

〈論 文〉

# 한국인 20대 청년 인체분절의 관성특성에 관한 연구

이영신\* · 임현균\*\* · 김철중\*\*\* · 이남식\*\*\*\* · 박세진\*\*\*

(1993년 12월 20일 접수)

## Biodynamic Characteristics of Korean Male in Twenties-Mass, Center of Mass and Moment of Inertia Characteristics of Body Segments

Young-Shin Lee, Hyun-Kyun Lim, Chul-Jung Kim, Nahm-Sik Lee and Se-Jin Park

**Key Words :** Korean(한국인), Density(밀도), Mass(질량), Center of Mass(질량중심), Moment of Inertia(관성모멘트), Regression Equation(회귀방정식)

### Abstract

The body segment parameters of twelve young male Korean were measured to compare with the results of foreign cadaver studies. A human body was assumed to have fourteen body segments. The mass of each segment was measured with a water immersion test and the mass center of a segment was determined on the balance platform by changing postures. In the the case of Korean, because of the difference in body proportion, the mass center of whole-body is located further from the distal end of head(Korean : 44.9% vs. Caucasian : 41.2%), and the mass center of each segment also located in different proportional locations. The existing regression equations, which can estimate segment mass based upon the anthropometric dimensions, estimates segment mass (the mass of shank) for Korean with 13% error. Therefore, it is not recommended to estimate the mass, and the moment of inertia of body segment of Korean based on the existing equations. However, the density information of body constituents was similar enough to apply it to Korean density. It was validated by the comparison between the results of the direct immersion method and 3-dimensional volume reconstruction of segment from the cross sectional images of CT-scan. The average body density measured from twelve subjects was 1.035 kg/m<sup>3</sup> and showed deceasing tendency.

### 기 호 설 명

$D$  : 분절의 밀도

$h$  : 분절길이

$I_L$  : 길이방향 축에 관한 관성모멘트

$I_T$  : 수직방향 축에 관한 관성 모멘트

$k_i$  : 비선형 회귀방정식에 쓰인 관성모멘트 계수

$p_i$  : 분절둘레

$S$  : 초기값

$S^1$  : 자세변형후 변화된 값

$w_i$  : 분절의 무게

$x_i$  : 참고점으로부터의 거리

$Y$  : 분절질량

$CM$  : 분절질량중심

\*정회원, 충남대학교 기계설계공학과

\*\*대우중공업(주) 우주항공연구소

\*\*\*한국표준과학연구원 인간공학연구소

\*\*\*\*한성대학교

### 1. 서 론

인간거동의 근본을 이루는 자료는 정적인 자료로

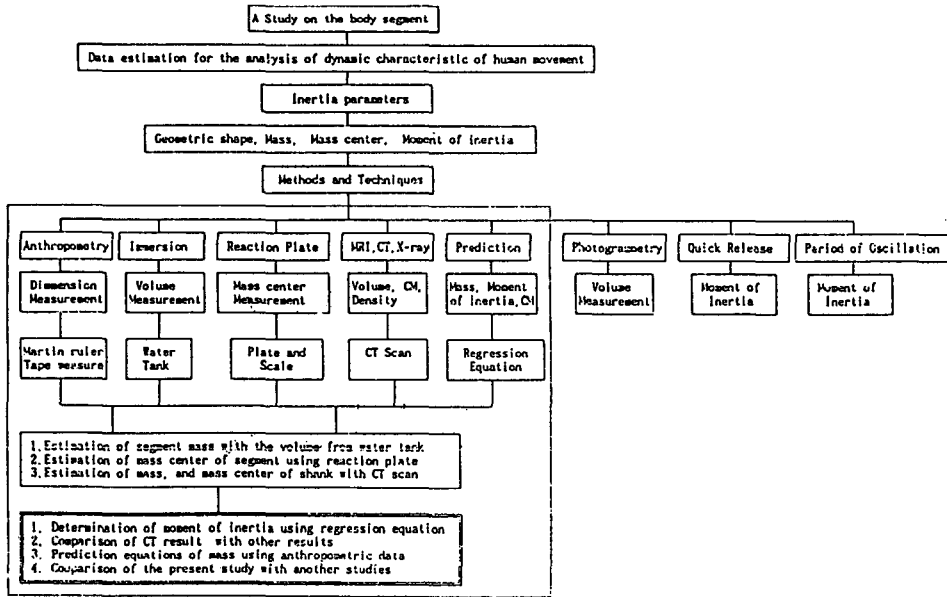


Fig. 1 Flow chart of biodynamic characteristics of a human body

서 인체 부위별 측정치(길이, 둘레, 폭, 너비, 부피, 질량)가 필요하고 동적인 자료로서는 질량중심과 관성모멘트 등을 들 수 있다. 인간이 여러개의 관절로 이루어진 다관절 시스템이기 때문에 인간의 거동이 연구되기 위해서는 각 관절을 기준으로 나눈 분절에 관한 정보가 필요하다. 이러한 연구는 많은 학자들에 의해 수행되어 왔는데 20세기 중반 이후, Dempster<sup>(1)</sup>과 Drills 그리고 Contini,<sup>(2)</sup> Clauser<sup>(3)</sup> 등은 사체를 이용하여 근본적으로 접근을 시도하였다. 그들은 대부분 장년이후 연령의 사체를 이용하여 직접 분절의 무게를 달거나, 침수법 등으로 부피를 측정하였고, 현가장치(pendulum method)를 이용하여 관성모멘트 또한 직접측정하는 방법을 썼다. 한국인에 대해서는 한국인의 체구성에 관해 박순영<sup>(4)</sup>이 연구하였고, 안재홍<sup>(5)</sup>은 중학생의 분절질량에 대해 연구를 하였다.

그러나 인간의 거동을 연구하기 위해 필요한 인체분절의 질량, 질량중심, 관성모멘트 등이 한국인에 대해서는 중학생만을 대상으로 분절질량이 연구되었을 뿐 질량중심과 관성모멘트등에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 또한 연구에 참가한 피실험자의 연령도 낮은 편이며, 인종학적인 측면에서 인종을 구분하면 크게 (1) 몽고리안 (2) 코카지안 (3) 이디오피안 등으로 나눌 수 있는데,<sup>(6)</sup> 몽골인종에 속해있는 한국인 인체분절의 질량값을 예측할 때

코카서스 인종을 대상으로 이미 연구된 예측기법이 얼마만큼 타당성을 갖는지도 알 수 없는 일이다.

본 연구에서는 20세부터 30세까지의 청년 남성으로 구성된 12인의 표본집단으로부터 각 인체분절의 치수(둘레, 길이)와 밀도 및 부피, 질량, 질량중심, 관성모멘트 등을 연구했다. Fig. 1에 본 연구의 흐름도를 도시하여 놓았다.

## 2. 인체 계측실험

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 부피 측정장치 — 침수조

Archimedes의 원리를 이용한 측정방법으로, 장비로는 사지(四肢)와 전신을 측정하기 위해 2개의 수조를 투명한 아크릴판으로 제작하였고 손, 발을 측정하기 위해서는 작은 비이커를 사용했다. 수조 중 작은 수조의 크기는 300×500×1100×15(mm)이고 큰수조의 크기는 900×1200×1200×15(mm)이었으며, 수압을 견딜 수 있도록 하기 위해서 30×30×1(mm)인 사각봉으로 지지하였다.

