

한국인의 인체측정 데이터를 이용한 파라메트릭 인체분절모델 생성

구본열*, 최명환*, 채제욱**, 김재정***

Generation of Parametric Human Body Segment Models Using Korean Anthropometric Data

Bon-Yeol Koo*, Myeong-Hwan Choi*, Je-Wook Chae** and Jay-Jung Kim***

ABSTRACT

In this paper, we propose a methodology of generating a parametric segment model for human body using the Korean anthropometric data. The model is defined as an articulated body model consisted with 19 ellipsoid primitives. The primitives are joined at locations representing the physical joints of human body. A lot of previous researches have suggested methodologies of generating body models using the European or American anthropometric data, so that these models were inappropriate for engineering analyses and simulations in case of the Koreans. We defined a set of 35 body dimensions representing our segment model based on the anthropometric data of Koreans. Also we defined four key parameters of age, height, weight and waist circumference, and then we applied regression equations to associate the parameters to the aforementioned dimensions. As the results, we obtained the parametric human body segment models according to the various body types and the subject-specific models for a specific individual. The models in the various industries can be used as the base models for static and dynamic analysis considering the Koreans.

Key words : Anthropometric data, Articulated human body model, Human body model, Human body segment model

1. 서 론

인체모델(human body model)은 해부학적 및 역학적 특성을 기반으로 자동차, 군수, 의학, 스포츠 등 다양한 산업 분야에서 그 필요성이 부각되고 있다. 이는 인간의 편의성(convenience)과 안전성(safety)을 고려한 인간공학적 설계뿐만 아니라 사람이 직접 수행하기 어려운 상해 환경(injury environment)이나 위험한 상황에서 인간을 대신하는 가상 시험(virtual test) 및 시뮬레이션(simulation)을 가능하게 한다. 그 중 인체모델의 주요 활용에 대한 몇 가지 예를 들면, 차량 충돌 시 탑승자의 부상을 예측하기 위한 충돌 시뮬레이션(crash simulation), slips/falls 등의 환경적인 상해 시뮬레이션(environmental injury simulation), 의료 임플란트 설계(implant design) 및 가상 수술 시뮬레이션(virtual surgery simulation), 재활을 위한 보행 분석(gait analysis) 및 운동분석(motion analysis) 그리고 작업(task) 및 스포츠 성능(sport-performance) 시뮬레이션 등 다양한 분야에 걸친다^[1]. 이와 같이 인체모델은 인간을 대상으로 하는 모든 분야에서 그 활용이 부각됨에 따라 현재까지 인체모델 생성을 위한 많은 연구가 진행되었다. 이에 대해 미국, 유럽 등의 선진국에서는 자국인을 대상으로 측정된 광범위한 인체 측정 데이터(anthropometric data)를 기반으로 여러 인체모델이 개발되었다. 그 중 *Cyberman*^[2]은 자동차 생산업체인 Chrysler에서 개발된 초창기 인체모델 중 하나로서, 이 모델은 스플라인(spline)과 타원(ellipse)으로 구성된 3D 와이어프레임(wireframe) 모델로 개발되었다. 그리고 항공우주의학연구소(Aerospace Medical Research Lab.)에서 개발된 *Combiman*^[3],

*학생회원, 한양대학교 기계공학부
**비회원, 국방과학 기술연구소
***교신저자, 종신회원, 한양대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2011. 07. 08
- 논문수정일: 2011. 09. 05
- 심사완료일: 2011. 09. 06

Nottingham 대학교에서 개발된 *Sammie*^[4], Pennsylvania 대학교에서 개발된 *Bubbleman*^[5] 등의 인체모델이 있다. 이러한 모델들은 주로 가상 환경(virtual environment) 내에서 차량 제어장치의 조작 영역에 대한 리치(reach) 평가 및 차량 내부에서 신체 위치를 정의하기 위한 목적으로 개발되었다. 그리고 이들은 구(sphere)나 원기둥(cylinder)의 매우 단순화된 볼륨 모델(volume model)로 구성되었다. 이어서, 앞서 언급된 인체모델의 비해 형상적인 측면에서 사실성이 향상된 *Jack*^[6], *Safework*, *Ramsis* 그리고 *Anthropos* 등의 마네킹 모델(mannequin model)이 개발되었다. 이들 또한 인간 중심의 제품 설계를 위한 리치 분석과, 자세(posture) 및 거동(motion) 분석을 위한 인간공학 해석(ergonomic analysis)에서 주로 사용되었다^[1]. 결론적으로 이와 같은 모델들은 기구학적 해석에 초점을 둔 모델이라 할 수 있다. 이에 대해 Backaitis and Mertz^[7]는 인체 상해치를 측정하기 위해 Hybrid III 모델을 개발하였고, 이어서 흉부와 어깨 부분을 개선한 Hybrid IV 모델이 개발되었다.

그러나 지금까지 개발된 대부분의 인체모델은 한국인의 신체 체형과는 상이한 미국이나 유럽인을 대상으로 한 모델이었다. 따라서 한국인을 대상으로 한 인간공학 평가 및 공학적 시뮬레이션의 기반 모델로는 적합하지 않다는 연구결과가 보고되었다^[8]. 한편 국내에서도 VKH(Visible Korean Human) 및 DK(Digital Korean) 프로젝트를 통해, 한국인에 대한 인체모델이 개발되었다^[9]. 이는 한국인의 기증된 시신을 기반으로, CT 촬영을 통한 이미지 적층방식의 복셀(voxel) 모델로써 인체 형상에 대한 사실적인 모델링이 가능하다. 그러나 이는 인체 외부(skin) 및 골격(skeleton) 형상에 대한 점(point) 정보만을 포함하고 있어 기구학적(kinematic), 운동학적(kinetic), 인간 공학적(ergonomics) 등 다양한 공학적 해석 도메인(analysis domain)에서의 사용이 쉽지 않다. 이를 위해서는 수학적인 재 가공이 필요할 뿐만 아니라 기증된 시신의 한계로 인해 성별, 연령 등에 따른 다양한 인체 체형별 분석이 제한적이다.

본 논문에서는 한국인의 신체 체형을 고려한 파라메트릭 인체분절모델(human body segment model)의 생성 방안을 제안한다. 이는 인체 측정 항목에 있어, 주요 인체 치수(key body dimension)에 해당하는 몇 개의 파라미터 입력으로 그에 따른 다양한 인체모델의 생성을 가능하게 한다. 본 연구에서는 인체모델의 생성을 위한 주요 파라미터로, 인체 성장을 구분하는 나이(age), 그리고 신체 체형을 표현함에 있어 직관적

인 키(height), 몸무게(weight), 허리둘레(waist circumference)를 선정하였다. 또한 인체를 관절화된 다물체 모델(articulated multi-body model)로 정의하여, 인간 공학적 평가 및 기구학적, 동역학적 해석을 위한 기반 모델로 활용될 수 있도록 한다. 이를 위해 본 연구에서는 GEBOD(Generator of Body Data)^[10]를 기반으로 인체를 19개의 독립된 분절(segment)로 구분하고, 각 분절을 연결하는 16개의 물리적 조인트(physical joint)를 정의한다. 여기서 인체의 각 분절을 나타내는 형상은 타원체(ellipsoid)로 정의하고, 이들을 결정하는 인체 형상 수식(body geometric equation)을 도출한다. 그리고 한국인의 신체 체형을 고려한 파라메트릭 모델을 위해, 사이즈코리아(sizekorea)^[11]로부터 수집된 방대한 인체측정 데이터 기반으로 인체 형상을 결정하는 주요 인체 치수에 대해 파라미터화한다. 이를 위해 수집된 자료 내에 포함된 119개 인체 측정 항목 중 35개의 주요 인체 치수를 선정하고, 이에 대해 회귀분석(regression analysis)을 수행한다.

