

AutoCAD를 이용한 한국인 인체모형의 개발

강동석, 박성준, 정의승
포항공과대학 산업공학과

인간-기계 시스템 (Man-Machine System)의 구조가 점점 복잡해짐에 따라 제품의 설계단계에서 인간과 시스템간의 상호작용 (Interaction)을 고려하기 위하여 인간-기계 인터페이스 모형 (Man-Machine Interface Model)의 개발 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 인체모형과 관련된 인체변수들을 추출하여 Database화한 후, AutoCAD를 이용하여 컴퓨터로 구현하였다. 인체모형의 구축에서는 Robotics에서 사용하는 Denavit-Hartenberg Notation과 같은 체계적인 좌표계를 이용하여 기존의 인체모형 연구결과들을 쉽게 적용할 수 있도록 하였다. 한편, 본 인체모형은 범용 CAD Package인 AutoCAD를 이용하여 구현함으로써 SAMME등에서 볼 수 있는 인간공학적인 평가를 PC수준에서 가능하도록 하였다. 본 시스템을 이용함으로써 제품의 설계단계에서부터 인간공학적인 요소들을 고려할 수 있을 뿐만 아니라 기존 제품의 평가에도 유용하게 사용할 수 있으리라 기대된다. 한국인을 대상으로한 인체모형의 개발이라는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

1. 서론

과학기술의 급속한 발전에 따라 인간-기계 시스템 (Man-Machine System)의 구조가 점점 복잡해지고 있으며 시스템내에서 인간이 차지하는 비중 또한 커지고 있는 추세이다. 기술의 발전은 인간-기계 시스템에서 기계에 의한 제약을 상당부분 제거할 수 있게 하였으며 현재의 인간-기계 상호작용 (Man-Machine Interface, MMI System)상에서 전체 수행도에 제약을 주고 있는 것은 인간의 작업성능이라 할 수 있다. 따라서 제품의 설계단계에서부터 인간을 고려함으로써 시스템내에서 인간의 작업성능을 높이는 일은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 그러나 설계단계에서 인간의 제 특성을 고려하기에는 현실적으로 많은 어려움이 존재하고 있으며 대상기법 또한 손쉽게 사용할 수 없는 실정이라 할 수 있다. 설계단계에서 인간을 고려하는 것은 사용자의 기기 조작성을 높임으로써 작업 수행도를 증진시키는 효과외에도 시스템 내에서의 안전도를 높여주며 사용자의 편의성을 고려하게 됨으로써 상품으로서의 부가가치를 증대시키는 효과가 있다. 또한 개발과정에서 인간공학적 요소가 고려되지 않을 경우, 결함발생시 Feedback이 늦어지게 되며 이로 인한 수정,보완시 많은 시간 및 비용의 낭비를 초래하게 된다. 시스템의 설계단계에서 인간의 제 특성을 고려하기 위해서는 시스템내에서의 인간의 작용을 표현할 수 있으며 인간공학적 기준에의한 분석이 가능한 인간공학적 모형 (Ergonomic Man Model)이 필요하다. 그러나 이러한 인간공학적 모형들은 서구를 중심으로 개발되어왔기 때문에 한국인의 인체 특성을 표현하기에는 많은 제약이 있는 실정이다. 또한 개발된 인체모형을 시스템 설계자들이 설계단계에서 손쉽게 사용하기가 쉽지 않은 실정이다.

인체모형의 개발에는 Anthropometric Database의 구축이 필수적이라고 할 수 있으나 현재는 그러한 작업에 대한 관심이 낮을 뿐만 아니라 모형의 구축에 필요한 측정대상 부위조차 결정되지 않은 상태이다. 본 연구에서는 인체모형개발에 필요한 인체변수를 정의한 후 국내에서 측정된 자료를 수집하여 한국인의 체형을 표현할 수 있는 Anthropometric Database를 구축하려 한다. 인체모형의 구축에는 Robotics에서 이용되는 D-H (Denavit-Hartenberg) Notation과 같은 체계적인 좌표계를 이용하여 인체의 각 지체를 표현함으로써 기존의 인체모형 관련 연구결과들을 손쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 한편, 본 연구에서는 시스템 설계에 많이 이용되는 범용 CAD Package인 AutoCAD를 이용하여 인체모형을 개발함으로써 시스템 설계자들이 개발단계에서 인간과 시스템을 함께 고려하기 용이하도록 하려 한다. 또한 SAMME등을 이용하여 수행된 인간공학적 평가가 PC수준에서 가능하도록 개발함으로써 사용의 편리성을 높히려 한다.