#### 2.1.2 질량중심 측정장치 — 평형판

장비는 2420×900×15(mm) 베니어합판과 최대 150 kg까지 측정가능한 저울, 평판의 원활한 회전

을 위해 축으로 쓰인 베어링 2개로 이루어졌다.

2.2 실험방법

2.2.1 침수법에 의한 분절부피 측정

Table 1에서는 본 연구에서 사용한 분절의 정의가 보이고 있다. 분절하는 방법은 Dempster<sup>(1)</sup>와 Clauser<sup>(3)</sup>의 방법을 사용했으며 실험에 임해서는 표시점(land mark)를 사용하여 정확도를 기했다.

본 실험에서는 인체가 좌우 대칭이라는 가정하에 모든 실험은 오른쪽 사지(팔, 다리)와 전신을 측정하였다. 본 연구에서는 침수후 늘어난 부피를 측정하는 방법을 선택하였고 발부피만은 넘치는 양으로 실험하였다.

Fig. 2에서는 인체분절의 모습을 보이고 있다.

Fig. 3에 사지의 부피를 측정하는 모습을 보이었다.

2.2.2 평형판에 의한 질량중심 측정

본 연구에서 구한 분절중심에 관계된 분절구성은 다음과 같다.

- (1) 전체 몸, (2) 아래팔+손, (3) 전체팔, (4)

종아리+발, (5) 전체 다리

Fig. 4에서 분절질량중심을 측정하는 산출에로서 전신의 질량중심과 종아리와 발이 결합된 분절의 질량중심을 측정하기위한 실험 자세를 보여주고 있다.

각 동작은 약 5~10초간 숨을 멈춘 상태에서 변화된 저울의 눈금을 읽었다. 본 실험에서는 침수법으로 구한 각 분절의 질량을 이용, 평형판위에서 자세를 변화하면 지지반력이 변화하는 원리를 이용하여 각 분절의 질량중심을 측정하였다. 식(2)는 전신의 위치를 구하는 식이고 식(4)는 종아리와 발이 결합된 분절의 질량중심을 구하는 식의 예를 보여주고 있다.

(a) 완전히 옆드린 경우, 모멘트평형식에서

$$w_1x_1 + w_2x_2 = Sx_3 \tag{1}$$

전신의 질량중심까지의 거리  $x_2$ 에 대해 정리하면,

$$x_2 = \frac{Sx_3 - w_1x_1}{w_2} \tag{2}$$

(b) 한쪽 다리를 든 경우, 모멘트평형식에서

$$w_4(x_4 - x_5) = (S - S^1)x_3 \tag{3}$$

Table 1 Division definition for body segments along with Z-axis

Segment	Definition
Head	From the vertex to the segment connecting interspace joint centers between the cervical vertebrae and the thoracic vertebrae.
Upperarm	From the proximal centroid(the center of the exposed ball of the humerus) to the distal centroid(the center of the exposed epicondyles of the humerus)
Forearm	From the proximal centroid(a location like distal centroid of the upperarm) to the distal centroid(the center of the cut surface of the capitae)
Hand	From the proximal centroid(a location like distal centroid of the forearm)
Thigh	From the proximal centroid(the center of the exposed head of femur) to the distal centroid (the center of the epicondyles of the femur just anterior to the intercondyloid fossa of the femur)
Shank	From the proximal centroid(a location like that of the distal centroid of the thigh) to the distal centroid(the center of the exposed talus)
Foot	From the proximal centroid(a location like that of the distal centroid of the shank)
Torso	From a line passing through the proximal centroid(the center of the exposed spinal cord at the level of C-1) to the distal axis point (a point located on the perineum in the mid-sagittal plane)

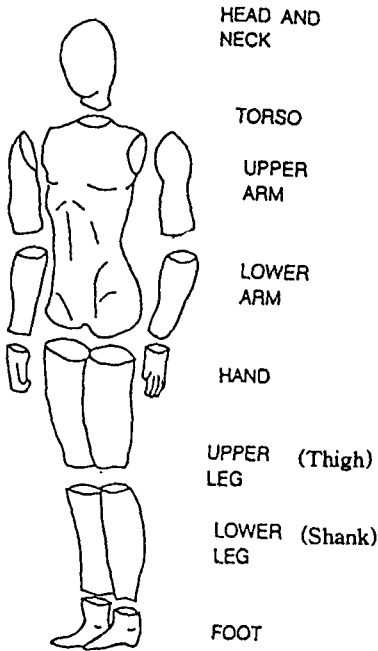


Fig. 2 Segmentation of the whole body

종아리분절의 질량중심까지의 거리  $x_4$ 에 대해 정리하면

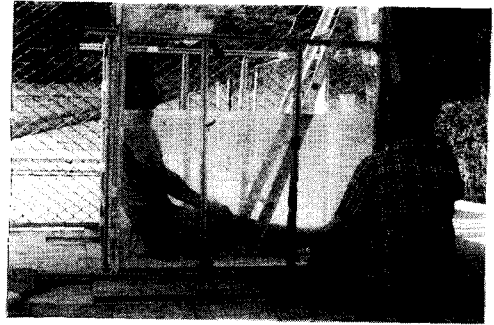
$$x_4 = \frac{(S - S')x_3 + w_2x_5}{w_2} \quad (4)$$

여기서,  $w_1 - w_4$ 는 분절질량,  $x_1 - x_5$ 는 좌표계이다. 또한  $S$ 는 초기 질량값이고  $S'$ 은 자세 변형후의 값이다.

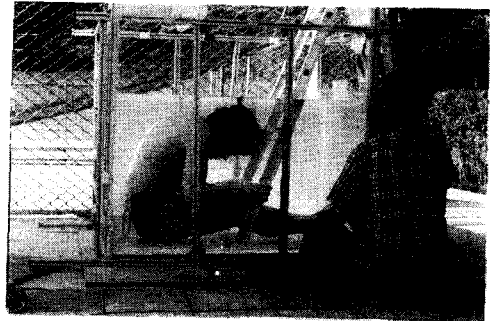
2.2.3 CT촬영에 의한 부피, 질량, 질량중심 측정

본 연구에서는 침수법과 평형판 실험의 검증을 하기 위하여 CT를 이용했다. 침수법 피실험자중 4인을 선정하여 종아리분절의 질량, 질량중심을 산출한 후 침수법으로 실험한 결과와 비교하였다. 사용된 기기는 충남대학교 대학병원이 소유한 GE/CT/T 8800, 제3세대 CT로서, 기기의 특성은 KVP 120, mA 100, PWC 2.2 msec 이었고, scan time은 5.7 sec 였다.

연구방법은 4인의 피실험자의 오른쪽 종아리를 무릎의 슬개골(patella)의 중양을 지나는 기준선으로부터 25 mm간격으로 1.5 mm 두께를 갖는 상을 얻었다. 상의 수는 피실험자의 종아리 길이에 따라 16장에서 19장이었다. 하나의 상에서 뼈와 그 밖의 조직으로 1차적으로 구분하고 뼈의 조직에서 채

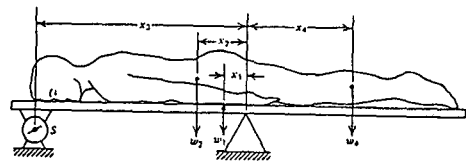


(a)

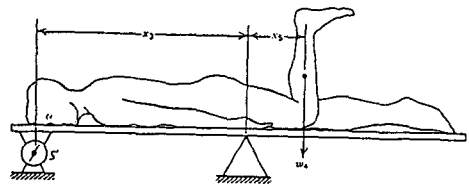


(b)

Fig. 3 Immersion test of limb



(a)



(b)

Fig. 4 Reaction test with plate for MC

지방식을 이용해 지방의 량을 구했다. 모든 상에서 위와 같은 동일 방법으로 뼈의 양, 지방의 양, 뼈와 지방을 제외한 조직의 량으로 구분하고 질량을 구하였다.

