° 되게 굽혔을 때 팔꿈치점에서 손끝점까지의 직선거리	45.33	2.12
10	엉덩이 무릎 길이 (b_k_l)	넓적다리와 아랫다리가 90° 되게 앉았을 때 엉덩이 중 가장 뒤로 두드러진 부위에서 무릎 굽힌 오금까지의 직선거리	56.37	3.29
11	선자세 엉덩이 너비 (h_b1)	섰을 때 좌우의 대퇴돌기점 사이의 직선거리	32.66	1.53
12	어깨 너비 (s_b)	몸에 팔을 붙이고 좌우팔을 포함하여 몸통의 좌우 최대 직선거리	45.93	2.21
13	전완 너비 (f_b)	위팔은 수직으로 밑으로 내리고, 아래팔은 수평되게 앞으로 뻗었을 때 좌우로 가장 두드러진 부분 사이의 거리	49.42	3.88
14	앉은자세 엉덩이 너비 (h_b2)	앉았을 때 좌우의 대퇴돌기점 사이의 직선거리	35.36	2.89
15	손 길이 (h_l)	손의 최대 길이	18.55	0.68
16	발 길이 (f_l)	발의 최대 길이	25.05	1.18

길이 1, 앞으로 뻗은 손끝길이 2, 머리 위로 뻗은 손끝 높이, 팔꿈치 손끝 길이, 손 길이, 발 길이와 엉덩이 무릎 길이가 있으며, 가시도와 관련이 있는 변수로는 키, 눈 높이, 앉은 키, 그리고 앉은 눈 높이가 있다. 여유 공간과 관련이 있는 변수로는 선 자세 및 앉은 자세 엉덩이 너비, 어깨 너비 그리고 전완 너비가 해당된다.

3.2 요인 분석 결과

선정된 16개의 인체 측정 변수들 간의 상관 행렬을 구하였으며, 키를 중심으로 인체 측정 변수들의 상관 관계를 살펴보면, 키와 눈 높이가 가장 상관계수가 큰 것으로 나타났으며 (0.953), 회음 높이(0.775), 머리위로 뻗은 손끝 길이(0.774) 순서로 상관 관계가 높은 것으로 나타났다. 키와 인체 너비 치수들 간의 상관 계수는 낮게 나타났으며(선 자세 엉덩이 너비: 0.271, 어깨 너비: 0.192), 다른 치수들은 0.5 - 0.7 사이의 상관 계수를 가지는 것으로 나타났다.

측정 변수들 간의 상관 행렬을 입력으로 하

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

여 요인 분석(주성분 분석)을 수행하였다. 공통 요인의 수는 스크리 검정을 통하여 4개로 결정하였으며, 요인 분석 수행 결과인 회전 후 요인 적재 값 행렬과 공통성(communality) 값이 표 2 에 제시되어 있다.

비와 관련이 큰 것으로 나타났다. 즉, F1은 키와 같은 전체적인 길이(선 자세)를 대표하는 요인, F2는 팔의 길이 혹은 작업 영역, F3은 앉은 키, F4는 신체의 넓이나 두께 등을 표현하는 요인이라고 해석된다.

표 2. 요인분석 결과 : 회전 후 요인 적재값 행렬과 공통성

인체 측정 변수		공통 요인				공통성 (Communality)
		F_1	F_2	F_3	F_4	
3	c_h	0.88935*	0.13181	0.15108	-0.01980	0.9096
2	eye_h	0.73052*	0.37352	0.45878	0.04987	0.8861
10	b_k_l	0.70636*	0.25514	-0.06755	0.21693	0.8315
9	e_r	0.70271*	0.31233	0.00729	0.08828	0.8766
1	sta	0.70237*	0.44508	0.46211	0.06839	0.8949
5	f_r2	0.21322	0.90776*	0.05576	0.14962	0.7856
4	f_r1	0.27971	0.89083*	0.06046	0.03419	0.7472
6	h_u_r_h	0.36469	0.66689*	0.45518	0.02707	0.7898
16	f_l	0.40504	0.59922*	0.36022	-0.02983	0.5991
15	h_l	0.51383	0.52459*	0.18163	-0.07625	0.6156
7	s_h	0.07436	0.12909	0.84723*	0.08501	0.6918
8	s_e_h	0.11504	0.15682	0.82688*	0.26124	0.5652
13	f_b	-0.20629	0.04287	-0.15335	0.81217*	0.7275
11	h_b1	0.30833	-0.04981	0.12896	0.76003*	0.5024
12	s_b	0.04260	0.10177	0.13202	0.73187*	0.5780
14	h_b2	0.11284	0.01646	0.31184	0.62630*	0.6537
공통요인에 의해 설명되는 변동값		3.666401 (42.8%)	3.270433 (14.25%)	2.384508 (8.6%)	2.334021 (7.17%)	