본 연구에서 제안된 인체모델은 Fig. 1과 같은 절차를 통해 생성된다. 우선, 생성하고자 하는 대상 모델의 파라미터 값을 입력하게 되면, 수집된 인체측정 데이터로부터 도출된 회귀식(regression equation)을 통해 본 연구에서 정의한 35개의 주요 인체 치수가 결정된다. 결정된 35개의 인체 치수는 인체모델의 형상을 결정하는 인체 형상 수식의 입력 값으로 사용되고, 이로부터 인체의 각 분절을 대표하는 타원체 형상 및 타원체 중심 위치 그리고 인체의 물리적 조인트 위치가 계산된다. 이로부터 생성된 즉, 신체에 해당하는 4개

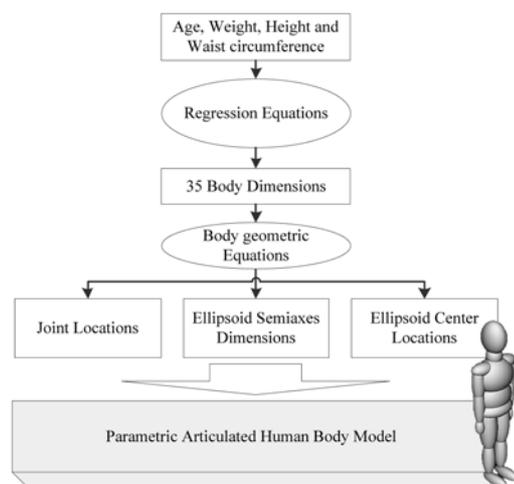


Fig. 1. Procedures used in generating the proposed human body model.

의 파라미터 값으로 생성된 인체모델은 이에 따른 평균체형의 인체모델이 생성된다. 본 연구에서는 평균체형의 인체모델뿐만 아니라 특정 체형이나 특정 개인을 경향한 개인 맞춤형(subject-specific) 모델도 생성할 수 있도록 한다. 이러한 과정으로 생성되는 인체모델을 가시화하기 위해 VTK(Visualization Toolkit)^[12] 기반의 C# 언어로 구현하였다.

본 연구에서 개발된 인체분절모델은 한국인의 인체 측정 데이터에 기반함으로써 한국인의 신체 체격을 잘 반영하고 있다. 그리고 인체의 물리적 조인트 정보를 포함한 다물체 관절 모델로 정의함으로써, 한국인을 대상으로 한 인간공학 적 평가뿐만 아니라 다양한 정적 해석 및 동적 해석을 위한 기반 모델로 활용될 수 있다. 또한 타원체 형상의 단순화된 모델로써 데이터 량이 적을 뿐만 아니라 몇 개의 파라미터를 조절함으로써 다양한 신체 체형에 따른 인체모델을 손쉽게 생성할 수 있다.

2. 본 론

2.1 인체분절모델의 기구학적 구성

실제 인체는 매우 복잡한 시스템으로 구성되어 있다. 인체모델을 실제 인체와 가깝게 하기 위해 모델의 세그먼트 수를 증가시키는 것은 그에 따른 자유도 증가와 함께 인체모델의 정확도는 향상된다. 그러나 자유도 증가에 의한 기구학적 및 동역학적 해석 문제의 복잡성도 함께 증가하므로, 그에 따른 사용이 쉽지 않게 된다. 따라서 인체모델은 인체에 대한 적당한 수의 자유도를 부여할 수 있는 단순화된 관절모델

(articulated model)로 정의할 필요가 있다. 이에 대해 기존 GEBOD는 인체를 15개의 분절로 구분하고, 이들을 연결하는 14개의 조인트를 정의하였다. 그러나 본 연구에서는 기존 GEBOD에 비해, 보다 정밀한 인체 동작을 표현하고자, Fig. 2와 같이 인체를 19개의 분절로 구분하고, 이들을 연결하는 16개의 조인트로 구성된 인체관절모델로 정의한다. 그리고 Fig. 3(b)와 같이 인체 내부의 단순화된 골격모델을 구성함으로써, 인체의 자세(orientation) 및 운동(motion)을 손쉽게 표현할 수 있게 한다. 본 연구에서 각 분절은 인체의 주요 관절 사이의 부분으로, 손과 발은 하나의 분절로, 어깨에서 엉덩이에 이르는 부분은 5개의 분절로 구분하였다. 그리고 이들은 Fig. 2(b)와 같이 인체의 물리적 조인트를 나타내는 위치에서 결합된다.

본 논문에서 제안된 인체모델의 구조(structure) 및 형상(appearance)은 각 분절을 나타내는 타원체(ellipsoid)와 인체의 주요 관절에 해당하는 조인트 위치(joint location)로 결정된다. 여기서 타원체는 인체의 각 분절을 대표하게 되며, 조인트는 분절의 연결(connection) 및 분절의 회전운동(rotational motion) 시 회전중심(pivot point)의 역할을 하게 된다. 그리고 하나의 조인트는 2개의 분절에 대해 상대적으로 위치하게 되는데, 예를 들면, 팔꿈치 조인트(elbow joint)는 인체의 위팔(upper arm)에 해당하는 분절과 아래팔(forearm)에 해당하는 분절 각각의 상대적인 위치에 놓이게 된다.

본 논문에서 인체모델을 위한 좌표계 정의는 Fig. 3과 같이 각 분절을 대표하는 지역좌표계(local coordinate system)로 정의하였다. 이로부터 각 분절은 전역좌표계

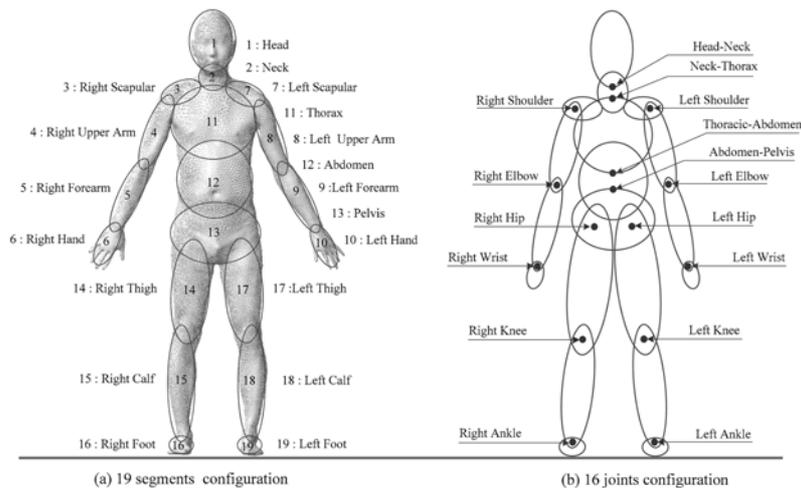


Fig. 2. Constructions of articulated human body models.

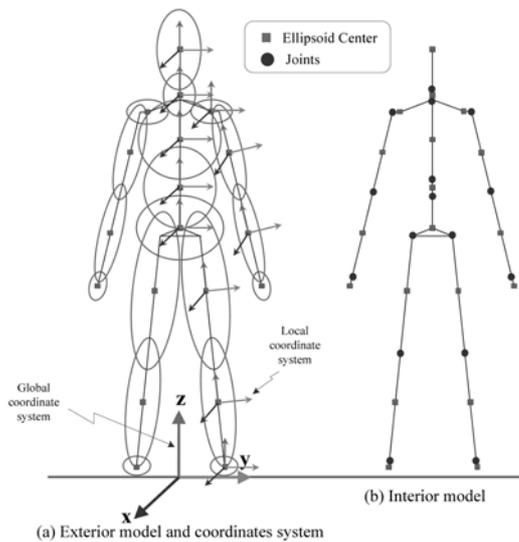


Fig. 3. Definition of the local and global coordinates system.

를 기준으로 상대적인 위치 및 운동을 명확히 할 수 있으며, 각 분절을 대표하는 지역좌표계의 원점은 타원체의 중심으로 정의하였다. 각 지역좌표계의 축의 방향은 전역좌표계의 정의를 따르며, Fig. 3과 같이 인체의 선 자세(standing posture)에서 양(positive)의 x축은 전방, 양의 y축은 인체의 왼쪽 그리고 위쪽 방향을 양의 z축으로 정의하였다. 이와 같이 본 연구에서 제안된 인체모델의 기구학적 구성으로부터 인체의 동작(movement) 및 운동(motion)을 부여할 수 있으며, 동역학적 해석에서 시간과 해석의 안정성을 기대할 수 있게 된다.