3. 인체측정치를 이용한 관성모멘트 측정법

인체분절과 관계된 관성특성들은 다음의 변수들

로 대변된다.

(1) 질량(mass)

(2) 국부좌표계에서 질량중심의 위치벡터(vector of CM)

(3) 회전행렬(rotation matrix)을 통한 국부좌표계에 대해 정의되는 관성의 주축(principle axes of inertia)

(4) 질량중심을 통하는 주축에 관한 관성모멘트(inertia of moment)

인체측정치수(anthropometric dimension)를 이용하여 관성변수들을 계산하는 예측기법(prediction technique)이 가장 잘 쓰인다. 이 기법들은 크게 두개 그룹으로 나뉜다.

(1) 회귀방정식을 통한 평가

(2) 형상학적 근사법

회귀방정식(regression equation)은 사체를 분절하여 현가장치 등을 통하여 실제 실험한 결과를 사체로부터 측정된 인체측정치를 이용하여 결과값을 예측할 수 있는 방정식을 유도하는 것이고, 형상학적 근사법은 각 분절의 형상을 단순화시켜 3차원 도형으로 간주하여 관성모멘트를 계산해 내는 방법이다. 본 연구에서는 기존에 만들어진 회귀방정식을 통하여 관성모멘트 값을 구하였다.

가장 강조되어야 할 점은 예측되는 값은 부분적으로만 유효하고, 그것도 그 결과값 중 몇개만이 생체(living subjects)에서 측정가능하다는 것이다. 관성모멘트를 예측하는데 고려된 체질이 많을수록, 예를 들면 의학적 보행분석과 같은 분야에 폭넓은 응용을 할 수 있다. 회귀방정식이 쓰일 때는 피실험자의 신체 치수와 그 회귀방정식이 유도된 표본 집단의 치수와 비교하여 오차를 고려해야 합리적 값을 얻을 수 있다.

### 3.1 선형 회귀방정식

사체로부터 얻은 자료(Chandler)<sup>(7)</sup>를 이용하여 Hinrichs<sup>(8)</sup>는 선형 회귀방정식을 유도하였다. 인체 측정치(anthropometric measurement)를 이용하여 그는 분절의 질량중심을 통과하는 길이방향(longitudinal)과 수직방향(transverse)에 대한 관성모멘트를 구할 수 있는 선형식을 유도했다. 길이 방향축(longitudinal axis)에 대해서 분절의 형상이 대칭으로 관성값은 같다고 가정되었다. 본 연구의 피실험자 인체 측정범위와 Chandler<sup>(7)</sup>의 피실험자의 자료범위가 상당수 일치하거나 비슷한 범위에

있으므로 이를 토대로 관성모멘트를 구하였다. Chandler가 회귀방정식을 유도한 집합의 몸무게 범위는 59.6~89.2 kg이었고, 키는 164~182 cm였다. 반면 본 연구의 피실험자들 몸무게는 57.7~71.5 kg였고, 키의 범위는 164~175.4 cm이었다. Table 2은 이 샘플을 기초로 유도한 선형 회귀방정식이다.

### 3.2 비선형 회귀방정식

Chandler<sup>(7)</sup>의 자료나 Barter<sup>(9)</sup>의 자료를 이용하여 회귀방정식을 만들었던 연구자들이 주의사항으로 상기시켜준 항목은 이들 방정식의 자료가 특정한 집단에 국한되어 있기 때문에 자료가 채집된 집단의 샘플크기 외의 집단에 적용을 시키게 되면 관성값이 음의 값이 나오거나, 실측값과의 오차가 커지는 등 범용의 방정식이 되지 못한다는 점이다. 따라서 이러한 단점을 보완하고자 Yeadon 등<sup>(10)</sup>은 Hinrichs<sup>(8)</sup>이 선형 회귀방정식을 만드는데 사용한 동일 자료인 Chandler<sup>(7)</sup>의 인체 측정자료를 이용하여 선형 회귀방정식이 갖고 있는 단점을 보완하여 비선형 방정식을 유도해 냈다.

세개의 돌레를 가진 분절에 관한 평균 돌레  $p$ 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$p = (p_1 + 2p_2 + p_3) / 4 \quad (5)$$

두개의 돌레를 가진 손에 대해서 평균 돌레  $p$ 를 구하는 식은 다음과 같으며

$$p = (p_1 + p_2) / 4 \quad (6)$$

머리에 대해서는  $p_1$ 으로 구할 수 있다.

$$p = p_1 \quad (7)$$

몸통의 폭에 대한 평균치는 다음과 같다.

$$w = (w_1 + 2w_2 + w_3) / 4 \quad (8)$$

관성모멘트 산출식( $I_x = I_y = I_T$ )은 아래 식으로 계산될 수 있다.

$$I_L = k_1 p^4 h \quad (9)$$

$$I_T = 1/2 I_x p^2 + k_2 p^2 h^3 \quad (10)$$

여기서,  $I_L$ 은 길이방향 관성모멘트(longitudinal moment of inertia)이고  $I_T$ 는 단면방향 관성모멘트(transverse moment of inertia)이다.

Table 3에 변수  $k_1$ 과  $k_2$ 가 제시되어 있다.

**Table 2** Regression equations generated from the data of Chandler<sup>(8)</sup> for predicting sement moments of inertia from anthropometric dimension

Segment	Equation	R <sup>2</sup>
Head	$I_T = I_L = 24.114(\text{HEADC}) - 1200.4$	0.908
	$= 25.102(\text{HEADC}) - 6.4805(\text{HEADL}) - 1122.6$	0.964
Torso	$I_T = 754.38(\text{TORSL}) + 241.94(\text{CHSTC}) - 59445.0$	0.984
	$= 707.62(\text{TORSL}) + 302.71(\text{WASTC}) - 58455.0$	0.990
	$I_L = 173.73(\text{CHSTC}) - 12623.0$	0.858
	$= 206.61(\text{WASTC}) - 13339.0$	0.909
Upperarm	$I_T = 12.687(\text{ACRDL}) + 2.1155(\text{BICPC}) - 349.16$	0.988
	$= 10.268(\text{ACRDL}) + 5.0655(\text{ELBOC}) - 349.71$	0.992
	$= 2.6797(\text{ELBOC}) + 0.94597(\text{BICPC}) - 82.643$	0.989
	$= 1.3707(\text{ACRDL}) + 2.0758(\text{BICPC}) - 85.725$	0.996
Forearm	$I_T = 9.5544(\text{WRISC}) + 10.452(\text{RDSTL}) - 371.11$	0.904
	$I_L = 1.7258(\text{FARMC}) + 0.92028(\text{RDSTL}) - 63.602$	0.964
Hand	$I_T = 1.2064(\text{HANDC}) - 19.059$	0.824
	$= 2.7443(\text{HANDB}) - 16.882$	0.891
	$I_L = 1.3387(\text{HANDB}) - 9.4514$	0.862
	$= 0.62016(\text{HANDC}) - 11.185$	0.886
Thigh	$I_T = 80.589(\text{THIGL}) + 381.74(\text{KNEEB}) - 6525.7$	0.944
	$I_L = 89.242(\text{KNEEB}) + 7.8926(\text{UTHIC}) - 1108.7$	0.962
Shank	$I_T = 30.629(\text{CALFL}) + 40.922(\text{KNEEC}) - 2261.3$	0.899
	$= 265.94(\text{ANKLC}) - 61.797(\text{CALFC}) - 3110.0$	0.971
	$I_L = 8.0795(\text{KNEEC}) - 267.68$	0.946
	$= 12.049(\text{ANKLC}) - 2.7994(\text{CALFL}) - 112.30$	0.959
Foot	$I_T = 3.5538(\text{FOOTL}) + 2.3132(\text{ARCHC}) - 114.76$	0.916
	$= 6.7508(\text{FOOTL}) - 4.2725(\text{LMALH}) - 105.42$	0.942
	$I_L = 1.2988(\text{ARCHC}) - 26.708$	0.855
	$= 1.2663(\text{BOFTC}) - 22.019$	0.926