* : 인체 측정 부위가 공통요인과 높은 상관관계를 가지는 경우

여기에서 F1 요인은 키, 회음 높이, 눈 높이, 엉덩이 무릎 길이, 팔꿈치 손끝 길이와 연관성이 크며, F2 요인은 앞으로 뻗은 손끝 길이 1, 앞으로 뻗은 손끝 길이 2, 머리 위로 뻗은 손끝 길이, 발 길이, 손 길이와, F3 요인은 앉은 키, 앉은 눈 높이, F4 요인은 전완 너비, 선 자세 엉덩이 너비, 앉은 자세 엉덩이 너비, 어깨 너

3.3 최종 인체 모형군 크기 결정

요인 분석에 의해서 4개의 공통 요인이 추출되었으며, 이것은 조종사의 인체 측정 변수가 4개의 공통요인에 의해 많은 변동이 설명 될 수 있다는 것을 의미한다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

임의의 벡터 $\bar{v} = (v_1, v_2, v_3, v_4)$ 값으로 모두 동일한 값(v_0)을 사용하도록 하고, 키가 162.5cm가 되도록 $\bar{v}$ 값을 결정하였다. 즉, 표 2에서 키에 해당하는 회전 후 요인 적재값 벡터는 (0.70237, 0.44508, 0.46211, 0.06839) 이므로, 표준 정규 분포의 z 값은 다음 식 1로 구할 수 있다.

$$z = 0.70237v_1 + 0.44508v_2 + 0.46211v_3 + 0.06839v_4$$
$$= 1.67795v_0 \quad \cdots\cdots (1)$$

조종사 인체 측정치의 분포(평균: 173.36, 표준편차: 4.37)를 사용하여 키가 162.5cm인 z값을 계산하면, 2.4851이 되며, v_0 값은 1.4810이 된다. v_0 값을 v_1, v_2, v_3, v_4 값으로 사용하고, 부호를 +/-로 조합하여, 총 16개 인체모형과 평균값들로 이루어진 17개 인체 모형을 구성하였으며, 인체 모형군 구성에 사용된 $\bar{v}$ 벡터의 조합이 표 3 에 제시되어있다.

표 3의 특정 인체모형에 해당하는 $\bar{v}$ 벡터를 회전 후 요인 적재값 행렬에 곱하여 인체 측정 변수의 z 값을 구하였다. 각 인체 측정 변수가 정규 분포를 따른다는 가정 하에 표 1의 평균과 표준 편차를 $z = \frac{X-\mu}{\sigma}$ 식에 대입하여 인체 부위 크기를 최종적으로 추출하였다(표 4). 표 4의 인체 모형의 특성을 설명하면 다음과 같다.

모형 1 : 키, 작업 영역, 앉은 키, 몸의 두께 및 넓이 관련 치수가 모두 큼

표 3. 한국인 조종사 인체 모형군 구성에 사용된 $\bar{v}$ 벡터의 조합

모형	v_1	v_2	v_3	v_4
1	1.481	1.481	1.481	1.481
2	1.481	1.481	1.481	-1.481
3	1.481	1.481	-1.481	1.481
4	1.481	1.481	-1.481	-1.481
5	1.481	-1.481	1.481	1.481
6	1.481	-1.481	1.481	-1.481
7	1.481	-1.481	-1.481	1.481
8	1.481	-1.481	-1.481	-1.481
9	-1.481	1.481	1.481	1.481
10	-1.481	1.481	1.481	-1.481
11	-1.481	1.481	-1.481	1.481
12	-1.481	1.481	-1.481	-1.481
13	-1.481	-1.481	1.481	1.481
14	-1.481	-1.481	1.481	-1.481
15	-1.481	-1.481	-1.481	1.481
16	-1.481	-1.481	-1.481	-1.481
17	0	0	0	0