2.2 인체측정 데이터 분류 및 주요 인체치수 선정

본 연구는 한국인의 신체 체형이 잘 반영된 인체모델을 생성하기 위해, 한국기술표준원에서 수행한 제5차 한국인 인체치수조사의 원(raw) 데이터를 기초자료로 활용하였다. 한국기술표준원에서는 2003~2004년에 걸쳐, 0세의 영아부터 90세까지의 노인층에 이르는 각 연령 층의 전 국민을 모집단으로 삼고, 남자 7,050, 여자 7,150명 등 총 14,200명에 대해 122개 항목의 인체치수를 측정하였다. 인체 치수 측정의 각 항목은 KS A 7003(인체측정용어 정의)에 따랐으며, 측정방법은 Martin자를 이용한 직접 측정법으로 KS A 7004의 인체측정 방법에 의거, 0~18개월 미만(아기 층)은 31개 항목, 2~6세(유아 층)는 45개 항목, 7~69세(학생/성인 층)는 119항목 그리고 70세 이상(노인 층)은 61개

항목이 측정되었다. 이에 대해 본 논문에서는 남, 녀 모든 연령층의 인체 측정 데이터를 수집하기에는 데이터의 양이 너무 방대하여 다소 제한적으로 수집하였다. 수집된 자료는 본 연구에서 선정한 35개의 인체 측정 항목을 포함하지 않는 7세 미만의 유아 층과 노인 층을 제외한, 7세 이상의 학생/성인 층에 대한 남성 자료만을 수집하였다. 이는 Table 1과 같으며, 인체모델 생성 시 통계적 방법(회귀분석)에 따른 오차를 줄이기 위해 연령별로 인체 측정 데이터를 분류하였다. 연령별로 분류된 기준은 신체 성장을 고려하여 7~19세까지는 1년 단위로, 20~39세까지는 5년 단위 그리고 40~49세까지는 10년 단위로 모두 20개의 그룹으로 구분하였다.

Table 1. Collected anthropometric data sets

그룹	나이(세)	표본수(명)	수집된 자료의 분류	측정항목 수	적용항목 수
1	7	250	1년 단위	119개	35개
2	8	250			
3	9	250			
4	10	250			
5	11	250			
6	12	250			
7	13	250			
8	14	250			
9	15	250			
10	16	250			
11	17	250			
12	18	250			
13	19	250			
14	20~24	300	5년 단위	119개	35개
15	25~29	300			
16	30~34	300			
17	35~39	300	10년 단위	119개	35개
18	40~49	300			
19	50~59	300			
20	60~69	300			

본 연구에서 인체의 각 분절을 나타내는 타원체 및 주요 관절에 해당하는 조인트 위치는 인체 측정 치수를 기반으로 계산된다. 이를 위해 필요한 인체치수는 Table 2와 같으며, 수집된 자료의 119개 인체 치수 항목 중 주요 인체치수에 해당하는 35개의 항목을 선정하였다. 선정된 치수 항목은 GEBOD를 기반으로 허리둘레, 손너비, 손직선길이, 손두께 등 4개의 항목을 추가하고, 아래팔 둘레(forearm circumference)는 제외하는 등, 본 연구에서 구분한 19개의 분절을 표현하는데 필요한 인체 치수 항목으로 수정하였다. Table 2에 표기된 ‘코드번호’는 한국인 인체치수 조사에서 사용된 측정 항목의 코드번호를 나타내며, ‘번호’는 인체 형상(body geometry)을 결정하는데 필요한 Di 번째 인체 치수를 의미한다.

Table 2. Definition of 35 key body dimensions

번호	측정 항목	코드 번호	번호	측정 항목	코드 번호
D ₀	Weight (몸무게)	132	D ₁₈	Forearm Fingertip Length (오래팔수평길이)	314
D ₁	Height (키)	102	D ₁₉	Upper Arm Circumference (위팔둘레)	240
D ₂	Shoulder Height (어깨가쪽높이)	106	D ₂₀	Elbow Circumference (팔꿈치둘레)	241
D ₃	Axilla Height (겨드랑높이)	107	D ₂₁	Waist Circumference (허리둘레)	211
D ₄	Wrist Height (허리높이)	112	D ₂₂	Wrist Circumference (손목둘레)	242
D ₅	Sitting Height (앉은키)	301	D ₂₃	Knee Height (앉은무릎높이)	307
D ₆	Head Length (머리누끼)	401	D ₂₄	Thigh Circumference (넙다리둘레)	214
D ₇	Hood Breadth (머리너비)	402	D ₂₅	Midthigh Circumference (넙다리중간둘레)	215
D ₈	Head Height (머리수직길이)	403	D ₂₆	Knee Circumference (무릎둘레)	216
D ₉	Neck Circumference (목둘레)	206	D ₂₇	Calf Circumference (정면지름)	218
D ₁₀	Biacromial Breadth (어깨너비)	317	D ₂₈	Ankle Circumference (발목외측둘레)	220
D ₁₁	Chest Depth (가슴두께)	122	D ₂₉	Lateral Malleolus Height (기폭목사선높이)	420
D ₁₂	Chest Breadth (가슴너비)	116	D ₃₀	Foot Breadth (발너비)	418
D ₁₃	Waist Depth (허리누끼)	124	D ₃₁	Foot Length (발길)	419
D ₁₄	Waist Breadth (허리너비)	118	D ₃₂	Hand Breadth (손너비)	411
D ₁₅	Hip Depth (엉덩이두께)	126	D ₃₃	Hand Length (손적선길이)	409
D ₁₆	Hip Width (엉덩이너비)	120	D ₃₄	Hand Depth (손두께)	415
D ₁₇	Shoulder-Elbow Length (우팔수직길이)	312			

2.3 회귀분석

본 논문에서는 앞서 선정된 35개의 주요 인체치수에 대한 파라미터화를 위해 통계적 기법중의 하나인 회귀 분석을 수행하고, 이로부터 회귀식을 도출하였다. 회귀분석은 변수들 간의 함수관계를 분석하는 방법 중의 하나로 독립변수가 종속변수에 미치는 영향력의 크기를 파악하고, 이를 이용해서 독립변수의 일정한 값에 대응하는 종속변수의 값을 예측하기 위해 주로 사용된다. 즉 이는 인체 형상을 결정하는 몇 개의 파라미터 입력으로 Table 2에 나열된 35개의 주요 인체 치수를 손쉽게 결정할 수 있게 한다. 이를 위해 본 연구에서는 주요 인체 치수를 결정하는 4개의 파라미터로 나이, 키, 몸무게 그리고 허리둘레로 선정하고, Table 1에 나열된 각 그룹별(20개 그룹에 대해)로 회귀분석을 수행하였다. 여기서 키는 신체의 높이 측정 을, 몸무게는 신체의 부피 측정을 그리고 허리둘레는 신체의 둘레 측정을 대표하는 파라미터로, 나이는 각 연령층에 해당하는 회귀식을 결정하는 파라미터로 선정하였다. 즉 Fig. 4와 같이 나이의 입력 값에 따라 해당되는 회귀식이 선정되고, 이로부터 키, 몸무게, 허리둘레의 입력 값을 통해 35개의 주요 인체 치수를 출력 값으로 얻을 수 있게 된다. 본 연구에서 회귀분석 을 위한 독립변수로는 키, 몸무게, 허리둘레로 그리고

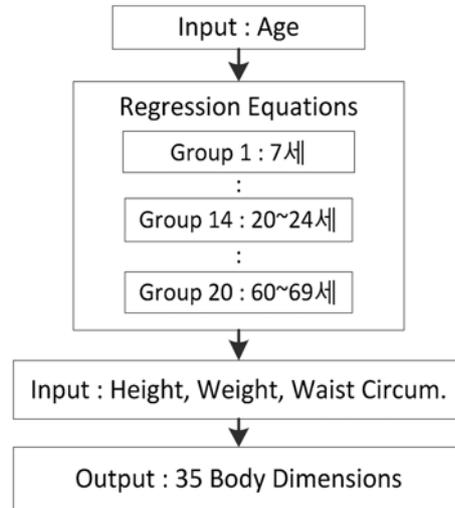


Fig. 4. Procedure for obtaining 35 key body dimensions.