**Table 3** Values for  $k_1$  and  $k_2$  given to seven significant segments

Segment	$k_1$	$k_2$
Head	0.701	2.33
Upperarm	0.979	6.11
Forearm	0.810	4.98
Hand	1.309	7.68
Thigh	1.593	8.12
Shank	0.853	5.37
Foot	1.001	3.72

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 인체측정

Table 4은 본 실험에 참가한 피실험자들의 인체 측정치를 보여주고 있다.

이 자료는 각 분절의 측정치로부터 분절을 예상할 수 있는 회귀방정식을 만드는데 사용이 되었고 다른 연구와 비교대상의 기준이 되었으며, 관성모멘트를 기준에 연구된 회귀방정식으로 구할 때 쓰였다.

Fig. 5에 실험에 참가한 피실험자들의 신장과 체

**Table 4** Mean, standard deviations, and ranges for anthropometric measures and other characteristic data for the sample subjects

Measure	Mean	S.D.	Range	Measure	Mean	S.D.	Range
AGE (yr)	24.6	2.3	20.0~27.0	STMCL	8.2	0.6	7.1~9.5
WGT (kg)	63.9	3.6	57.7~71.5	HANDC	20.4	0.7	19.3~21.8
HGT (cm)	171.6	3.7	163.9~175.4	HANDB	8.4	0.4	8.0~9.5
HEADC (cm)	57.0	1.5	54.8~59.1	HANDL	18.1	0.6	17.0~19.0
HEADL	18.5	0.7	17.5~19.8	THIGHL	39.5	2.5	37.0~43.5
TORSHL	50.0	2.7	47.5~54.5	UTHIC	52.7	2.2	48.2~51.0
CHSTC	87.2	3.1	84.3~94.0	KNEEB	9.9	1.0	7.2~10.9
WASTC	74.4	1.9	71.5~77.8	CALFL	40.5	1.4	38.5~41.5
ACRDL	34.1	1.6	32.1~36.7	MCALFC	36.7	2.2	34.0~39.8
AXARC	28.8	1.1	27.3~30.7	KNEEC	35.9	1.5	34.0~40.7
BICPC	40.7	1.2	39.4~42.4	ANCKLC	22.8	1.4	20.7~25.5
ELBOC	24.9	1.0	23.2~26.0	FOOTL	25.2	0.7	24.1~26.1
RDSTL	26.0	1.0	24.2~26.7	ARCHC	32.2	0.9	31.0~32.8
FORMC	25.6	1.1	24.3~27.2	LMALH	7.2	0.6	6.0~8.0
WRISC	16.4	0.6	15.2~17.3	BOFT	25.4	1.2	22.7~27.0

중과의 관계가 나타나 있다.

#### 4.2 부피측정 및 밀도산출

우선 인체의 전체 평균밀도는 수조에 전신을 담구어 부피를 측정된 후 동일 비슷한 시간에 저울로 측정된 몸무게를 갖고 밀도를 산출하였다. Table 5에서는 1978년에 실시된 연구의 결과와 1989년에 중학생을 대상으로 실시된 연구의 결과, 그리고 본 연구의 결과가 비교되었다. 도표에서도 알 수 있듯이 1978년에 보고된 평균 체밀도가 15년 후인 1993년에 측정된 값과 비교해 볼 때 평균 체밀도는 상당히 많이 저하되었음을 알 수 있다.

Table 6에서는 Drills와 Contini<sup>(2)</sup>가 사체를 연구하여 작성한 전체 체 밀도에 따른 분절의 밀도를 산출하는 회귀식을 보이고 있다.

Table 7은 질량을 구하기위해 계산된 밀도를 보여주고 있다.

머리와 몸통은 전체 체밀도에 연계된 연구가 지금까지 이루어져 있지않아서 Dempster<sup>(1)</sup>의 자료를 적용시켰다. 1989의 결과는 Harless<sup>(11)</sup>나 Demp-

ster와 비슷한 경향을 보이고 있으나, 1993년의 연구결과는 Clauser 등<sup>(3)</sup>의 결과보다 약간 상회하는 결과를 보이고 있다. 종합적인 자료를 살펴보면 Clauser 등의 피실험자의 연령은 54.3세이었고 몸무게는 65.173 kg이었으며 키의 평균은 172.15 cm 정도로 1993년의 연구대상자들의 키(171.6 cm), 몸무게(63.8 kg) 등을 고려한다면 Clauser 등의 피실험자의 경우는 장년이후의 경우들로 대부분 지방층이 더 많았을 것으로 예상된다.

#### 4.3 질량 및 질량중심 산출

Table 8에 측정된 부피로부터 위 도표에 따른 각 분절의 밀도를 대입하여 얻은 질량이 산출되어 있다. 부피를 측정하여 얻은 분절들로부터 산출된 체중과실측값과의 차이는 t-Test법으로 검토하였다. (부록에 t-Test법 수록)

Table 9에서는 전체 질량에 대한 분절의 질량의 비를 조사하였다. 10대의 소년에 비해 20대의 청년이 몸통부위가 차지하는 비중이 훨씬 증가하였으며, 더불어 머리가 차지하는 비율은 감소하였다.