모형 2 : 키, 작업 영역, 앉은키 치수 관련 치수는 크고, 두께, 넓이 치수는 작음

모형 3 : 키, 작업 영역, 두께, 넓이 관련 치수는 크고, 앉은 키 관련 치수는 작음

모형 4 : 키, 작업 영역 관련 치수는 크고, 앉은 키, 넓이 두께 치수는 작음

모형 5 : 키, 앉은키, 넓이, 두께 치수는 크고 작업 영역 관련 치수는 작음

모형 6 : 키, 앉은 키 관련 치수는 크고, 작업 영역, 두께, 넓이 관련 치수는 작음

모형 7 : 키, 두께, 넓이 관련 치수는 크고 작업 영역, 앉은 키 관련 치수는 작음

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표 4. 17개 한국인 조종사 인체 모형군의 인체 부위 크기 (cm)

인체 측정 변수		한국인 조종사 인체 모형군																
번호	이름	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	sta	184.2	183.3	178.2	177.4	178.5	177.6	172.5	171.6	175.1	174.2	169.1	168.3	169.4	168.5	163.4	162.5	173.4
2	eye_h	172.4	171.7	166.4	165.7	167.5	166.8	161.4	160.8	162.8	162.1	156.8	156.1	157.9	157.2	151.9	151.2	161.8
3	c_h	82.9	83.1	81.4	81.6	81.6	81.8	80.0	80.2	73.8	74.0	72.2	72.4	72.4	72.6	70.9	71.1	77.0
4	f_r1	84.0	83.6	83.3	82.9	73.8	73.4	73.1	72.7	80.8	80.4	80.1	79.7	70.5	70.1	69.8	69.4	76.7
5	f_r2	91.1	89.0	90.3	88.2	78.2	76.0	77.4	75.3	88.0	85.9	87.3	85.1	75.1	73.0	74.3	72.2	81.7
6	h_u_r_h	143.6	143.3	137.5	137.2	134.7	134.3	128.6	128.2	138.7	138.4	132.6	132.3	129.8	129.4	123.7	123.3	133.5
7	s_h	99.1	98.3	91.4	90.6	97.9	97.1	90.2	89.4	98.4	97.6	90.7	89.9	97.2	96.4	89.5	88.8	93.9
8	s_e_h	87.5	85.3	80.7	78.6	86.2	84.1	79.5	77.3	86.5	84.4	79.8	77.7	85.3	83.1	78.5	76.4	81.9
9	e_r	48.8	48.3	48.8	48.2	46.9	46.3	46.8	46.3	44.4	43.9	44.4	43.8	42.4	41.9	42.4	41.8	45.3
10	b_k_l	61.8	59.7	62.4	60.3	59.3	57.2	60.0	57.8	54.9	52.8	55.6	53.4	52.4	50.3	53.1	51.0	56.4
11	h_b_1	35.3	31.8	34.7	31.2	35.5	32.0	34.9	31.5	33.9	30.4	33.3	29.8	34.1	30.6	33.5	30.1	32.7
12	s_b	49.2	44.4	48.4	43.6	48.6	43.8	47.7	42.9	49.0	44.2	48.1	43.3	48.3	43.5	47.4	42.6	45.9
13	f_b	52.3	42.9	54.0	44.7	51.8	42.4	53.5	44.2	54.6	45.3	56.4	47.1	54.1	44.8	55.9	46.6	49.4
14	h_b_2	39.9	34.6	37.3	31.9	39.8	34.4	37.1	31.8	39.0	33.6	36.3	30.9	38.8	33.5	36.2	30.8	35.4
15	h_l	19.7	19.9	19.3	19.5	18.6	18.8	18.3	18.4	18.7	18.8	18.3	18.5	17.6	17.8	17.2	17.4	18.6
16	f_l	27.4	27.5	26.1	26.2	25.3	25.4	24.0	24.1	26.0	26.1	24.7	24.8	23.9	24.0	22.6	22.7	25.1

모형 8 : 키와 같은 길이 치수는 크고, 나머지 치수는 작음

모형 9 : 키와 같이 길이 치수만 작고, 나머지 치수는 모두 큼

모형 10 : 키, 두께, 넓이 치수는 작고 작업 영역, 앉은키 관련 치수는 큼

모형 11 : 키, 앉은 키 관련 치수는 작고, 작업 영역, 두께, 넓이 관련 치수는 큼

모형 12 : 작업 영역 관련 치수만 크고, 나머지 치수는 모두 작음

모형 13 : 키, 작업 영역 관련 치수는 작고, 앉은키, 넓이, 두께 치수는 큼

모형 14 : 앉은 키 관련 치수만 크고, 다른 치수는 작음

모형 15 : 두께, 넓이 치수만 크고 다른 치수는 작음

모형 16 : 모든 치수가 작음

모형 17 : 각 치수의 평균 값으로 구성된 모델

이와 같은 특성을 가지는 모형을 CAD 도면으로 표현하여 컴퓨터 상에 구현한 것이 그림 2에 제시되어 있다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