종속변수로는 Table 2에 나열된 치수 항목 중 독립변 수를 제외한 나머지 항목으로 하였다. 이로부터 식 (1) 과 같이 표현되는 회귀식을 도출할 수 있게 되며, 여기 서 b₀~b₃는 회귀계수를, D_i는 Table 2에 나열된 인체 치수를 나타낸다. 이로부터 35개의 주요 인체 치수를 손쉽게 결정할 수 있게 되며, 이는 본 논문의 다음절 에서 논할 인체형상을 결정하는데 필요한 입력 값으 로 사용된다.

$$D_i = b_3 \text{ height} + b_2 \text{ weight} + b_1 \text{ waist circum.} + b_0 \quad (1)$$

본 연구는 식 (1)의 회귀식을 도출하기 위해 3가지 검토사항을 기반으로 회귀분석을 수행하였다. 우선 첫 째로, 산점도(scatter diagram) 검토를 통해 독립변수와 종속변수 사이의 관계가 선형인지를 검토하였다 (Fig. 5). 또한 이로부터 분산된 데이터의 이상치 유 무를 검토하고, 만약 이상치가 발견되면(Fig. 5(a), (b)) 이를 제거하여 통계적 오차를 줄이도록 하였다. 다음은 도출된 회귀모형의 유의성 검토를 위해 회귀 분석의 분산 분석표 중 유의확률 수치로 이를 판정하 였다. 본 연구에서 통계적 유의 수준은 유의확률 수치 가 0.05이하인 경우에 분석된 회귀모형이 유의함으로 판정하였다. 그리고 셋째로, 도출된 회귀모형의 유효 성 검토를 위해 독립변수에 대한 종속변수의 설명력을 나타내는 기여율(R²)로 판정하였다. 다음의 Table 3은 이와 같은 검토를 기반으로 도출된 회귀식으로, 연령 층으로 분류된 20개의 그룹 중 20~24세에 대한 어깨 가쪽높이, 겨드랑 높이, 허리높이 등 몇 항목에 대한

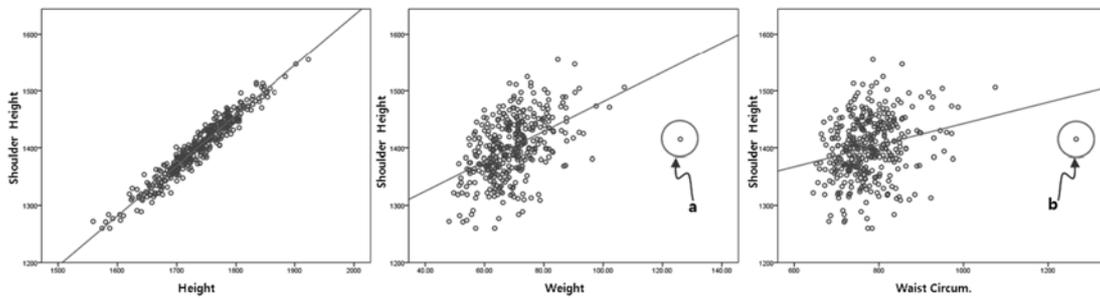


Fig. 5. Example of scatter diagrams for shoulder height vs. height, weight and waist circumference.

Table 3. Example of regression equations

Regression Equations	R ²
$D_2 = 0.877\text{height} - 0.076\text{weight} + 0.030\text{waist circum.} - 138.634$	0.937
$D_3 = 0.851\text{height} - 0.229\text{weight} - 0.014\text{waist circum.} - 160.632$	0.912
$D_4 = 0.652\text{height} + 0.106\text{weight} - 0.046\text{waist circum.} - 30.017$	0.732
$D_5 = 0.652\text{height} + 0.106\text{weight} - 0.046\text{waist circum.} - 30.017$	0.658
:	:

예시로 나타내었다. 여기서 height, weight, waist circum.는 사용자에게 의한 입력 변수로 키, 몸무게, 허리둘레가 되며, R²는 도출된 회귀식의 기여율로 출력 변수에 대한 높은 설명력임을 인지할 수 있다. 그리고 Fig. 6과 Fig. 7에서는 회귀식으로부터 추정되는 주요 인체치수의 표준오차를 각 그룹별로 나타내었다. 또한 Fig. 8에서는 7세~69세에 해당하는 임의의 표본을 추출하고, 이에 대해 실제 측정된 인체치수와 회귀식

으로부터 추정된 인체치수를 비교하였다. 여기서 이들의 평균 오차율은 2.57%로 나타났다. 결론적으로 본 연구에서 주요인체치수를 결정하기 위해 도출된 회귀식의 표준오차는 2 mm~25 mm 내에 분포하고 있으며, 도출된 인체치수의 평균 오차율은 3% 이내로 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 도출된 모든 연령층에 대한 각 그룹별 회귀식은 저자의 홈페이지에서(<http://cadlab.hanyang.ac.kr>) 다운로드 할 수 있다.

2.4 인체 형상 수식

본 연구에서 인체모델의 구조 및 형상을 결정하는 조인트 위치 및 타원체의 반축(semiaxes)은 Table 4, 5에 나열된 수식으로부터 계산되며, 여기서 D는 Table 2에 나열된 i번째 인체 치수를 나타낸다. 각 Table에 나열된 수식은 GEBOD를 기반으로 본 연구에서 제안된 19개의 분절과 16개의 조인트로 구성된 인체 모델

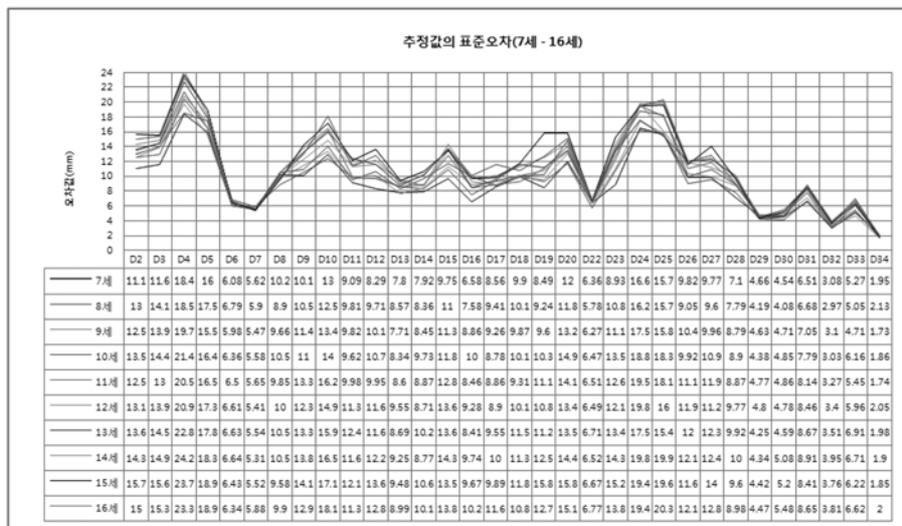


Fig. 6. Standard error of values estimated from the regression equation (7~16 ages).

