

디지털 코리안 인체 모델 구축

글 광대순, 한승호 | 서울대학교 의과대학 기능의학응용연구실 | daisoon@catholic.ac.kr

1. 서론

사람의 몸에 대한 정보는 의학, 과학, 공학 분야에 서부터 의·식·주 환경의 계획과 설계에 이르는 광범위한 분야에서 필요로 하고 있다. 아픈 곳을 치료하는 의학 분야 뿐만 아니라 인간에게 적합한 제품을 생산하고, 최적화된 생활환경을 설계하는 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 생활수준의 향상과 웰빙 문화의 확산으로 건강과 몸에 대한 관심은 더욱 증가하고 있으며 이를 고려한 제품이 환영받고 있다. 하지만 현재까지 한국인을 대표하는 인체 관련 데이터베이스의 개발과 정보서비스는 많이 부족한 실정이다. 한국인의 인간공학적 환경은 선진국의 것을 모방하거나 규격화되지 못하여 삶의 질을 저하시키고, 사회적·경제적 발전에 제약이 되고 있다. 인체 모델이란 컴퓨터 가상 공간에서 인간을 대신하는 모델로 사람이 직접 실험대에 오를 수 없는 위험한 상황의 결과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 예측하는데 사용되는 모델을 말한다. 인체 모델은 인체의 생김새에 대한 정보를 제공하는 형상정보, 인체를 구성하는 여러 부분의 성질에 대한 물성정보, 인체의 각 부분의 움직임에 대한 움직임 정보로 구성된다(그림 1).

디지털 코리안 인체 모델 구축 사업¹⁾에서는 한국인 뼈의 생김새에 대한 형상정보를 구축하기 위해 한국인 성인 기증 시신 100 표본(남 50, 여 50)을 컴퓨터



그림 1. 인체정보의 구성

단층 촬영(Computed Tomography)하여 각각의 뼈대 모델을 구축하였고, 이를 형상 평균화하여 평균화된 한국인 남녀 평균 뼈대 모델을 구축하였다. 또한 체형에 따라 정상, 과체중, 저체중 표본의 피부 형상 모델을 구축하였고, 구축된 뼈대 모델 중 정밀도가 부족하다고 판단되는 손, 발, 치아 등 작은 뼈 부분은 미세 단층 촬영을 실시하여 초정밀 형상 모델을 구축하였다. 구축된 형상 모델의 물리적 성질을 표현하는 물성정보는 머리뼈(skull), 척추뼈(vertebra), 골기뼈(hip bone), 넓다리뼈(femur), 정강뼈(tibia) 중심으로 겉질뼈(cortical bone)와 해면뼈(trabecular bone)를 구분하여 물성정보 데이터 베이스를 구축하였다. 구축된 단면 영상 정보, 3차원 형상 정보 및 물성 정보는 의학, 공학 분야의 다양한 용도로 활용될 수 있다.

2. 디지털 코리안 인체 모델

2.1 단면 영상 정보 및 뼈대 형상 모델

한국인 뼈대 형상 모델의 제작을 위해 남, 녀 각 50 표본의 기증시신을 1mm 간격으로 컴퓨터 단층 촬영 (Pronto, Hitachi, Japan)을 하여 단면 영상 자료 100 set, 191,660장의 영상을 구축하였다. 각각의 단면 영상을 확인하여 개별 뼈 부분의 구역화 작업을 하였고, 이를 기준으로 남, 녀 뼈에 대한 3차원 형상 모델을 구축하였다. 인체의 뼈는 총 206개로 구성되어 있으나, 산업적 활용 측면에서 구분할 필요가 없는 부분을 통합하여 총 179개로 구분하였다. (표 1). CT로 촬영된 단면 영상에 특정 영역을 구역화 표시 하여 3차원 형상 모델을 생성하는 상용 프로그램(Mimics, Materialise, Belgium)을 활용하여 3차원 뼈대 형상 모델 100

표 1. Components of skeletal model

	Name	Number
skull	cranium	1
	mandible	1
	hyoid bone	1
vertebrae & sacrum	cervical vertebra	7
	thoracic vertebra	12
	lumbar vertebra	5
	sacrum- coccyx	1
rib & sternum	rib	24
	sternum	1
upper extremity	clavicle	2
	scapula	2
	humerus	2
	radius	2
	ulna	2
	hand	54
lower extremity	hip bone	2
	femur	2
	patella	2
	tibia	2
	fibula	2
	foot	52
Total		179

set를 생성하였다. 구축된 3차원 뼈대 형상 모델은 빠속조형(Rapidly Prototype)을 비롯한 각종 상용 CAD 소프트웨어에서 사용될 수 있는 STL 포맷과 유한요소해석에 사용될 수 있는 Shell 형태의 사용자 요청 포맷으로 제공된다. 뼈대 형상 모델 구축에 사용된 기증 시신은 뼈에 손상이 없는 시신으로, 사망시 나이는 남자 50.3세(21-60세) 여자 54.3세(27-60세), 키는 남자 166cm(159-178cm), 여자 156cm(146-166cm) 이다.