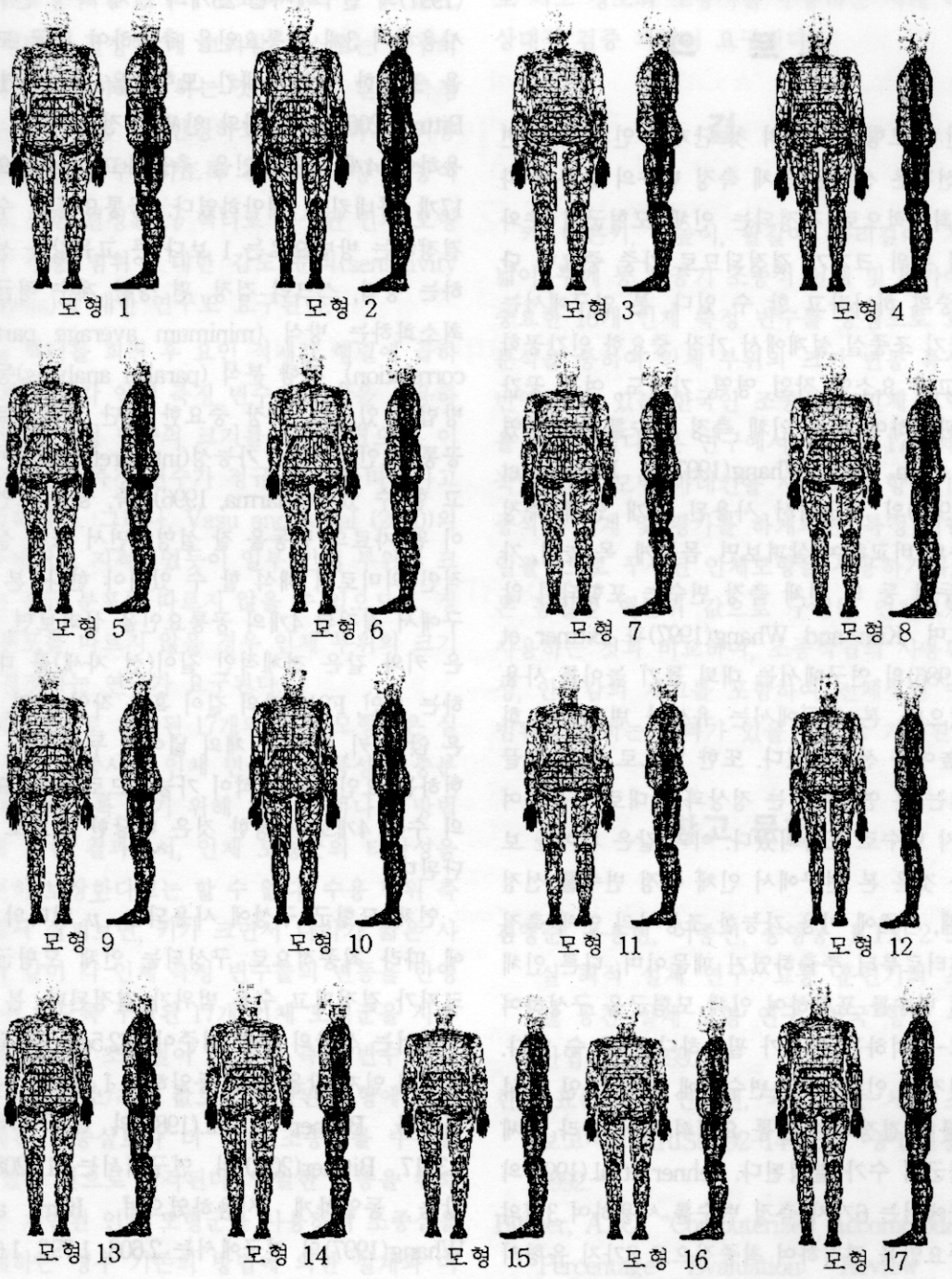

그림 2. 한국인 조종사 인체 모형군의 CAD 모형

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

4. 토 의

인체 모형군 구성의 첫 단계인 인체 측정 변수 선정은 선정된 인체 측정 변수의 종류에 따라 최종적으로 결정되는 인체 모형군의 수와 인체 부위 크기가 결정되므로 가장 중요한 단계 중의 하나라고 할 수 있다. 본 연구에서는 항공기 조종실 설계에서 가장 중요한 인간공학적 고려 요소인 작업 영역, 가시도, 여유 공간과 관련하여 16개 인체 측정 변수를 선정하였다. Kim and Whang(1997)과 Bittner et al.(1986)의 연구에서 사용된 25개 인체 측정 변수와 비교하여 살펴보면, 몸무게, 목 높이, 가슴 두께 등 의 인체 측정 변수는 포함되지 않았으며, Kim and Whang(1997)과 Bittner et al.(1986)의 연구에서는 대퇴 돌기 높이를 사용하였으나, 본 연구에서는 유사한 변수로서 회음 높이가 선정되었다. 또한 앞으로 뻗은 손끝 길이는 본 연구에서는 정상과 최대로 구분하여 2가지 변수로 포함되었다. 이와 같은 차이를 보이는 것은 본 연구에서 인체 측정 변수를 선정할 때, 기존에 이용 가능한 조종사의 인체 측정 데이터로부터 추출하였기 때문이며, 다른 인체 측정 변수를 포함하여 인체 모형군을 구성하여 비교-분석하는 연구가 필요하다고 할 수 있다.

선정된 인체 측정 변수들에 대한 요인 분석을 통해 결정되는 공통 요인의 수에 따라 인체 모형군의 수가 결정된다. Zehner et al.(1993)의 연구에서는 6가지 측정 변수를 사용하여 3개의 공통요인을 결정하여 최종적으로 8가지 유형의 마네킨을 구성하였으며, Kim and Whang (1997)의 연구에서는 25개의 인체 측정 변수를 사용하여 3개 공통요인을 추출하여 평균 모형을 포함한 9개 마네킨 모형군을 구성하였다. Bittner(2000)는 17개의 인체 측정 변수를 사용하여 4개 공통요인을 추출하고, 최종적으로 17개 마네킨을 제안하였다. 