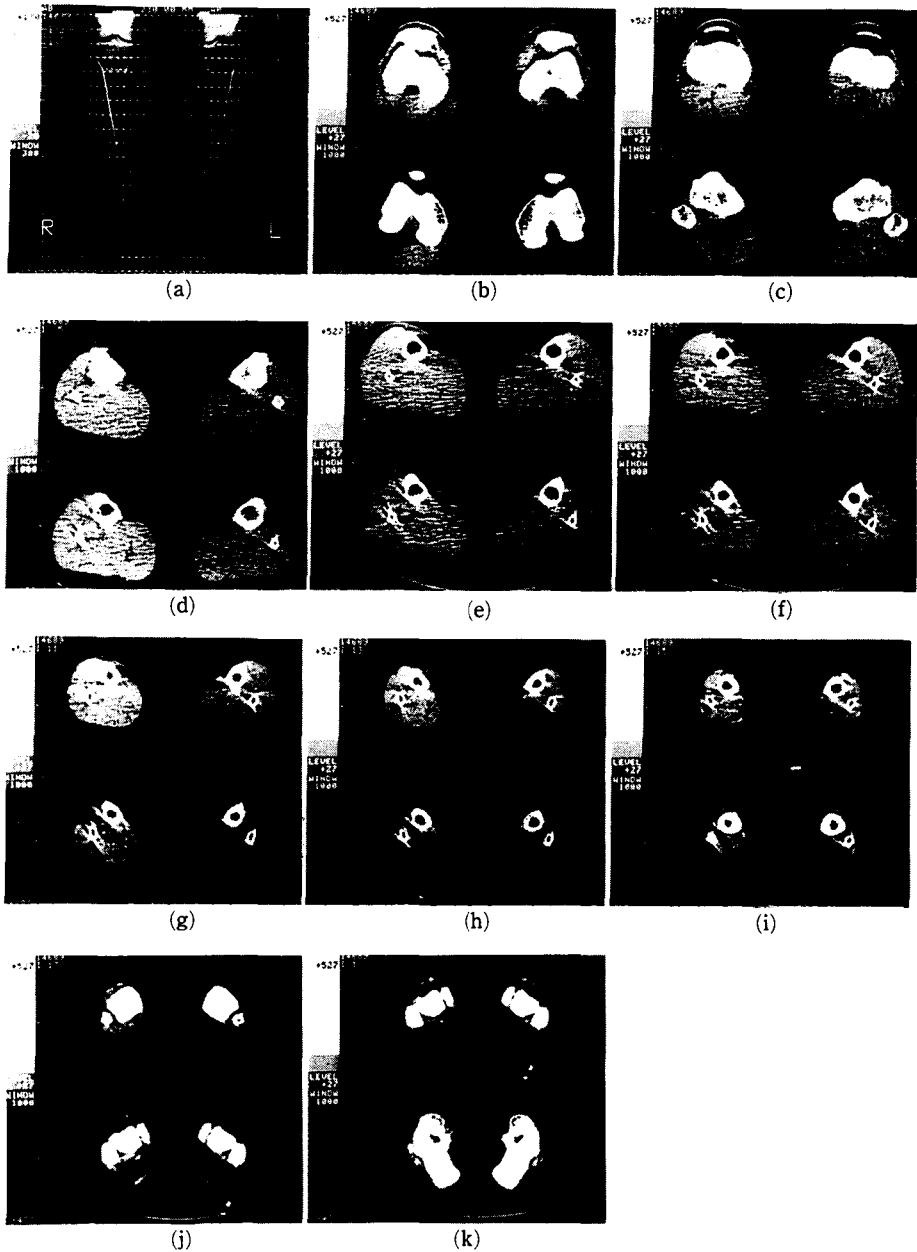


Fig. 5 Images of shank from CT scan

같은 동양인의 경우 Matsui<sup>(12)</sup>의 경우 윗팔과 장딴지가 본 연구보다 월등히 크게 나타나고 있고 종아리가 작게 나타났는데 약 40년 전의 일본인의 인체구조는 오히려 지금의 한국 중학생과 오히려 비슷하다고 볼 수 있다.

Table 10에서는 팔 전체와, 다리 전체의 질량중심에 대한 결과값이 제시되었고, 팔부분과 다리부

분만을 Dempster<sup>(1)</sup>와 Clauser<sup>(3)</sup> 등과 비교하였다. 팔 전체의 무게중심은 팔 전체의 길이중 몸쪽으로부터 45.17(%)되는 부분에 위치하고 있었으며, 다리 전체의 무게중심은 몸쪽으로부터 49.87(%) 되는 부분에 위치하고 있었다. 또한, 몸 전체의 무게중심은 머리끝쪽으로부터 44.86(%)되는 위치에 있었다. Clauser<sup>(3)</sup>의 경우는 머리쪽으로부터 41.



**Table 5** Density, volume and mass differences among subjects of 1978,<sup>(4)</sup> 1989<sup>(5)</sup> and present study

Variables \ Method	Park (78)		Ahn (89)		Present study
Hight (cm)	166.6±2.8	156.7±3.5	153.3±7.9	152.1±4.7	171.6±3.7
Age (yr)	22.0±1.3	22.0±0.8	13/0±0.0	13.0±0.0	24.66±2.3
Weight (kg)	57.9±5.0	51.0±3.6	42.72±6.93	45.00±7.11	63.83±3.59
Volume (liter)	54.8±5.1	49.1±3.5	40.15	42.61	61.769±3.86
Density (kg/ltr)	1.060±0.01	1.038±0.01	1.069±0.015	1.057±0.98	1.035±0.02
Subject (No.)	50	32	38	40	12
Sex	M	F	M	F	M

**Table 6** Density equation for limbs from Drills and Conti<sup>(2)</sup>

Foot	$Y=0.77113X+0.27876$
Shank	$Y=0.7853X-0.25639$
Thigh	$Y=0.69252X+0.32025$
Hand	$Y=1.7373X-0.695$
Forearm	$Y=1.30005X-0.2496$
Upperarm	$Y=0.85793X+0.14863$

X : Whole body density

**Table 7** Average density of body segments(kg/liter)

Segment	Density				
	Harless <sup>(11)</sup>	Dempster <sup>(1)</sup>	Clauser & Chandler <sup>(6)</sup>	Korean	
				('89)	('93)
Head	1.11	1.11	1.056	-	-
Trunk	-	1.03	0.853	-	-
Thigh	1.07	1.05	1.018	1.066	1.037
Shank	1.10	1.09	1.059	1.097	1.070
Foot	1.09	1.10	1.073	1.110	1.077
Forearm	1.10	1.13	1.043	1.139	1.097
Upperarm	1.08	1.07	0.997	1.098	1.037
Hand	1.11	1.16	1.079	1.158	1.104

('89) : Study of Ahn<sup>(5)</sup>

('93) : Present study

43(%)로 보고하고 있다. 본 연구와 그의 연구대상(키 : 172.15 cm S. D. 5.75, 몸무게 : 65.173 kg S. D. : 13.2)과 비슷한 체격조건을 고려해 보면 한국인의 무게중심이 머리로부터 조금 더 먼 곳에 있다고 볼 수 있다. 한국인의 체 구성은 서양인에 비해 팔의 경우는 위팔의 무게 비율이 더 클 것으로 예상되고, 다리의 경우는 종아리 부위가 장딴지 부위에 비해 서양인 보다는 질량분포가 클 것으로 예상된다. 전신 무게에 대한 장딴지의 무게 비율이 종아리 보다는 작다는 점이다. 즉, 한국인의 경우는 종아리가 장딴지에 비해 무거운 편이다. 팔의 경우는 위팔과 아래팔의 경우가 서양인과 비슷한 비율로 작음을 알 수 있다.

#### 4.4 CT scan을 이용한 분절변수의 검증

Table 11은 CT로 얻은 상에서 구한 종아리에 관한 데이터를 보여주고 있다. 각 상의 사이조직은 선형적으로 변한다고 가정하고 하나의 상으로부터 전체 면적과 뼈의 면적을 얻었다. 뼈를 제외한 조직들 중 근육과 밀도가 유사한 다른 조직들(인대와 건 등으로 이후 근육류라고 칭함)과 지방과의 분포 정도는 아래와 같은 신체 지방률식(Keys와 Brožek<sup>(13)</sup>의 방법)을 이용하여 구하였다.