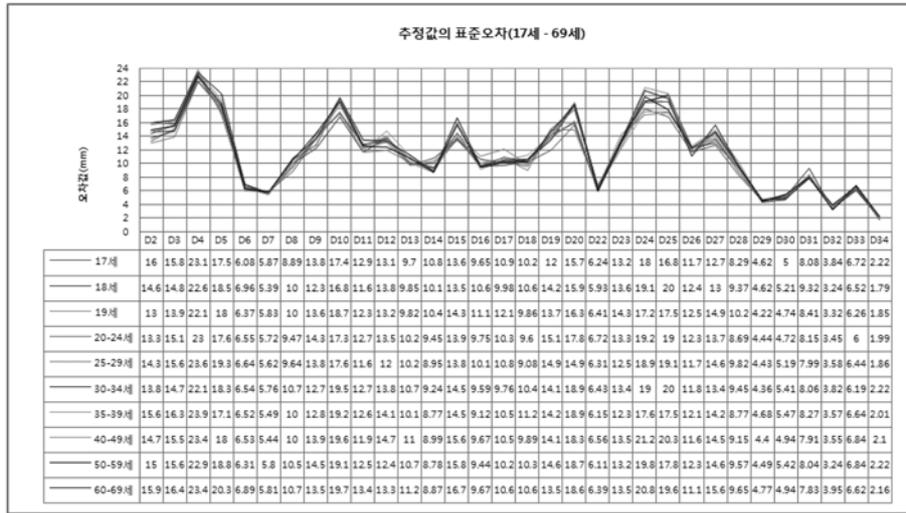


Fig. 7. Standard error of values estimated from the regression equation (17-69 ages).

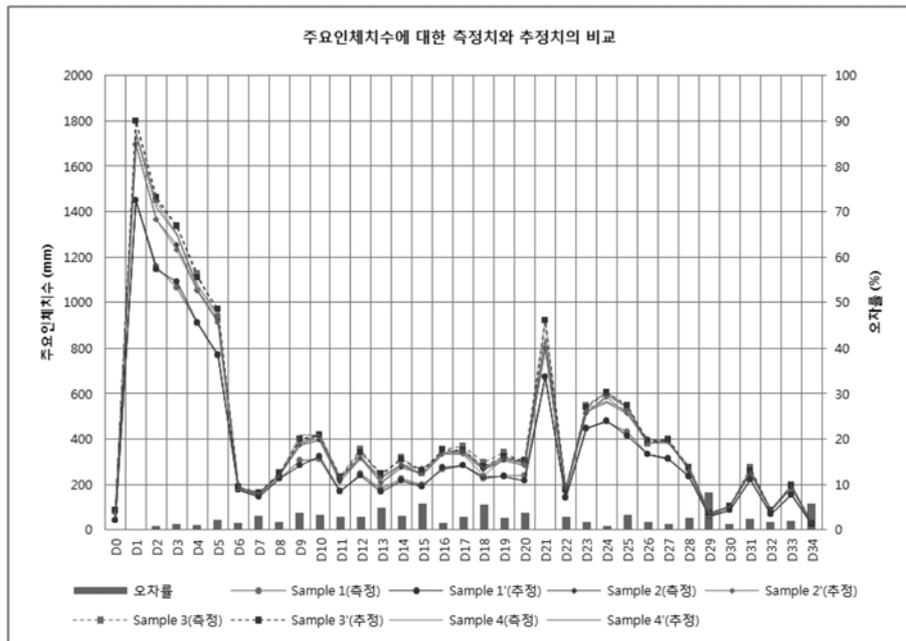


Fig. 8. Comparison between the measured values and the estimated values.

에 맞게 수정된 것이다. 여기서 인체의 머리(head), 목(neck), 몸통(torso)에 해당하는 분절과 조인트 위치를 나타내는 수식은 GEBOD를 따르는 반면, 새롭게 추가된 분절 및 사지(limb)에 대한 조인트 위치는 본 연구에서 재정의 하였다. 이러한 수식은 인체의 각 분절을 대표하는 타원체 지역좌표계의 상대적인 위치에서 다음과 같은 2가지 가정을 기반으로 계산되었다. 첫째는 발(foot)을 제외한 각 타원체의 지역 좌표계와

관련된 모든 조인트의 X 좌표는 0(zero)으로, Y-Z 평면상에 있다고 가정하였다. 그리고 둘째는 골반(pelvis)과 관련된 고관절(hip joint)과 흉부(thorax)와 관련된 어깨 조인트(shoulder joint)를 제외한 모든 조인트의 Y 좌표는 0(zero)으로 가정하였다. 본 연구에서는 이와 같은 2가지 가정과 Fig. 6에 도시된 개념도를 기반으로 머리, 목, 몸통을 제외한 사지(limb) 분절에 해당하는 타원체 반축(ellipsoid semiaxes)과 조인트 위치

를 도출하였다(Table 4, 5). Fig. 9는 인체의 해부학적 지식에 따른 관절의 위치를 기준으로 정의한 것이며, 이를 기반으로 도출된 몇 가지 예를 들면, 우선 견갑골(scapular) 분절은 인체의 어깨 쪽을 대표하며, 이는 전체 어깨 너비에서 목의 너비를 제외한 것으로 나타낼 수 있다. 즉, 이에 대한 타원체의 Y 반축은: (어깨 너비(D_{10})/2-목둘레(D_9)의 반경+위팔둘레의 반경)/2로 나타낼 수 있고 X와 Z 반축은: 위팔둘레의 반경으로 나타내었다. 그리고 인체의 사지에 해당하는 위팔

(upper arm) 분절의 Z 반축은: 위팔수직길이(D_{17})/2로, X와 Y 반축은: 위팔둘레(D_{19})/(2 π)로 나타낼 수 있다. 이와 같이 Fig. 9에 도시된 개념도를 이용하면, 아래팔(forearm), 손(hand), 넓적다리(thigh), 장딴지(calf) 그리고 발(foot) 등 나머지 부분에 대한 타원체 반축을 계산할 수 있다. 또한 이로부터 각 타원체의 상대적인 위치에 놓인 조인트에 대해서도 계산할 수 있다. 즉, 이를 이용해 팔꿈치 관절(elbow joint)에 대한 계산식을 도출해 보면 다음과 같이 나타낼 수 있다. 우선, 위팔

Table 4. Joint locations relative to the segments ellipsoid

Joint	Relative to	Joint Locations		
		X	Y	Z
Abdomen-pelvis	Pelvis	0	0	$(D_1 - D_5 - D_4 + 0.1(D_2 - D_4))/2$
	Abdomen	0	0	$-(D_2 - D_4)/10$
Thorax-abdomen	Abdomen	0	0	$(D_2 - D_4)/10$
	Thorax	0	0	$-9(D_2 - D_4)/20$
Neck-thorax	Thorax	0	0	$9(D_2 - D_4)/20$
	Neck	0	0	$-(D_1 - D_8 - D_2 - D_9/(2\pi))/2$
Head-neck	Neck	0	0	$(D_1 - D_8 - D_2 - D_9/(2\pi))/2$
	Head	0	0	$-(D_8 + D_9/(2\pi))/2$
Right hip	Pelvis	0	$-(D_{16} - D_{24}/\pi)/2$	$-(D_4 - (D_2 - D_4)/10 - D_1 + D_5 - D_{24}/\pi) / 2$
	Right thigh	0	0	$(D_1 - D_5 - D_{23} + D_{24}/\pi)/2$
Right knee	Right thigh	0	0	$-(D_1 - D_5 - D_{23} + D_{26}/\pi)/2$
	Right calf	0	0	$(D_{23} - D_{29} + D_{28}/(2\pi) - D_{26}/\pi)/2$
Right ankle	Right calf	0	0	$-(D_{23} - D_{29} - D_{28}/(2\pi))/2$
	Right foot	$D_{29}/2$	0	$(D_{29} - D_{28}/\pi)/2$
Left hip	Pelvis	0	$(D_{16} - D_{24}/\pi)/2$	$-(D_4 - (D_2 - D_4)/10 - D_1 + D_5 - D_{24}/\pi) / 2$
	Left thigh	0	0	$(D_1 - D_5 - D_{23} + D_{24}/\pi)/2$
Left knee	Left thigh	0	0	$-(D_1 - D_5 - D_{23} + D_{26}/\pi)/2$
	Left calf	0	0	$(D_{23} - D_{29} + D_{28}/(2\pi) - D_{26}/\pi)/2$
Left ankle	Left calf	0	0	$-(D_{23} - D_{29} - D_{28}/(2\pi))/2$
	Left foot	$D_{29}/2$	0	$(D_{29} - D_{28}/\pi)/2$
Right shoulder	Thorax	0	$-D_{10}/2$	$(D_2 - D_3 - D_{19}/(2\pi))$
	Right upper arm	0	0	$(D_{17} - D_{19}/\pi)/2$
Right elbow	Right upper arm	0	0	$-(D_{17} - D_{20}/\pi)/2$
	Right forearm	0	0	$(D_{18} - D_{20}/\pi)/2$
Right wrist	Right forearm	0	0	$-(D_{18} - D_{22}/\pi)/2$
	Right hand	0	0	$(D_{33} - D_{22}/(2\pi))/2$
Left shoulder	Thorax	0	$D_{10}/2$	$(D_2 - D_3 - D_{19}/(2\pi))$
	Left upper arm	0	0	$(D_{17} - D_{19}/\pi)/2$
Left elbow	Left upper arm	0	0	$-(D_{17} - D_{20}/\pi)/2$
	Left forearm	0	0	$(D_{18} - D_{20}/\pi)/2$
Left wrist	Left forearm	0	0	$-(D_{18} - D_{22}/\pi)/2$
	Left hand	0	0	$(D_{33} - D_{22}/(2\pi))/2$