공통요인의 수를 결정하는 방법으로는 1 보다 큰 고유값을 선택하는 방법, 스크리 검정, 편 상관 계수 평균을 최소화하는 방식 (minimum average partial correlation), 평행 분석 (parallel analysis)등의 방법이 있으나, 가장 중요한 판단 기준으로는 공통 요인의 해석 가능성(interpretability)이라고 할 수 있다(Sharma, 1996). 즉, 공통 요인들이 원 자료의 변동을 잘 설명하면서 또한 실제적인 의미로서 해석 할 수 있어야 한다. 본 연구에서 결정된 4개의 공통요인을 살펴보면, F1은 키와 같은 전체적인 길이(선 자세)를 대표하는 요인, F2는 팔의 길이 혹은 작업 영역, F3은 앉은 키, F4는 신체의 넓이나 두께 등을 표현하는 요인으로 해석이 가능하므로 공통 요인의 수를 4개로 결정한 것은 타당한 것으로 판단된다.

인체 모형군 구성에 사용되는 $\bar{v}$ 벡터의 값에 따라 최종적으로 구성되는 인체 모형군의 크기가 결정되고 수용 범위가 결정된다. 본 연구에서는 신장의 하한 기준이 162.5cm 가 되도록 4개 인자 값을 모두 동일하게 1.4810을 사용하였다. Bittner et al.(1987)의 연구에서는 1.3517, Bittner(2000)의 연구에서는 1.2208의 값을 동일하게 사용하였으며, Kim and Whang(1997)의 연구에서는 2.603, 1.792, 1.672를 사용하였는데, $\bar{v}$ 벡터를 적절하게 결정하

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

는 방법에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다. $\bar{v}$ 벡터를 결정할 때 고려할 요소로는 연구의 목적에 부합하도록 하는 것과 함께, 인체 측정 변수의 변동을 잘 반영하도록 결정하고, 최종 수용 범위에 부합하도록 결정하는 방법 등이 있다. 또한 결정된 $\bar{v}$ 벡터로 구성된 인체 모형군의 수용 범위에 대한 감도 분석(sensitivity analysis)에 대한 연구도 요구된다.