구축된 개별 뼈 형상 모델들에 평균화 기법을 도입하여 남녀 각 50개의 뼈대에 대한 평균 형상을 제작하였다. 평균화된 개별 뼈 형상 모델을 해부학적 위치에 적합하게 재구성하여 평균화된 한국인의 뼈대 모델 남, 녀 각 1표본을 구축하였다. 구축된 뼈대 형상 모델에 관한 정보는 표 2와 같다. 구축된 인체 단면 영상 자료와 3차원 뼈대 형상 모델은 의료영상처리 소프트웨어, 3차원 CAD/CAE 소프트웨어 등을 활용하여 형상 관찰, 특이점 계측, 각종 의료제품 개발 등의 학, 생체 공학 분야에 다양하게 활용될 수 있다.

표 2. Database of skeletal model

Group	Contents	Database
CT image	whole body scan	Male 50 set
	1mm thickness	Female 50. Set
Skeletal model	3-Dimensional surface (179 bones per sample)	Male 50 set
		Female 50 set
Averaged skeletal model	Averaged 3-Dimensional surface model	Male 1 set
		Female 1 set

2.2 미세 뼈대 모델, 체형 모델

한국인의 전신 뼈대 형상 모델 구축 결과 크기가 작은 손, 발, 치아 부위는 정밀도가 부족한 부분이 발견되었다. 크기가 작은 부분을 정밀한 모델로 만들기 위해 남녀 각 1표본의 기증 시신의 손, 발, 치아 부분을 컴퓨터 미세 단층 촬영(Micro Computerized Tomography)하여 단면 영상을 확보하고, 단면 영상의 외곽

선을 기준으로 초정밀 3차원 형상 모델을 재구축 하였다. 미세 단층 촬영은 컴퓨터 단층 촬영 장비(Skyscan 1076, Skyscan, Belgium)를 사용하여 촬영하였으며, 대상 뼈의 크기에 따라 수십 μm 간격으로 촬영하여 한 개의 뼈에 200장 이상의 단면 영상을 구축하였다. 3차원 미세 뼈대 모델은 표 3과 같이 손뼈 54개 모델, 발뼈 52개 모델, 치아 32개 모델의 단면 영상 파일과 STL 형식의 3차원 형상 모델 파일이 제공된다. 전신 뼈대를 감싸고 있는 피부 형상 모델을 구축하기 위해, 체형에 따라 정상 체중, 과체중, 저체중의 생체 표본을 1mm 간격으로 전신 컴퓨터 단층 촬영(Multi-channel Computerized Tomography)하여 단면 영상을

확보한 후, 단면 영상으로부터 체형별 피부 형상 모델을 구축하여 기존에 구축된 전신 골격 모델에 추가하였다. 피부 형상 모델은 남, 녀를 구분하여 과체중, 정상체중, 저체중의 BMI 지수가 다른 각각 3개 표본의 단면 영상 파일과 STL 형식의 체형 모델이 제공된다.

2.3 뼈대 물성정보 구축

한국인 인체 뼈의 물리적 성질을 정량화 하기 위한 인체 뼈대 물성 정보 구축은 뼈밀도 차이가 있는 남성, 여성 (노인/성인) 기증 시신에서 시험 대상 뼈를 적출하여 불성시험을 수행하여 구축하였다. 인체 뼈 조직은 크게 해면뼈와 골질뼈로 구분됐고, 조직이 치밀하며 두께가 얇아 정형화된 시험편 제작이 불가능한 골질뼈 부분은 압입 시험을 수행하여 기계적 물성을 측정하였고, 조직이 선근 해면뼈 부분은 다이아몬드 코어 드릴을 사용하여 원기둥 형태로 시험편을 제작하여 만능시험기를 사용하여 압축시험을 수행하여 기계적 물성값을 측정하였다.

불성시험에 사용된 표본은 표 4 와 같다. 나이 차이가 있는 남, 녀 표본을 사용하였고, 각 표본은 골절이 없이, 사망원인이 뼈의 강도 변화와 직접 관련이

표 3. Component number of small bone

	Name	Number	
hands	scaphoid	2	
	lunate	2	
	triquetral	2	
	pisiform	2	
	trapezium	2	
	trapezoid	2	
	capitate	2	
	hamate	2	
	metacarpal bone	10	
	phalangeal proximal	10	
	phalangeal middle	8	
	phalangeal distal	10	
	foots	talus	2
		calcaneus	2
navicular		2	
cuboid		2	
cuneiform medial		2	
cuneiform intermediate		2	
cuneiform lateral		2	
metatarsal bone		10	
phalangeal proximal		10	
phalangeal middle		8	
phalangeal distal		10	
tooth	incisor	8	
	cuspid	4	
	bicuspid	8	
	molar	12	
Total		138	

표 4. Sample for mechanical property test

Sex	Age	Stature	BMD
male	70	174 cm	1.012 g/cm ³
	34	190 cm	1.159 g/cm ³
female	75	162 cm	0.703 g/cm ³
	43	158 cm	0.714 g/cm ³

없는 기증시신을 사용하였다.