Table 5. Ellipsoid semiaxes

Segment	Semiaxis		
	X	Y	Z
Head	$D_6/2$	$D_7/2$	$(D_8 + D_9/(2\pi))/2$
Neck	$D_9/(2\pi)$	$D_9/(2\pi)$	$(D_1 - D_8 - D_2 + D_9/(2\pi))/2$
Thorax	$D_{11}/2$	$D_{12}/2$	$0.45(D_2 - D_4)$
Abdomen	$D_{13}/2$	$D_{14}/2$	$(D_2 - D_4)/10 + D_9/\pi$
Pelvis	$D_{15}/2$	$D_{16}/2$	$(D_4 + D_5 - D_1 - 0.1(D_2 - D_4))/2$
Right and Left Thigh	$(D_{24} + D_{25})/(4\pi)$	$(D_{24} + D_{25})/(4\pi)$	$(D_1 - D_5 - D_{23} + (D_{24} + D_{26})/\pi) / 2$
Right and Left Calf	$D_{27}/(2\pi)$	$D_{27}/(2\pi)$	$(D_{23} - D_{29} + D_{28}/(2\pi))/2$
Right and Left Foot	$D_{31}/2$	$D_{30}/2$	$D_{29}/2$
Right and Left Upper Arm	$D_{19}/(2\pi)$	$D_{19}/(2\pi)$	$D_{17}/2$
Right and Left Forearm	$D_{20}/(2\pi)$	$D_{20}/(2\pi)$	$D_{18}/2$
Right and Left Hand	$D_{32}/2$	$D_{34}/2 + 10$	$D_{33}/2$
Right and Left Scapular	$D_{19}/(2\pi)$	$(D_{10}/2 - D_9/(2\pi) + D_{19}/(2\pi))/2$	$D_{19}/(2\pi)$

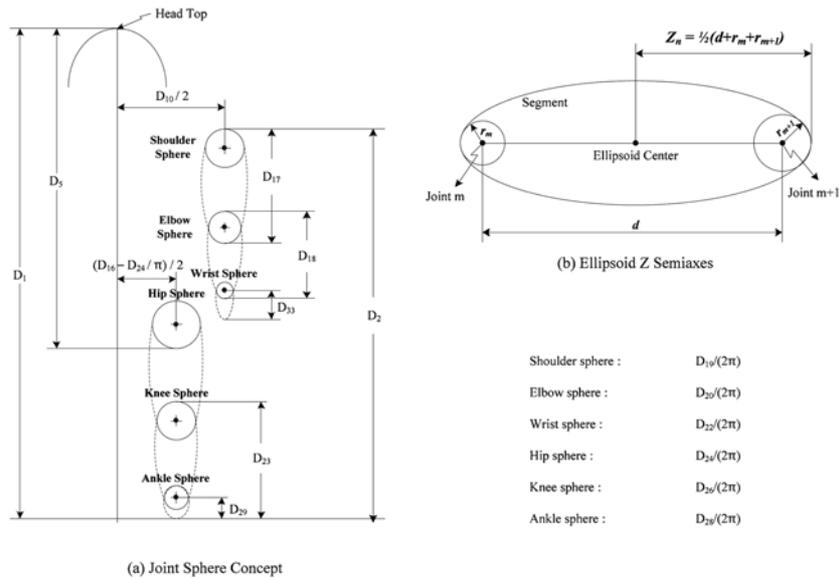


Fig. 9. Concept used to determine joint locations and ellipsoid semiaxes.

의 관점에서 팔꿈치 조인트의 Z좌표는: -(위팔수직길이 / 2 - 팔꿈치 구(elbow sphere)의 반경)으로 나타낼 수 있고, X와 Y 좌표는 0이다. 여기서 Z 좌표의 부호가 음(negative)인 것은 앞서 정의한 좌표계에서 위쪽방향인 양(positive)의 방향이기 때문이다. 그리고 아래팔의 관점에서 팔꿈치 조인트의 Z 좌표는: (아래팔 수평길이 / 2 - 팔꿈치 구의 반경)으로 나타낼 수 있고, X, Y 좌표는 위팔에서와 마찬가지로 0이 된다. 이와 같이 Fig. 9를 기반으로 타원체 반축 및 조인트 위치를 계산할 수 있으며, 이로부터 역으로 계산하면 전역좌표

계를 기준으로 타원체의 중심 및 조인트 위치를 계산할 수 있게 된다.

3. 시스템 구현

본 연구는 제안된 인체 모델의 가시화를 위해 Windows 운영체제 기반의, VTK(Visualization Toolkit) 라이브러리와 C# 프로그래밍 언어를 이용하여 MS Visual Studio 2005에서 구현하였다. 구현된 시스템의 화면구성은 Fig. 10과 같이 크게 4가지 영역으로 구분

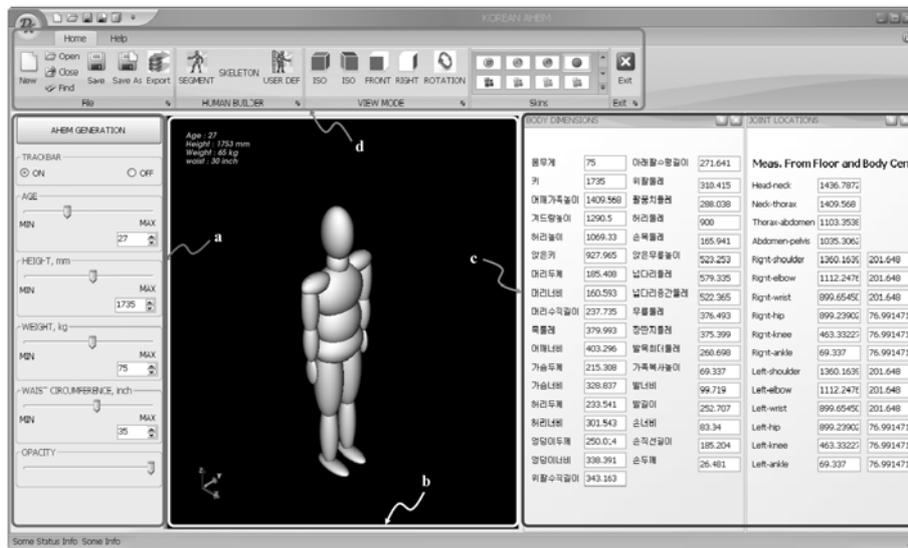


Fig. 10. Implemented a system to visualize human body segment models.