2. 지체의 표현방식

인체모형을 표현하는 방식은 관절 (joint)과 관절을 지체(segment)로 연결하는 것이고, 이 Node들을 전체적으로 일관되게 연결시켜야 하는것으로, 그 방식에는 크게 두가지가 있다. 첫째는 Joint와 Joint를 line으로 연결하는 것으로서 이러한 방식으로 표현된 것으로는 Stick man을 생각할 수 있다. 둘째는 Joint와 Joint를 연결함에 있어 지체의 근육모양을 고려하여 표현하는 방식으로써 현재 대부분의 Model이 이와 같은 방식을 따르고 있다. 여기서 한가지 유의해야하는 점은 지체 표현방식으로써 간단한 Wireframe으로 표현할 수도 있고, Surface를 고려한 형태로도 가능하다[6]. 이러한 방법들 중 선택의 기준이 되는것은 실현속도(Speed)와 실제성(Reality)과의 절충(Trade-Off)문제라고 할 수 있다. 간단한 모양인 경우, Speed는 높아지는 반면, Reality가 떨어지고, Solid의 형태등으로 표현할 경우 Speed는 떨어지지만 훨씬 Real한 형상을 얻을 수 있다. 따라서 지체표현방식은 개발하고자 하는 인체모형의 목적에 따라 결정하는 것이 바람직하며, 표현방식을 사용자가 지정하는 경우도 생각할 수 있다. 본 연구에서는 기본적으로 모든 지체를 그림 1과 같은 육각기둥의 형태로 표현하였으며, 머리부분과 발에 대해서는 약간의 보정을 가했다.

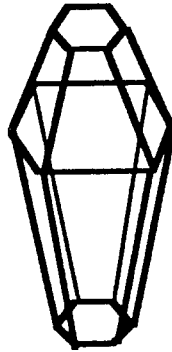


그림 1. 지체의 표현방식

인체의 모든 지체는 곡선의 형태를 나타내고 있으나 이를 그대로 컴퓨터에서 구현한다는 것은 거의 불가능하기 때문에 곡선의 형태에서 각이 진 형태를 만들어주는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 다음의 Data만으로 하나의 지체를 표현할 수 있게 하였다.

- . Proximal쪽 끝점에 대한 장축, 단축의 길이 : P_long, P_short
- . Distal쪽 끝점에 대한 장축, 단축의 길이 : D_long, D_short
- . 최대반경에 대한 장축, 단축의 길이 : M_long, M_short
- . 최대반경의 중심점 (X, Y, Z)
- . Proximal쪽 끝점에서 최대반경점 까지의 거리 : M_length
- . 지체의 총길이 : Total (length)

위의 Data를 이용해서 지체를 표현하는 Pseudo-code는 다음과 같다.

```

Begin
Get center points for proximal, distal end & max circumference area
For i=1 to 6
  Begin
  Find vertex points for proximal , distal end, max. circumference area-----1,2, 3
  Draw line from 1 to 2, 2 to 3
  If i <> 1
    Retrieve points saved -----4,5,6
    Draw line from 1 to 4, 2 to 5, 3 to 6
  Else
    Store points 1,2,3 as a,b,c
  Endif
  Store point 1,2,3
  Angle increment---->( 60 degree )
  End
Draw line from a to 1, b to 2, c to 3
End
  
```

3. 인체자료 (Anthropometric database)의 구축

본 연구에 사용된 인체측정자료는 공업진흥청의 '국민 표준체위 조사보고서'를 기준으로 하였으며 측정되지않은 부위에 대해서는 조종사 적성연구소의 보고서를 인용하

거나 통계적방법에 의하여 가감하여 구하였다. 본 연구에서 개발된 인체모형은 15 지체 (Segments) - 14 관절(Joints)로 구성되어 있으며 Torso의 경우 L5S1을 기준으로 Upper Torso와 Lower Torso로 구분하였다. 각 지체를 표현하기 위하여 필요한 인체자료는 다음과 같은 방법으로 구하였다.