$\bar{v}$ 벡터를 회전 후 요인 적재값 행렬에 곱하여 계산된 각 인체 측정 변수의 z 값을 사용하여 인체 측정 변수의 크기를 결정하였으며, 이 때 각 인체 측정 변수가 정규 분포를 따른다고 가정하였다. 그러나, Vasu and Mital (2000)의 연구에서도 지적되었듯이 일부 인체 부위의 크기는 정규 분포를 따르지 않을 수 있으므로, 정규 분포를 따르지 않을 경우 인체 부위의 크기를 결정하는 연구가 요구된다.

최종적으로 제안된 17개의 인체 모형군은 실제 공군 조종사의 인체 변수들의 특성을 충분히 반영하도록 하기 위해 제안된 하나의 방법론에 의한 결과로서, 인체 모형군의 타당성을 완전히 보장한다고는 할 수 없다. 수용 범위 측면에서 살펴보면, 키가 크면서 다리가 짧은 사람과 같이 각 인체 측정 변수들의 변동을 반영할 수 있도록 구성된 17개 인체 모형군을 사용하여 설계한 조종실이 각 인체 측정 변수의 평균, 혹은 최소/최대 값으로 구성된 모형에 의해 설계된 조종실보다 더 많은 조종사를 수용할 수 있을 것으로 생각된다. 엄밀한 검증을 위해서는 제안된 인체 모형군을 사용하여 조종실을 설계하는 경우 기존의 방법에 의한 설계와 어느 정도의 차이를 보이는지를 살펴보고, 실제로 어느 정도의 조종사를 수용하는 지에 대한 상대적 검증 과정이 요구된다.

5. 결 론

키, 앉은키, 눈높이, 팔길이, 다리길이, 가슴넓이, 두께 등 항공기 조종석 설계 및 평가에서 중요한 16개 인체 측정 변수를 중심으로 요인분석을 통하여 인체 부위의 크기 변동 특성을 반영할 수 있는 한국인 조종사의 인체 모형군을 구성하였다. 본 연구에서 구성된 17가지 한국인 인체 모형 마네킨을 사용하여 항공기 조종석의 설계 및 평가를 하게되면, 특정 비율로 일괄적으로 구성된 인체모형을 사용하거나, 혹은 동일한 백분위 값으로 구성한 인체모형을 사용하는 것과 비교하여, 조종작업의 사용편의성, 안락감의 제고를 포함하여 전체적인 수용범위를 넓히는 효과가 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

김영준, 윤용현, 이종선, 송영웅, KTX-2 조종실 최적 설계 연구: 고등 훈련기의 조종실 공간 설계 모형 연구, 항국 항공 우주 산업(주), 1999.

한국 표준 과학 연구원, 국민 표준 체위 조사 보고서, KRISS-92-144-IR, 공업진흥청, 1992.

Bittner, A. C., "Computerized Accommodated Percentage Evaluation: Review and Prospects." Proceedings 6th Congress of

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

the International Ergonomics Association, 157-164, 1976.

Bittner Jr., A. C., "A-CADRE : Advanced Group of Manikins for Workstation Design." Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 congress, 6-774 - 6-777, 2000.

Bittner, A. C., Wherry, R. J. and Glenn, F. A., Cadre : A family of Manikins for Workstation Design, Naval Air Development Center, Technical Report 2100.0713, 1986.

Harmon, H., Modern Factor Analysis, Chicago, IL: University of Chicago Press, 1975.

Kim, J. H. and Whang, M. C., "Development of a Set of Korean Manikins.", Applied Ergonomics, 28, 407-410, 1997.

Roebuck, J. A., Kroemer, Jr, K. H. and Thomson, W. G., Engineering Anthropometry Methods, Wiley, New York, 1975.

Sharma, S., Applied Multivariate Technique, John Wiley & Sons Inc., 1996.

Vasu M. and Anil Mital, "Evaluation of the Validity of Anthropometric Design Assumptions.", Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 congress, 6, 304-306, 2000.

Zehner G.F., Meindl R.S. and Hudson J.A., A Multivariate Anthropometric Method for Crew Station Design, SSA R&D technical report, 1993.

저자 소개

◈ 이종선

공군사관학교/서울대학교 산업공학 학사
포항공과대학교 인간공학 석사
미국 Texas A&M 대학교 안전공학 박사
공군사관학교 산업공학과 조교수
관심분야 : 작업역학, 안전공학 및 체계개발

◈ 송영웅

포항공과대학교 산업공학 학사
포항공과대학교 인간공학 석사
포항공과대학교 인간공학 박사과정
관심분야 : 안전공학, 생체역학

논문접수일 (Date Received): 2001/12/8
논문게재승인일(Date Accepted): 2002/3/1

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.