\* 신체 지방률공식

$$\%Fat = (4.570/D - 4.142) \times 100 \quad (11)$$

종아리 부위의 구성은 근육류의 구성이 60.63(%)를 차지하여 가장 많은 부위를 구성하고 있었고, 뼈가 19.65(%), 그리고 지방조직이 19.12(%)순으로 구성되어 있었다. 침수법으로 구한

**Table 8** Volume, mass and density of segments (volume : cc. mass : g, density : g/cc)

	Subject	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Mean	Sd
Head	Volume	3375	3889	3711	6819	3928	3394	6048	5942	5930	5950	3966	4144	4791	1223
	Mass	4190	4317	4119	7569	4360	3767	6713	6596	6582	6605	4402	4600	5318	1358
Hand	Volume	343	330	313	326	313	313	357	356	335	343	317	335	331.75	15.98
	Density	1.180	1.113	1.088	1.044	1.085	1.101	1.112	1.079	1.116	1.086	1.142	1.100	1.104	0.034
	Mass	405	367	341	340	340	345	397	384	373	373	362	369	366	22
Forearm	Volume	1008	1041	842	1066	1038	1182	1055	1149	902	1008	915	843	1004.08	109.68
	Density	1.153	1.103	1.085	1.051	1.082	1.095	1.103	1.078	1.106	1.083	1.125	1.094	1.097	0.025
	Mass	1163	1148	913	1121	1123	1294	1163	1238	998	1092	1029	922	1100	117
Upperarm	Volume	1576	1530	1563	1580	1606	1791	1588	2136	1524	1935	1739	1679	1687	187
	Density	1.075	1.041	1.029	1.007	1.028	1.036	1.041	1.025	1.043	1.028	1.056	1.035	1.037	0.017
	Mass	1693	1593	1609	1591	1659	1855	1653	2188	1590	1990	1836	1738	1749	187
Foot	Volume	744	704	635	765	700	800	700	730	586	700	609	626	691.58	65.06
	Density	1.111	1.081	1.070	1.050	1.069	1.076	1.081	1.066	1.083	1.069	1.094	1.076	1.077	0.015
	Mass	827	761	860	804	748	861	757	778	635	749	666	673	745	69
Shank	Volume	3375	3267	2295	2849	2857	2914	3434	3658	3100	3151	3034	2974	3075.67	349.91
	Density	1.104	1.074	1.062	1.042	1.061	1.068	1.073	1.058	1.075	1.062	1.087	1.068	1.070	0.015
	Mass	3726	3507	2438	2969	3031	3113	3686	3871	3333	3345	3297	3176	3291	390
Thigh	Volume	5703	6271	5638	6276	6141	6742	9812	7355	5615	6245	5768	5633	6265	713
	Density	1.068	1.041	1.031	1.013	1.030	1.036	1.041	1.027	1.042	1.030	1.052	1.036	1.037	0.014
	Mass	6089	6528	5813	6359	6323	6968	8129	7556	5853	6434	6071	5835	6497	722
Trunk	Volume	29660	33825	29928	31013	30795	33180	28182	33320	28066	31316	29296	31820	30867	1933
	Mass	30550	34840	30826	31943	31719	34175	29027	34320	28908	32255	30175	32775	31793	1991
Whole body	Volume	58933	64000	56211	63556	60033	64022	64122	70030	58120	64030	58026	60144	62769	3862
	Density	1.079	1.041	1.026	1.001	1.024	1.043	1.040	1.021	1.043	1.025	1.057	1.033	1.035	0.020
	Mass	62543	66967	58534	65881	62510	66698	67631	72947	61054	66824	61099	62800	64613	3909
Body weight	Mass	63600	66600	57700	63600	61500	65000	66700	71500	60600	65650	61350	62150	63929	3644
By scale	Ratio	98.34	100.5	101.4	103.6	101.6	100.9	101.1	102.0	100.7	101.8	99.59	101.0	101.05	1282

평균 질량(평균 부피는  $2872 \pm 470.7$  cc)은 3024 g (평균밀도는  $1.053 \pm 0.01$  cc/cm<sup>3</sup>) 이었고 CT 촬영으로 구한 질량(부피는  $2762.85 \pm 416.1$  cm<sup>3</sup>)은 2977 g으로, 두 질량값의 차이는 47 g이었다. 두 값의 차이는 t-test로 확인하여 미소함을 역시 검증하였다. 종아리의 질량중심은 몸쪽으로부터 39.

01(%)되는 곳에 위치하고 있었다.

Table 12에서는 같은 분절에 대하여 연구된 MRI와 기타의 연구 결과가 비교되었다. MRI에 비해 본 연구 결과값이 작는데 그 이유는 연구 대상자가 MRI는 운동선수들로 종아리의 밀도가 높을 것으로 예측되며, 다른 연구값, 특히 Chandler

**Table 9** Weight of body segments relative to total body weight (%)

Segment	Braune & Fisher (1889) <sup>(5)</sup>	Dempster (1955) <sup>(1)</sup>	Matsui (1958) <sup>(12)</sup>	Clauser (1972) <sup>(3)</sup>	Ahn (1989) <sup>(5)</sup>	Present (1993)
Head*	7.06	-	7.30	7.10	11.15	6.41
Trunk	42.70	49.4	47.90	52.16	39.54	50.33
Hand	\	0.5	0.90	0.61	0.74	0.54
Forearm	3.12	1.6	1.50	1.71	1.64	1.62
Upperarm	3.36	3.5	2.65	2.83	2.56	2.73
Foot	\ \	1.3	1.90	1.33	1.71	1.12
Shank	7.60	4.7	5.35	4.12	5.81	6.09
Thigh	11.58	13.7	10.00	10.01	12.19	9.74

\* : Head and neck  
 \ : with forearm  
 \ \ : with shank

**Table 10** Mass center differences between present study and other methods (%)

Segment	Dempster <sup>(1)</sup>	Clauser <sup>(3)</sup>	Present study
Body	—	41.2	44.9
Hand	50.6	—	—
Forearm + Hand	67.7	62.6	45.2
Total arm	51.2	41.3	49.1
Foot	42.9	44.9	—
Shank + Foot	43.4	47.5	53.17
Total leg	43.4	38.2	49.87

Body : CM from vertex/statue ratio  
 Arm and Leg : CM from proximal end relative to length of segment

의 경우는 체형이 비슷한 수준인데도 값이 큰 것은 본 연구의 피실험자가 그의 실험대상에 비해 연령이 낮아 체밀도가 클 것으로 생각된다. 또한 종아리부위의 구성비도 한국인이 전반적으로 크다는 사항도 고려해야 할 것이다. 표에 따로 위치자를 붙여 놓은 결과는 동일 연구자들이 만든 질량예측 회귀방정식으로 예상한 값으로 둘다 10% 이상의 오차를 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 13에서는 질량중심 등을 구하여 다른 방법으로 연구한 결과들과 역시 비교하여 보았는데 일반적으로 한국인의 질량중심이 다른 인종들(주로 코카서스종)보다 무릎에서 가까운 쪽에 위치하고 있음도 알 수 있었다.

CT에 사용된 밀도값은 Dempster의 연구결과 피질성뼈 : cortical bone (1.8 gcm<sup>-3</sup>), 망상조직뼈 : cancellous bone (1.1 gcm<sup>-3</sup>), 근육 (1.08 gcm<sup>-3</sup>), 지방 (0.96 gcm<sup>-3</sup>)를 사용하였다. 양끝의 25%이내 는 cancellous bone로 중앙의 50%는 cortical bone으로 간주하였다.