- . 두께와 너비가 측정된 지체의 경우는 두께와 너비를 각각 그 지체의 단축과 장축으로 정의한다 (Head, Hand, and Torso).
- . 두께 및 너비가 측정되지 않은 지체에 대하여는 단축과 장축의 비율을 미리 규정한뒤 들레를 이용하여 구한다 (Extremity). 팔과 다리의 경우 단면의 장축과 단축의 길이를 같게 하거나(정육각형), 일정한 비율로 하여 표현하여도 무리가 없다고 생각되나 추후 측정시 보완이 있어야 할것으로 생각된다.
- . n^{th} segment의 distal end의 장축, 단축의 길이는 $(n+1)^{\text{th}}$ segment의 proximal end의 장축, 단축의 길이와 같다.
- . 지체의 길이가 측정되지 않은 부위의 경우, 50 Percentile 이외의 데이터에 대하여는 단순가감 방법은 오차를 유발하므로 (Roebuck et al.,1975) 다음과 같은 통계적 방법을 이용하였다.

q-percentile new dimension : M_q

$$M_q = (\overline{M}_x - \overline{M}_y) \pm Z_q \cdot (S_x^2 + S_y^2 - 2r \cdot S_x \cdot S_y)^{1/2}$$

$\overline{M}_x, \overline{M}_y$: mean of known dimension

S_x, S_y : standard deviation of known dimension

r : correlation coefficient of X and Y

정규분포를 가정하여 q-percentile에 해당하는 Z-value를

결정한다 (Roebuck et al.).

이상과 같은 방법으로 구성한 지체의 data format의 내용이 표1에 나타나있다. 용어는 표준체위 보고서에서 사용한 용어를 사용하였다. 발의 경우는 육각기둥의 형태로 표현하는것이 현실성이 떨어지므로 다른 형태로 표현하였다. 발목들레, 발뚝, 발길이, 발높이(바깥 복사점 높이)를 이용하여 모형의 발을 표현하였다. 들레자료로부터 지체의 장축(너비)과 단축(두께)를 구한 경우(팔, 다리)는 장축과 단축의 길이가 같다는 가정을 도입하였다. 아래의 표에서 '없음'으로 표시한 부분은 기존의 인체측정자료들로부터 얻을 수 없는 자료로서, 한정된 수의 피실험자들로부터 계측된 자료를 이용하여 인체모형을 표현하였다. 추후 실시될 인체측정조사에서 보완되어야 할 측정부위라고 생각된다.

표1. 인체모형 구성을 위한 데이터

변수	지체	Head/Neck	U Torso	L Torso	U Arm	L Arm	Hand	U Leg	L Leg
P_long	목둘레	배꼽수준 너비	배꼽수준 너비	진동 둘레	팔꿈치 둘레	손목 둘레	없음	선무릎 둘레	
P_short		배꼽수준 두께	배꼽수준 두께						
M_long	두폭	가슴너비	엉덩이너비	상완 둘레	전완 둘레	최대 손너비	대퇴 둘레	하퇴 둘레	
M_short	두장	가슴두께	엉덩이두께			최대 손두께			
D_long	목둘레	견봉너비	배꼽수준 너비	팔꿈치 둘레	손목 둘레	손목 둘레	선무릎 둘레	발목 둘레**	
D_short		진동둘레*	배꼽수준 두께						
M_length	눈높이- 경추높이	유두높이- 배꼽높이	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음
Total	신장- 경추높이	경추점~ 장흉점길이	배꼽높이- 치골높이	팔앞은- 은- 팔뒤 길이 전완 길이	전완 길이	손길이	아랫 다리 길이#	치골 높이- 발 뒤 높이	

* : 진동둘레로 부터 상체(Upper Torso) 윗부분의 두께를 추정.

** : 한국군 장병 신체자료로부터 추출

: 조중사 적성연구소 보고서로부터 추출

한편, Link length와 Segment length 와의 관계는 한국인을 대상으로한 연구 결과가 부재하여 알려져있는 서양인의 관계를 원용하였다. 향후 인체측정학 연구시 보완되어야 할 사항이라고 생각된다. 본 연구에서는 인체자료 Database를 5, 10, 50, 90, 95 Percentile에 대하여 구축하였으며 남녀 성인으로 국한하였다.

체형(Somatotype)의 표현은 Rohrer Index를 이용하여 결정하였으며 3 등급으로 구하였다.

$$\text{Rohrer Index } R = (\text{Weight}(\text{kg}) / \text{Height}^3(\text{cm})) * 10^5$$

---> $R < 1.2$: Ectomorph

$1.2 < R < 1.5$: Mesomorph

$1.5 < R$: Endomorph

사용자가 신장과 체중을 입력하거나 체형을 선택하여 사용하도록 한다.