하였다. 이에 대해 간략히 기술하면, Fig. 10(a)의 영역은 파라미터 입력(input parameter) 창으로, 본 연구에서 제안된 인체모델을 생성하기 위해 필요한 파라미터(나이, 키, 몸 무게, 허리둘레)를 입력하는 창으로 구성하였다. 여기서 나이의 최소, 최대값은 7~69세로 제한되고 키, 몸무게, 허리둘레의 최소, 최대값은 연령별로 분류된 회귀식에 의해 1과 100퍼센타일(percentile)에 해당하는 값이 자동으로 결정된다. Fig. 10(b)의 영역은 가시화(visualization) 창으로, 35개의 주요 인체 치수를 기반으로 생성된 인체 모델을 가시화한다. 가시화 창에서는 입력된 파라미터로부터 생성된 인체모델을 실시간 가시화 함으로써 모델 생성에 대한 직관성을 갖도록 하였다. 그리고 Fig. 10(c)의 영역에서는 입력 파라미터로부터 결정되는 35개의 주요 인체 치수와 16개의 조인트 위치에 대한 수치 값을 출력하게 된다. 이 수치 값들은 입력 파라미터의 변경에 따라 실시간으로 재 계산되며, 여기서 조인트 위치에 대한 수치 값은 전역좌표계를 기준으로 산출된 Y, Z의 좌표값을 나타낸다. 또한 Fig. 10(c)에서 35개의 주요 인체 치수를 나타내는 영역은 4개의 파라미터에 따른 산출뿐만 아니라 특정 대상에 대한 인체치수의 입력 창으로 활용할 수 있다. 이에 대한 자세한 논의는 다음절에 기술하도록 한다. 끝으로 Fig. 10(d)의 영역에서는 기본적인 몇 가지 옵션기능뿐만 아니라 생성된 인체 모델을 STL포맷(format)으로 Export할 수 있도록 하여, 여러 상용 CAD시스템 및 해석 툴(tool)에서의 입력 데이터로 활용될 수 있게 하였다. 이에 대한 몇 가지

활용 예로, 본 저자의 홈페이지(<http://cadlab.hanyang.ac.kr>)에서는 동역학 해석 소프트웨어인 DAFUL과 상용 CAD시스템 중 하나인 CATIA V5내(內)의 DMU 워크벤치(workbench)에서의 활용을 소개하고 있다. 또한 본 연구에서 구현된 시스템의 DEMO 동영상은 추가적으로 확인할 수 있다.

4. 결과 및 고찰

본 논문의 Fig. 11에서는 지금까지 논의한 방법을 통해 생성된 인체 모델의 결과를 나타낸다. 즉, 이는 한국인의 신체 체형이 반영된 인체분절모델로써, 7세의 유아 층부터 69세의 이르는 노인 층까지 연령별 상이한 인체모델뿐만 아니라, 키, 몸무게 그리고 허리둘레의 차이에 따른 신체 체형별 다양한 인체모델의 생성 결과를 나타낸다. 그리고 Fig. 11(a)에서는 생성된 인체모델의 내부 구조를 보여주고 있는데, 이는 인체의 자세 및 운동을 손쉽게 표현하기 위한 인체의 단순화된 골격 및 관절 정보를 나타내고 있다. 결론적으로 Fig. 11에서는 앞서 선정된 4개의 파라미터 값에 따른 평균체형의 인체모델을 나타낸다. 다시 말해 연령별로 도출된 회귀식으로부터 키, 몸무게, 허리둘레의 입력에 따른 하나의 평균화된 인체모델이 생성된다. 이러한 모델은 모집단의 평균화된 모델로써 그에 따른 경향성을 분석하기 위한 모델로는 충분히 유용하다고 할 수 있다. 반면, 인체의 대한 특정 체형이나 특정 개인을 대상으로 한 공학적 시뮬레이션 및 분석

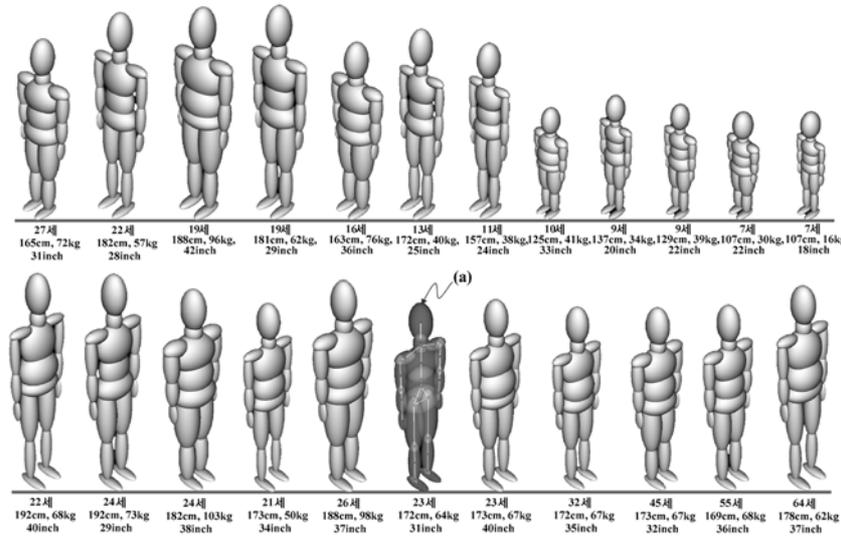


Fig. 11. Results of human body segment models generated according to various body types.

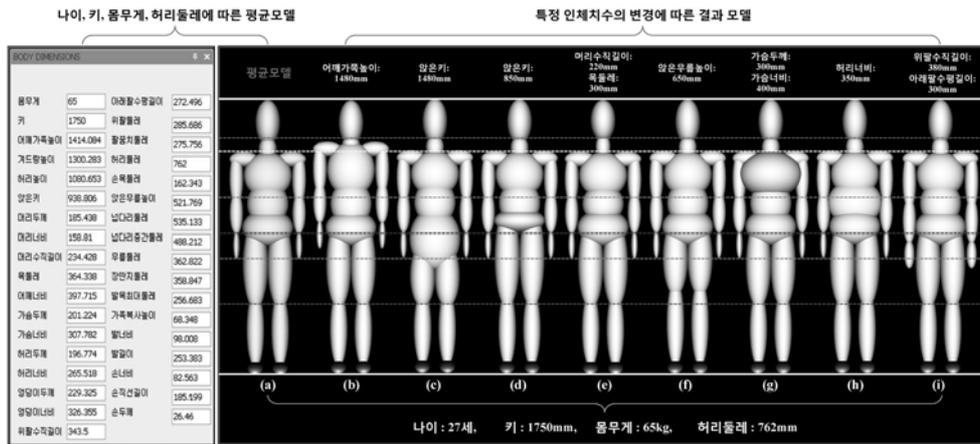


Fig. 12. Results of subject-specific human body segment models.

에는 적합하지 않을 수 있다. 즉, 어떤 인체 대상에 있어 키, 몸무게, 허리둘레의 치수는 동일하지만 팔 길이, 다리 길이, 어깨너비 등 특정 분절의 체형이 다른 인체모델의 생성이 요구 될 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 Fig. 10(c)의 창을 통해 특정인에 대한 인체 치수의 입력으로 개인 맞춤형 인체모델을 생성할 수 있도록 하였다. 본 논문의 Fig. 12에서는 특정 대상의 인체치수를 기반으로 생성된 맞춤형 인체모델의 생성 결과를 나타내었다. 여기서 생성된 결과모델은 4개의 파라미터로 생성된 평균모델과 비교를 위해 과장된 치수변경을 적용한 모델임을 밝힌다. Fig. 12에서 좌측에 나타낸 35개의 주요 인체 치수는 Fig. 12(a)의 평균모