4.5 인체분절의 질량예측 회귀방정식

위에서 구한 각 분절의 질량과 인체측정치를 이용하여 질량을 예측할 수 있는 회귀방정식을 구했다. 방정식을 구하는 방법은 분절에서 측정할 수 있는 변수를 모두 사용하여 단계별회귀법(stepwise regression method)을 사용하여 구하였다. 단위는 g이다.

(1) 손(hand)의 질량을 구하는 식 (R<sup>2</sup>=0.975)

- 사용된 변수 : 손길이 (Handl)
- 손폭 (Handb)
- 손등둘레 (Handc)
- 손등길이 (Stmcl)
- 손목둘레 (Wristc)

$$Y = 44.016 \times (\text{Handc}) - 65.054 \times (\text{Handb}) + 16.492 \tag{12}$$

**Table 11** Volume, mass and mass center of shank

Subject	A	B	C	D	Mean	SD
Height (cm)	174.7	172.2	163.9	170.3	170.3	4.6
Weight (kg)	63.6	73.15	57.7	58.0	63.12	7.22
Leng. of shank (cm)	41.5	40.5	39.0	41.6	40.56	1.21
% of fat	16.12	24.38	19.36	18.98	19.12	3.43
% of muscle	60.96±14.9	57.03±12.5	62.10±13.26	62.44±12.99	60.63	2.48
% of bone	22.92±14.9	18.58±12.5	18.51±13.26	18.58±12.99	19.65	2.18
Vol. by CT (cc)	2735.7	3353.9	2408.9	2552.9	2763	416
Vol. by immers (cc)	2849	3447	2295	2897	2872	471
Diff. between Two (%)	96.02	97.3	109.0	90.0	98.08	7.95
Mass by CT (g)	2895	3659	2409	2994	2977	515
Mass by immers (g)	2969	3634	2438	3056	3024	489
Diff. between Two (%)	97.5	100.7	104.9	96.3	98.3	1.866
Density in immers	1.042	1.054	1.062	1.055	1.053	0.01
Center of mass	16.1	15.8	15.4	16.2	15.9	0.36
% from proximal	38.72	38.92	39.53	38.86	39.01	0.36

**Table 12** Means, standard deviation and ranges for shank mass (kg) along with the percent differences between CT and other Methods

Method	Mean	S.D.	Range	Percent difference (%)
CT	2.977	0.515	2.68~3.66	—
MRI <sup>(14)</sup>	3.440	0.311	2.87~3.81	15.6
Chandler et al. <sup>(6)</sup>	2.686	0.553	2.18~3.78	-9.76
Clauser et al. <sup>(3)</sup>	2.842	0.363	2.13~3.42	-4.54
Dempster et al. <sup>(1)</sup>	2.741	0.701	1.96~3.90	-7.93
Chandler et al. <sup>1</sup>	3.369	0.368	2.93~3.83	13.2
Clauser et al. <sup>1</sup>	2.577	0.275	2.37~2.96	-12.3

MRI : Studied by M. Mungiole

Chandler et al.<sup>1</sup> : Predicted mass with Chandler's regression equation

Clauser et al.<sup>1</sup> : Predicted mass with Clauser's regression equation

(2) 아래팔 (forearm) 의 질량을 구하는 식 ( $R^2=0.926$ )

사용된 변수 : 아래팔길이 (Rdstl)

손목둘레 (Handc)

팔꿈치둘레 (Elboc)

아랫팔뚝 최고둘레 (Farmc)

$$Y = 41.187 \times (\text{Farmc}) + 46.286 \quad (13)$$

(3) 위팔 (upperarm) 의 질량을 구하는 식 ( $R^2=0.887$ )

사용된 변수 : 위팔길이 (Acrdl)

팔꿈치둘레 (Elboc)

위팔 최고둘레 (Axarc)

**Table 13** Means, standard deviation and ranges for shank center of mass(kg) location (percent of segment length relative to proximal end) along the percent differences between CT and other Methods

Method	Mean	S.D.	Range	Percent diffence
CT	39.01	0.36	38.7~39.5	—
MRI <sup>(14)</sup>	41.6	0.98	40.0~43.7	6.64
Chandler et al. <sup>(6)</sup>	42.2	0.01	42.0~43.0	8.18
Clauser et al. <sup>(3)</sup>	37.1	0.36	34.7~38.6	-4.90
Dempster et al. <sup>(1)</sup>	43.3	—	—	10.99
Hanavan <sup>(14)</sup>	42.4	0.56	41.5~43.45	8.69
Zatsiorsky et al. <sup>(14)</sup>	41.8	0.13	41.7~42.0	7.15

어깨둘레 (Bicpc)

$$Y = 40.086 \times (\text{Bicpc}) + 120.042 \quad (14)$$

(4) 머리의 질량을 구하는 식 ( $R^2=0.605$ )

사용된 변수 : 머리둘레 (Headc)

머리길이 (Headl)

$$Y = 300.651 \times (\text{Headl}) - 196.196 \quad (15)$$

(5) 발의 질량을 구하는 식 ( $R^2=0.918$ )

사용된 변수 : 발길이 (Footl)

발볼둘레 (Boftc)

발꿈치둘레 (Archc)

발바닥돌기높이 (Lamlh)

$$Y = 21.923 \times (\text{Archc}) + 41.949 \quad (16)$$

(6) 종아리의 질량을 구하는 식 ( $R^2=0.956$ )

사용된 변수 : 종아리길이 (Calf)

발목둘레 (Anklc)

무릎뚝 (Kneeb)

종아리 최고둘레 (Mcalfl)

무릎둘레 (Kneec)

$$Y = 24.551 \times (\text{Kneec}) + 78.271 \times (\text{Mcalfl}) - 388.102 \quad (17)$$

(7) 넓적다리의 질량을 구하는 식 ( $R^2=0.931$ )

사용된 변수 : 넓적다리길이 (Thigl)

넓적다리 최고둘레 (Mthigc)

무릎둘레 (Kneec)

위넓적다리둘레 (Uthigc)

$$Y = 0.137 \times (\text{Mthigc}) + 0.218 \quad (18)$$

(8) 몸통의 질량을 구하는 식 ( $R^2=0.977$ )

사용된 변수 : 몸통길이 (Torsol)

가슴둘레 (Chstc)

허리둘레 (Wastc)

$$Y = 608.934 \times (\text{Torsol}) + 1323.777 \quad (19)$$

본 질량 예측방정식 역시 본 연구의 피실험자들의 인체측정 범위를 벗어나 응용하는 경우 상당한 오차를 수반할 것으로 예측된다.

#### 4.6 관성모멘트 계산

Table 14에서는 앞에서 언급한 선형과 비선형 회귀방정식을 이용한 인체측정치를 가지고 각 분절의 관성모멘트를 구하였다. 분절의 측정부위를 달리하여 만들어진 식 중  $R^2$ 값이 높은 것 2개를 선택하여 비교하였고, 또한 비선형 방정식을 이용하여 값을 구하여 선형 방정식의 결과와 비교하였다. 몸통의 경우 길이 방향에 대한 관성모멘트 값이 음의 값이 나오는 경우도 있었고,  $R^2$ 값에 따라 같은 분절의 관성모멘트 값을 예측하는 선형 방정식 사이에도 상당한 오차가 발생하였다. 이것은  $R^2$ 값이 다른 두 방정식은 사용하는 변수가 다른데, 체형이 다른 경우 각 분절의 형상도 달라지게 된다. 따라서 결과를 예측하는 방정식의 근간이 된 인종과, 이 방정식을 가지고 타 인종에 응용했을 때 오차는 커지게 된 것으로 설명된다.