Man-Modeling에 사용되는 Somatotype Data는 사용자가 선택한 체형에 따라 Volumetric Dimension (가슴둘레, 허리둘레 등)을 이용하여 결정한다.

4. 인체모형의 구성

인체모형의 구성은 단순한 Graphic Presentation의 의미보다는 동작시 계산상의 잇점, Kinematic Calculation등을 위해 서, Database에서와같이 Tree구조를 가지는 것이 타당하다고 알려져 있다. 이미 개발된 모형들을 살펴보면 단지 출발점(기준점)이 어디인가 하는 점에서 비롯된 차이점 외에는 구조상으로는 거의 같은 형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 Man Modeling에 앞서 기준점의 결정이 선행되어야 한다. 그 기준으로는 먼저 Stable한 상태에 있는 것이어야 하며, Non-extreme Segment가 되어야 함을 고려할 수 있다. 즉, 움직임이 적고 무게가 나가는 지체를 선택해야 한다. 역학적으로도 무게중심(Center of Gravity)가 비교적 변하지 않는 지체를 기준으로 다른 지체의 운동을 표현하는 것이 훨씬 정확하고 안정된 결과를 얻을 수 있다. 이와 같은 점들을 고려한다면 Lower Torso를 기준으로 하는 것이 바람직한 결과를 얻을 수 있다. 구현된 인체모형의 계층도는 그림 2와 같다.

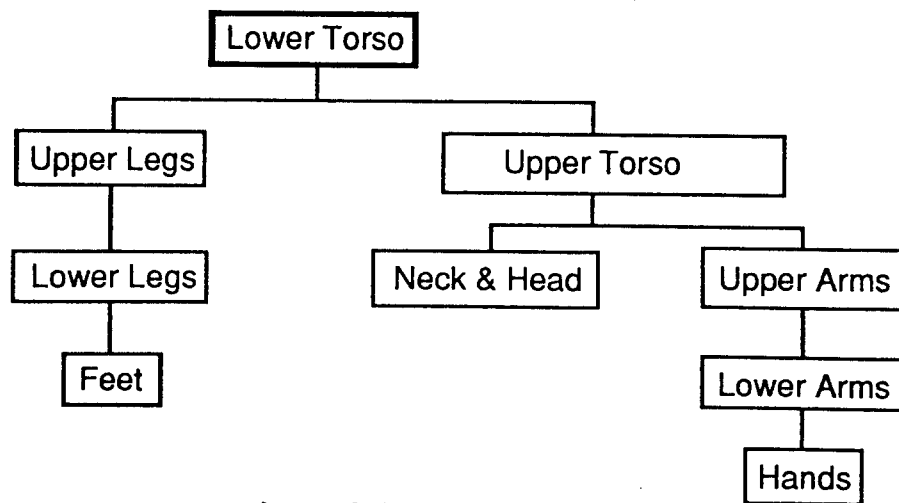


그림 2. 인체모형의 계층도

5. Joint System

인체모형의 동작을 표현함에 있어서, 선행되어야 하는 작업은 모형에서 가능한 동작들을 정의하는 것으로, 이러한 동작들은 기본적으로 인체의 각 관절(Joint)을 어떠한 종류의 것으로 정하는가에 따라 달라지며 결국 관절의 자유도에 관한 문제로 생각할 수 있다. 인

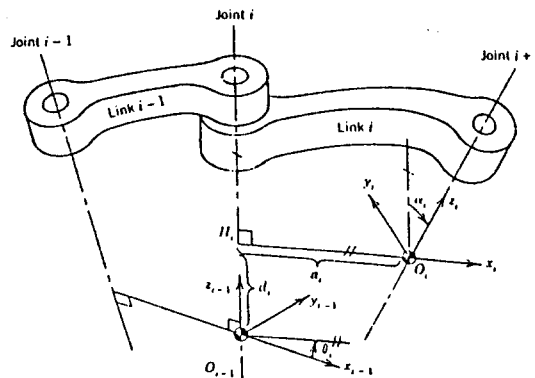
체모형의 자유도가 높을수록 더 세밀한 동작의 표현이 가능하지만 계산상의 문제와 모형의 복잡성등을 고려하여, 어느정도의 단순화된 표현방식을 따르는 것이 타당하다. 인체의 관절은 크게 Spherical Joint와 Revolute Joint로 나눌수 있으며, Spherical Joint는 3개의 Revolute Joint로 표현할 수 있다. 본 모형에서는 총 14개의 Joint가 존재하며, 이들에 대한 정의가 표 2에 나타나있다.