델이 가지는 인체 치수를 나타내며, Fig. 12(b)-(i)는 특정 인체 치수의 변경에 따른 결과 모델을 나타낸다. 그러나 이들 모두의 나이, 키, 몸무게 그리고 허리둘레의 수치는 동일하다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 개인 맞춤형 인체모델로부터 특정 대상을 고려한 제품 설계 및 리치 분석에서 향상된 정밀도를 기대할 수 있다. 결론적으로 본 연구에서 개발된 인체분절모델은 한국인의 인체 측정 데이터를 기반으로 해서 한국인의 신체 체형을 잘 반영하고 있다. 그리고 인체의 물리적 관절 정보를 포함한 다물체 관절 모델로 정의함으로써, 한국인을 대상으로 한 인간공학적 평가뿐만 아니라 다양한 정적 해석 및 동적 해석을 위한 기반 모델

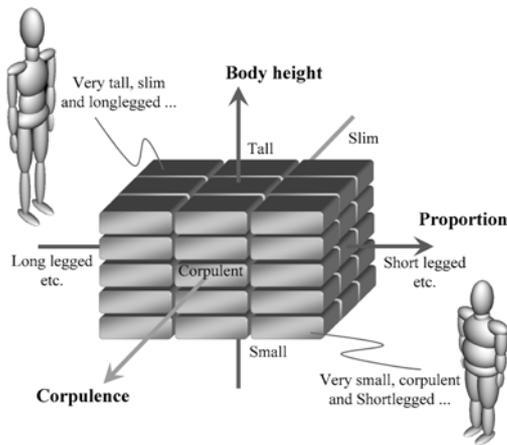


Fig. 13. Different body shape types.

로 활용될 수 있다. 또한 몇 개의 파라미터 입력으로 손쉬운 모델 생성이 가능한 파라메트릭 모델로 나타내었다. 이는 4개의 주요 파라미터 입력으로 모집단의 평균화된 모델뿐만 아니라 특정 인체치수의 변경으로 그에 맞는 개인맞춤형 인체모델의 생성을 가능하게 한다. 즉, Fig. 13과 같이 다양한 신체 조건 및 체형에 맞는 인체모델의 생성이 가능하다.

5. 결론 및 향후 연구관제

본 연구에서는 한국인의 신체 체형을 고려한 파라메트릭 인체분절모델의 생성을 제안하였다. 이는 인체의 각 대표 부위에 해당하는 19개의 독립된 분절과 이들을 연결하는 16개의 조인트로 구성된 관절화된 다물체 모델로 정의된다. 지금까지 개발된 대부분의 인체모델은 한국인의 체형과는 상이한 유럽이나 미국인의 인체 측정 데이터를 기반으로 개발되었다. 그러나 본 연구에서는 한국인의 신체 체형을 잘 반영하기 위해 한국인의 방대한 인체 측정 데이터를 수집하고, 이를 기초 데이터로 활용하였다. 수집된 자료는 7세~69세까지 총 5,350명의 한국인 남성 데이터로, 통계적 방법에 따른 오차를 줄이기 위해 연령별 신체 성장을 고려하여 총 20개의 그룹으로 구분하였다. 그리고 수집된 자료는 119개 인체측정 항목을 포함하고 있으며, 그 중 모델 생성의 직관성과 간편함을 위해 35개 주요 인체치수 항목을 선정하고 이를 파라미터화하기 위해 회귀분석을 수행하였다.

본 연구에서 인체모델 생성을 위한 주요 파라미터로는 인체 성장을 구분하는 나이와 신체 체형을 결정함에 있어 직관적인 키, 몸무게, 허리둘레로 선정하였

다. 이와 같이 본 연구를 통해 생성된 인체모델의 두드러진 특징을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제안된 인체모델은 한국인의 신체 체형을 잘 반영하고 있다.

둘째, 신체 체형을 구분하는 4개의 파라미터 입력으로 신체 체형별 다양한 인체모델의 생성을 가능하게 한다.

셋째, 주요 인체치수의 변경으로 특정 체형 및 특정 대상에 맞는 개인 맞춤형 인체모델의 생성을 가능하게 한다.

넷째, 인체를 관절화된 다물체 모델로 정의하여 다양한 정적 및 동적 해석을 위한 기반 모델로 활용될 수 있도록 하였다.

다섯째, 타원체 형상의 단순화된 모델로써 데이터 양이 적고, 공학적 해석의 효율성을 기대할 수 있다.

본 연구의 향후 과제로 우선 지금까지 논한 방법을 기반으로 여성층에 대해 확대 적용할 것이다. 나아가 타원체 형상의 단순화된 인체모델이 아닌 좀 더 사실적이고 세분화된 인체분절모델의 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음(계약번호 UD090090GD). 그리고 본 논문에서 수집된 인체측정 데이터의 자료를 정리와 회귀식 도출을 도와준 석사과정 임호빈 학생에게 감사의 말을 전합니다.

참고문헌

1. Abdel-Malek, K., Yang, J., Marler, T., Beck, S., Mathai, A., Zhou, X., Patrick, A. and Arora, J., "Towards a New Generation of Virtual Humans," *Int. J. Human Factors Modeling and Simulation*, Vol. 1, No. 1, pp. 2-39, 2006.
2. Bapu, P., Evans, S., Kitka, P., Korna, M. and McDaniel, J., "User's Guide for Combiman Programs, version 4," *University of Dayton Research Institute, Dayton, Ohio*, 1980.
3. Dooley, M., "Anthropometric Modeling Programs-a Survey," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 2, pp. 17-25, 1982.
4. Kingsley, E. C., Schofield, N. A. and Case, K., "SAMMIE - A Computer Aid for Man-Machine Modeling," *Computer Graphics*, Vol. 15, pp. 163-169, 1981.
5. Badler, N., O'Rourke, J. and Toltzis, H., "A Spherical Representation of a Human Body Forvisualizing

- Movement,” *Proc. IEEE*, Vol. 67, pp. 1397-1403, 1979.
6. Badler, N., Palmer, M. S. and Bindiganavale, R., “Animation Control for Real-time Virtual Humans,” *Comm. ACM*, Vol. 42, pp. 64-73, 1999.
 7. Backaitis, S. H. and Mertz., H. J., “Hybrid III : The First Human Like Crash Test Dummy”, SAE.
 8. Lee, S. C., Son, K. and Kim, S. J., “Development and Application of Korean Dummy Models,” *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 21, No. 2, pp. 13-23, 2002.
 9. Han, S. H., Kwak, D. S., Lee, U. Y., Choi, K. N. and Kim, T. J., “Digital Korean Human Model Database,” *KSPE*, pp. 37-40, 2006.
 10. Cheng, H., Rizer, A. and Obergefell, L., “Generator of Body Data Manual,” *NTIS, Springfield*, 1994.
 11. <http://sizekorea.kats.go.kr/>
 12. William, J. S., Lisa, S. A. and William H., *Kitware*, “Visualizing with VTK: A Tutorial”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2002.



구 본 열

2008년 영남대학교 기계공학부 학사
 2010년 한양대학교 기계공학부 공학석사
 2010년~현재 한양대학교 기계공학부 박사과정
 관심분야: Digital Human Modeling, Human motion, Bio-CAD



최 명 환

2008년 전남대학교 기계시스템공학부 학사
 2008년~현재 한양대학교 기계공학부 석사통합과정
 관심분야: Digital Human Modeling, Bio-CAD, PDM/PLM



채 제 욱

1990년 한양대학교 기계설계학과 학사
 1997년 충남대학교 기계설계학과 공학석사
 2006년 충남대학교 기계설계학과 공학박사
 1990년~현재 국방과학연구소 책임연구원
 관심분야: Human modeling & simulation, Bio-mechanics, Future soldier



김 재 정

1981년 한양대학교 정밀기계공학과 학사
 1983년 미국 George Washington대학 공학석사
 1989년 미국 MIT 공학박사
 1989년~1991년 미국 IBM T.J. Watson 연구소 연구원
 1991년~1993년 한국 IBM 소프트웨어 연구소 연구원
 2002년~2003년 미국 NIST 객원 연구원
 2003년 프랑스 Dassault System 객원 연구원
 1993년~현재 한양대학교 기계공학부 교수
 관심분야: Geometric Modeling, CAD/CAM 응용, PDM/PLM, Rapid Prototyping, CATIA 응용