대상 시신에서 시험 대상 뼈의 적출은 물성 시험 결과에 영향을 줄 가능성이 있는 물리적, 화학적 처리^{21,3)}는 모두 배제하고 순수 외과적 방법에 의해 적출하였다. 적출된 뼈는 뼈막 제거 작업 후 장기보관이 필요할 경우 -20°C 온도에서 생리식염수 포화 상태에서 보관⁴⁾하였다. 압입시험은 미소압입시험기(AIS 2100,

Frontics, Korea)를 사용하여 수행하였으며, 매우 좁은 영역의 물성이 평가되므로 시험 대상 영역에서 10회 반복 시험하여 평균값을 산정하였다. 표 5에 압입시험을 수행한 견질뼈 부분의 시험 영역수를 나타냈다. 한 개의 시험 대상 뼈에서도 여러 부분으로 구분하여 물성시험을 수행하여 국부적 물성 차이를 검색할 수 있다.

해면뼈 부분의 물성시험을 위해 다이어몬드 코어 드릴을 사용하여 직경 6-10mm, 높이 10-20mm의 원기둥 형상⁵⁾의 시험편을 제작하였다. 시험편의 수량은 표 5에서와 같이 척추뼈에서 30개, 넙다리뼈에서 96개 등의 시험편을 제작하였으며, 시험편 가공시 마찰 등에 의한 물성 변화를 방지하기 위해 전삭 작업시 생리식 염수를 연속적으로 공급하였다. 시험편은 제작 즉시 만능 재료 시험기 (Instron 5567, Instron, USA)를 사용하여 압축시험을 수행하여 물성 정보를 구축하였다.

표 5. Specimen for mechanical property test

Bone	Trabecular	Cortical
vertebra	30	90
femur	96	96
tibia	20	40
humerus	12	32
hip bone	-	36
skull	-	48
Total	158	342

구축된 물성정보의 내용은 탄성계수, 항복강도, 극한강도 값이 제공되며 압입시험의 경우 압입 깊이-하중 이력곡선, 압축시험의 경우 응력-변형률 이력 곡선이 함께 제공된다. 또한 해면뼈의 경우 제작된 시험편을 35 μ m 간격으로 미세 단층 촬영 하여 단면 영상과 일을 함께 제공하고 있다.

3. 결론

2003년부터 추진된 디지털 코리안 인체 모델 구축 사업에서는 한국인의 특성이 반영된 인체 모델 구축을 위해 뼈 형상의 문제가 없는 한국인 성인 기준 시신 100 표본(남 50, 여 50)을 컴퓨터 단층 촬영하여 각각의 뼈대 모델을 구축하였고, 이를 형상 평균화하여 평균화된 한국인 남, 녀 평균 뼈대 모델을 구축하였다. 체형에 따라 정상, 과체중, 저체중 표본의 체형 모델을 구축하였고, 구축된 뼈대 모델 중 정밀도가 부족하다고 판단되는 손, 발, 치아 등 작은 뼈 부분은 미세 단층 촬영을 실시하여 초정밀 형상 모델을 구축하였다. 구축된 형상 모델의 물리적 성질을 표현하는 물성정보는 머리뼈, 척추뼈, 발기뼈, 넙다리뼈, 정강뼈를 중심으로 견질뼈와 해면뼈를 구분하여 물성 정보 데이터 베이스 구축을 완료 하였다. 현재 서비스 되는 한국인 인체 정보는 100 표본의 전신 단층 촬영 영상과 개별 뼈의 3차원 형상 모델, 손, 발, 치아의 미세 단층 촬영 영상과 조정밀 3차원 형상 모델, 피부 형상 모델, 일부 뼈의 기계적 물성 정보가 제공되고 있다. 구축된 영상 및 형상정보, 물성정보는 한국인 인체의 형태학적 연구, 한국인 체형에 맞는 각종 의료제품 개발, 외과적 치료법 개발, 생명, 건강 등과 관련된 제품 개발 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

디지털 코리안 인체 모델은 한국과학기술정보연구원 (KISTI, Korea Institute of Science and Technology Information)에서 연구자들에게 공급하고 있습니다.

참고문헌

- [1] Digital Korean Homepage, <http://digitalman.kisti.re.kr>
- [2] Knaepler, H., Haas, H. and Puschel, H.U., "Biomechanical properties of heat and irradiation treated spongiosa."

Unfallchirurgie, Vol. 17, pp. 194, 1991

[3] Smith, C.W., The mechanical properties of biological materials stored by tissue banks, Ph.D thesis, University of Leeds, U.K, 1995

[4] Roe, S.C, Pijanowski, G.J., and Johnson, A.L., "Biomechanical properties of canine cortical bone allografts: effects of preparation and storage." Am J Vet Res. Vol, 49, No. 6, pp. 873-

880, 1988

[5] Keaveny, T.M., Borchers, R.E., Gibson, L.J. and Hayes, W.C., "Theoretical analysis of the experimental artifact in trabecular bone compressive modulus," J. Biomechanics, Vol. 26, pp. 599-607, 1993