표 2. 각 관절의 정의 (S=Spherical Joint, R=Revolute Joint)

Shoulder	Elbow	Wrist	Knee	Ankle	Head & Neck	Hip	Torso
S	R	R	R	R	S	S	S

6. Coordinate System

관절의 종류를 결정한 후에는 그에 맞는 Coordinate System을 정의하여야만, 한 지체가 움직였을때의 위치를 계산할 수 있다. 기준이 되는 지체를 LowerTorso로 생각 하고 이에 따라서 다른 지체를 상대적으로 표현해야 하는데, 이러한 Coordinate System을 정의하는 방법으로 D-H(Denavit-Hartenberg) Notation이 있다. D-H notation은 Kinematic Chain간의 관계를 정의하는 방법으로, 모든 지체의 움직임을 4x4의 행렬로 표현하여, 행렬의 곱만으로 지체의 위치를 알 수 있다. DHNotation을 사용하는데 따른 잇점은 최소한의 Parameter로 Link간의 관계를 정의할 수 있으며 Robotics에서 행해진 연구결과들을 쉽게 이용할 수 있다는 점에 있다. D-H Notation의 정의를 살펴보면 그림 3과 같다.



- a_i : the length of common normal
- d_i : the distance between the origin O_i and the point H_i
- α_i : the angle between the joint axis i and z_i axis
- θ_i : the angle between the x_{i-1} axis and the common normal $H_i O_i$ measured about the z_{i-1} axis

그림 3. Denavit-Hartenberg Notation

또, D-H Notation에 대한 Parameter를 찾기 이전에, 각 Joint의 Axis들을 정의해야 하는데 그 방식은 다음과 같다.

- the z_{i-1} axis lies along the axis of motion of the i th joint
- the x_i axis is normal to the z_{i-1} axis, and pointing away from it
- the y_i axis completes the right-handed coordinate system

D-H Notation에 따라 지체의 Coordinate System을 표현한 것이 그림 4에 있으며, 이에 대한 Parameter는 표 3에 있다(편의상 우측 상지 부분만 수록).

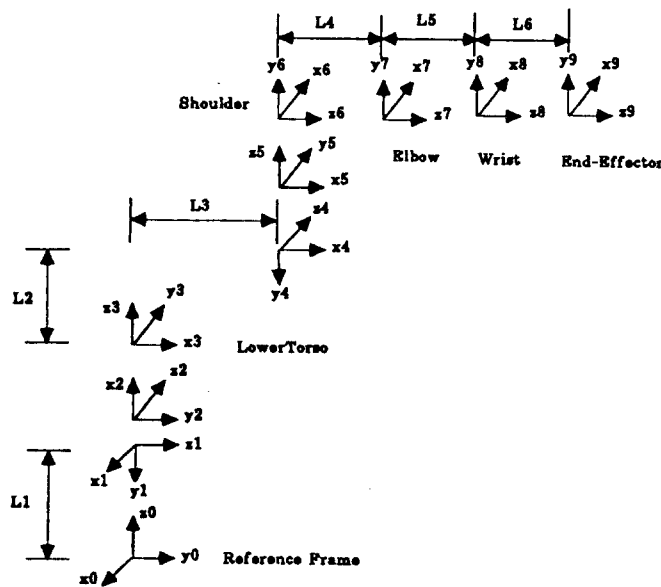


그림 4. 인체의 Coordinate System

표 3. D-H Notation Parameters

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a_i	-90	90	90	-90	90	90	0	0	0
a_i	0	0	0	L_3	0	0	L_4	L_5	L_6
d_i	L_1	0	0	L_2	0	0	0	0	0
θ_i	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9

7. 신체운동의 제한범위 (Range of Movement)

팔, 다리 및 다른 신체부위의 기본적인 동작에는 굴전(Flexion), 신전(Extension), 내전(Adduction), 외전(Abduction), 내선(Medial rotation), 외선(Lateral rotation), 그리고 하향(Pronation), 상향(Supination) 등이 있다. 이러한 각 신체의 동작에는 제한된 영역이 있어 그 이상은 움직이지 못하므로 인체모형의 자세를 바꿀 경우 제한영역 밖의 움직임을