더불어 선형 회귀방정식이 측정범위 밖의 대상자들에게 적용함이 비합리적이라 단점을 보완한 비선형 회귀방정식에서 얻은 결과는 직접실험을 거쳐 얻어낸 값과 비교할 수 없었지만 선형 방정식과 상당한 차이를 보임을 알았다. 선형 방정식의 경우처럼 음의 값이 나오는 경우는 없었지만 선형값과 비

**Table 14** Moment of inertia of segments (kgcm<sup>2</sup>)

Segment	Linear Eq.		Non-linear Eq.	
	I <sub>T</sub>	I <sub>Z</sub>	I <sub>T</sub>	I <sub>Z</sub>
Torso	18459.1	-3936.5	-	-
	25787.1	2027.6	-	-
Upperarm	169.3	22.4	231.0	30.1
	126.2	45.4	-	-
Hand	6.5	1.8	15.5	2.7
	6.1	4.2	-	-
Shank	446.7	22.3	414.5	42.2
	686.4	49.1	-	-
Foot	49.3	15.2	47.4	16.0
	33.7	10.1	-	-
Forearm	57.6	4.6	47.2	6.1
	-	-	-	-
Thigh	456.1	194.4	103.9	26.4

I<sub>T</sub>: Moment of inertia for transverse axis  
 I<sub>Z</sub>: Moment of inertia for longitudinal axis

교해 보았을 때 이 방정식의 결과역시 실제 한국인 20대 남성의 분절에 대한 관성모멘트 값을 예상하는데는 어려움이 있으리라고 여겨진다.

### 5. 결 론

신체 및 장기의 발육이 완료된 한국인 남자(20~27세) 성인의 인체의 체중과 각 분절의 치수 및 부피가 측정되었고 이에 연관된 분절의 밀도를 타 연구결과를 사용하여 질량을 산출하였다. 분절의 질량을 산출한 값으로 질량을 예측할 수 있는 회귀방정식을 만들었으며, 분절의 질량중심을 평형판을 이용하여 계산하였다. 또한 각 분절에 쓰인 밀도값은 서양인의 연구결과를 이용했는데 그 타당성을 입증하기 위하여 종아리분절을 CT scan하여 산출한 값을 비교하였으며, 각 분절의 인체 측정치를 이용하여 관성모멘트를 계산하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 12명 피실험자의 전체 평균 체밀도는 1.035

kg/l±0.020로 과거에 비해 낮아지는 추세였다.

(2) 분절의 질량을 구하기 위해 쓰인 조직의 밀도는 서양인의 연구자료를 사용해도 타당성있는 결과를 얻을 수 있었다.

(3) 타 인종의 분절 연구결과로 얻은 분절질량 예측방정식으로 한국인의 분절질량을 예상한 결과 13%의 오차를 보여 인종에 따른 분절 변수값이 예측결과에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

(4) 인종에 따라 인체를 구성하는 각 분절의 비율이 다르므로 각 분절의 질량중심의 위치도 달랐다. 전신의 경우 본 연구에서는 머리로부터 44.9%에 위치하였고 코카서스종은 41.2%에 위치하였다.

(5) 관성모멘트 예측시에 쓰인 회귀방정식간에도 큰 결과값의 차이를 보였다. 따라서 보다 정확한 값을 예상하기 위해서는 발전된 연구가 요구된다.

### 참고문헌

- (1) Dempster, W. T., 1955, *Space Requirements of the Seated Operator*, Wright Patterson, Air Force Base, Ohio.
- (2) Drills, R. and Contini, R., 1966, *Body Segment Parameters*, Report No. 1163-03, Office of Vocational Rehabilitation, Department of Health, New York.
- (3) Clauser, C. E., McConville, J. T. and Young, J. W., 1969, *Weight, Volume and Center of Mass of Segments of the Human Body*, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- (4) 박순영, 1978, "한국인의 체구성에 관한 연구," *인간과학*, Vol. 2, No. 4, pp. 47~64.
- (5) 안재홍, 1989, "중학생 신체 분절질량에 관한 연구," *성균관대학교 대학원 석사학위논문*.
- (6) 한갑수, 1987, *인체 해부학*, 고문사.
- (7) Chandler, R. F., Clauser, C. E., McConville, J. T., Reynolds, H. M. and Young, J. M., 1975, *Investigation of Inertia Properties of the Human Body*, AMRL Technical Report 74~137, Wright-Patterson Air Force Base, OH(NTIS #AD-A016-485).
- (8) Hinrichs, R. N., 1985, "Regression Equations to Predict Segmental Moments of Inertia from Anthropometric Measurements: An Extension of the Data of Chandler et al(1975)," *J. of*

*Biomechanics*, Vol. 18, No. 8, pp. 624~624.

- (9) Barter, C. M., 1971, "The Use of the Gamma Ray Scanner in Determining Body Mass Parameters," *Proceeding of Pennsylvania State University Biomechanical Conference*, Ed. R. C. Nelson, University Park, PA, pp. 112~125.
- (10) Yeadon, M. R. and Morlock, M., 1989, "The Appropriate Use of Regression Equations for the Estimation of Segmental Inertias Parameters," *J. of Biomechanics*, Vol. 22, No. 6/7, pp. 638~689.
- (11) Harless, E., 1860, "Die Statischen Momente der Menschlichen Gliedmassen," *Abh. Math. Phys. Cl. Kon. Sachs. Ges. Wissensch.*, Vol. 8, pp. 942~947.
- (12) 蓋見俊雄, 1980, 身體運動學 概論, 東京 大修館書店.
- (13) 윤수철, 1989, "여자대학생의 체형과 신체구성에 관한 연구," 한양대학교 교육대학원 석사학위논문.
- (14) Mungiole, M. and Martin, P. E., 1990, "Estimating Segment Inertial Properties: Comparison of Magnetic Resonanced Imaging with Existing Methods," *J. of Biomechanics*, Vol. 23, No. 10, pp. 1039~1045.

부 록

귀무가설은,

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 \tag{A1}$$

$$H : \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \tag{A2}$$

통계항

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{(N_1 - 1)S_1^2 + (N_2 - 1)S_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)}} \tag{A3}$$

여기서,

$$\bar{X}_1 = \text{실험체중의 평균}$$

$$\bar{X}_2 = \text{실체체중의 평균}$$

$$N_1, N_2 = 1, 2 \text{ 집단의 사례수}$$

$$S_1, S_2 = 1, 2 \text{ 집단의 표준편차}$$

기각역 (critical region)

$$-t_{\alpha/2} : n_1 + n_2 - 2 \geq t_0 \tag{A4}$$

$$t_{\alpha/2} : n_1 + n_2 - 2 \leq t_0 \tag{A5}$$

가설검증결과

$$-t_{0.05} > -2.704 = -t_{0.025=22} \tag{A6}$$

$$-t_{0.05} < -2.704 = t_{0.025=22} \tag{A7}$$

따라서 가설은 성립되었고  $H_0$ 는 채택되었다.