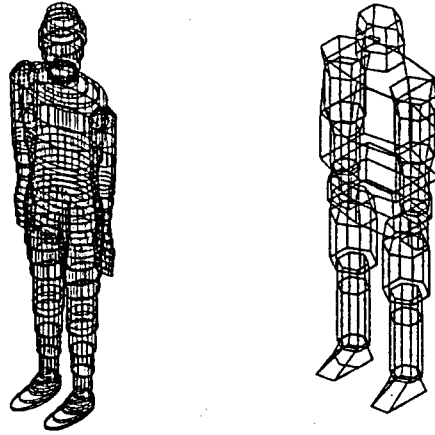
입력하여서는 안된다. 한국인을 대상으로 한 이러한 연구가 이루어져 있지 않으므로 Dempster(1955)의 자료를 이용하여 인체모형의 운동제한범위를 결정하였다(표 5).

표 5. 각 지체(관절)의 운동 제한범위

관절	동작형태	각도	관절	동작형태	각도
손목	Flexion	94.6	엉덩이	Flexion	117.1
	Extension	102.0		Abduction	58.0
	Abduction	25.1		Adduction	27.7
	Adduction	46.3			
전완	Supination	100.6	무릎	Flexion	123.8
	Pronation	74.0	발목	Flexion	39.0
어깨	Flexion	193.2		Extension	41.6
	Extension	63.0	발	Inversion	23.4
	Abduction	132.1		Eversion	23.2
	Adduction	50.8			
	Medial Rotation	95.7			
	Lateral Rotation	30.7			

8. AutoCAD를 이용한 인체모형의 구현

위에서 언급한 내용을 기본으로하여 한국인의 인체특성을 갖는 Ergonomic Man Model을 AutoCAD를 이용하여 구현하였는데, 본 연구에서는 지체표현방식을 크게 두가지로 나누어서 각각 Wireframe과 Solid 모양으로 표현하였다(그림 5). Solid 형태의 경우(그림 5-a), 외관은 매끄럽게 표현되는 반면 구현속도가 느린 단점이 있으나, Wireframe으로 표현된 것(그림 5-b)은 인체모형의 외관은 매끄럽지 않으나 구현속도가 빠른장점이 있다. 본 인체모형을 이용하여 시스템내에서(자동차 실내공간, 항공기의 조종실, 기타 작업공간) 작업자의 기기 조작성 (Reach), 시야(Visibility) 등을 분석할 수 있다. 따라서 설계자가 제품 또는 시스템의 설계단계에서 이러한 인간공학적인 평가요소들을 고려할 수 있게 됨으로서 작업수행도의 향상을 꾀할 수 있을 뿐만아니라 상품의 부가가치를 증대 시킬수가 있게 되었다. 특히 본 인체모형은 공학설계에 널리 이용되는 AutoCAD를 이용하여 개발됨으로써 시스템 설계자들이 사용하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 한편, 기존의 인체모형들과는 달리 본 모형은 Personal Computer상에서 사용이 가능하게 개발됨으로써 많은 사람들이 손쉽게 사용할 수 있다고 생각된다.



(a) Solid 형태 (b) Wireframe 형태

그림 5. 인체모형의 예

참고문헌

1. 조종사 적성연구소, 조종석 설계를 위한 조종사 인체 측정, 국방과학 연구소, 1990
2. 한국 표준연구소, 국민 표준체위 조사보고서, 공업진흥청, 1986
3. 한국 표준연구소, 한국군 장병의 신체변수 분석연구, 국방과학 연구소, 1988
4. Asada, H., and Slotine, J.-J.E., Robot Analysis and Control, John Wiley & Sons, 1986
5. Dempster, W.T., Space Requirements of the Seated Operator, Technical Report, WHDC 55-159, Wright-Patterson AFB, Ohio: Wright Air Development Center, 1955
6. Dooley, M., Anthropometric Modeling Programs - Survey, IEEE Computer Graphics and Applications, 2, 17-25.
7. Porter, J.M., Case, K. and Bonney, M.C., Computer Workspace modeling, Taylor and Francis, pp.472-499
8. Roebuck, J.A. et al., Engineering Anthropometry Methods, John Wiley & Sons, 1975