

디지털 코리안 인체 모델 구축

한승호, 광대순*, 이우영(가톨릭대학교 의과대학 해부학교실 · 응용해부연구소)
최광남, 김태중(한국과학기술정보연구원)

Digital Korean Human Model Database

Seung-Ho Han, Dai-Soon Kwak, U-Young Lee(CIAA · Dept. of Anatomy, Catholic Univ.)
Kwang-Nam Choi, Tae-Joong Kim(Korea Institute of Science and Technology Information)

ABSTRACT

Digital Korean Project is to construct the database about geometric and averaging information of external and internal structure of whole human body. First, we constructed the database of the skeletal system. We took computerized tomography of 100 cadavers (male: 50, female: 50) at interval 1mm and reconstructed three dimensional geometric models of individual bones from segmented data of each computerized tomography images. Then we made averaged skeletal model of Korean by geometric averaging technique. Second, we took micro CT for the teeth and the hand & foot bones. Then we made high precision model for the small bone and teeth by micro CT images. Also, we made three kinds of model for whole body shape according to different BMI. All images have serviced DICOM and BMP format and all models STL format. Third, we constructed the database of the mechanical properties of bones. We used four cadavers for mechanical test. The cadavers have different age, sex, and BMD. We performed the indentation test for cortical bone and the compressive test for trabecular bone. We got load-depth curve or stress-strain curve from the test, and we calculated the elastic modulus, yield strength and ultimate strength. Now all data servicing at DIGITAL KOREAN homepage(<http://digitalman.kisti.re.kr>).

Key Words : Digital Korean (디지털 코리안), Human Model (인체모델), Finite Element Model (유한요소모델), Skeletal Model (뼈대모델), Human Information System (인체 정보 시스템)

1. 서론

사람의 몸에 대한 정보는 의학, 과학, 공학 분야에서부터 의.식.주 환경의 계획과 설계에 이르는 광범위한 분야에서 필요로 하고 있다. 아픈 곳을 치료하는 의학 분야뿐만 아니라 인간에게 적합한 제품을 생산하고, 최적화된 생활환경을 설계하는 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 생활수준의 향상과 웰빙 문화의 확산으로 사람의 몸에 대한 관심은 더욱 증가하고 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 가상공간에서 인간을 대신하는 모델로 사람이 직접 실험대에 오를 수 없는 위험한 상황의 결과를 예측하는데 사용되는 모델을 말한다. 즉 목적에 의하여 부여된 환경에서 사람을 대신하여 결과를 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(Fig. 1).

디지털 코리안 인체 모델 구축 사업¹⁾에서는 인체 뼈의 생김새에 대한 형상정보를 구축하기 위해 한국인 성인 기증 시신 100 표본(남 50, 여 50)을 컴퓨터 단층 촬영(Computerized Tomography)하여 각각의 뼈대 모델을 구축하였고, 이를 형상 평균화하여 평균화된 한국인 남, 녀 평균 골격 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 단단한 정도를 표현하는 물성정보는 머리뼈(skull), 척추뼈(vertebra), 볼기뼈(hip bone), 넙다리뼈(femur) 중심으로 겉질뼈(cortical bone)와 해면뼈(trabecular bone)를 구분하여 물성 정보 데이터 베이스 구축을 완료하였다. 구축된 단면 영상 정보, 3차원 형상 정보 및 물성 정보는 의학, 공학 분야의 다양한 용도로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

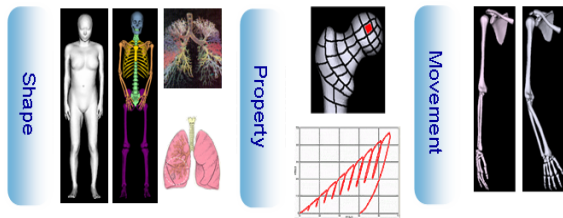


Fig. 1 Constitution of Digital Korean model

2. 디지털 코리안 인체 모델 구축

2.1 뼈대 형상 모델 구축

한국인의 뼈대 형상 모델은 인체를 구성하는 뼈를 Table 1과 같이 총 179개로 구분하고, 남, 녀 각 50 표본의 기증시신을 이용하여 1mm 간격으로 컴퓨터 단층 촬영(Computerized Tomography)을 실시하여 단면 영상을 확보한 후, 이를 활용하여 남, 녀 뼈에 대한 3차원 인체 모델을 구축하였다. 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) 이었다.

구축된 개별 뼈 형상 모델들은 평균화 기법을 도입하여 남, 녀 각 50개의 골격에 대한 평균 형상을 제작하였다.

Table 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 |

| Name | | Number |
|-----------------|----------|--------|
| rib & sternum | rib | 24 |
| | sternum | 1 |
| upper extremity | clavicle | 2 |
| | scapula | 2 |
| | humerus | 2 |
| | radius | 2 |
| | ulna | 2 |
| | hands | 54 |
| lower extremity | hip bone | 2 |
| | femur | 2 |
| | patella | 2 |
| | tibia | 2 |
| | fibula | 2 |
| | foots | 52 |
| Total | | 179 |

평균화된 개별 뼈 형상 모델을 해부학적 위치에 적합하게 재구성하여 평균화된 한국인의 골격 모델 남, 녀 각 1표본을 구축하였다. 구축된 뼈대 형상 모델에 관한 정보는 Table 2와 같다. 인체 뼈대 모델은 3차원 형상을 나타내는 범용 STL 파일 형식으로 제공되며, 의료영상처리 소프트웨어, 3차원 CAD/CAE 프로그램 등을 활용하여 형상 관찰, 특이점 측정, 인체 보철물 시뮬레이션 등 생체 공학 분야에 다양하게 활용될 수 있다.

Table 2 Database of skeletal model

| Group | Contents | Database |
|-------------------------|--------------------------------------|----------|
| CT image | whole body scan | M 53 set |
| | 1mm thickness | F 53 set |
| Skeletal model | 3-D surface | M 50 set |
| | (179 bones per sample) | F 50 set |
| Averaged skeletal model | Averaged 3-Dimensional surface model | M 1 set |
| | | F 1 set |

2.2 미세 뼈대 형상, 피부 형상 모델 구축

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

으로 촬영하여 한 개의 뼈에 200장 이상의 단면 영상을 구축하였다. 구축된 단면 영상을 외과선 기준으로 구역화 작업을 수행하여 3차원 형상의 뼈대 모델로 재구성 하였다. 3차원 미세 뼈대 모델은 Table 3과 같이 손뼈 54개 모델, 발뼈 52개 모델, 치아 32개 모델이 단면 영상 파일과 STL 형식의 3차원 형상 모델 파일이 제공된다.

Table 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 |
| 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 |

전신 뼈대를 감싸고 있는 피부 형상 모델을 구축하기 위해, 비만도에 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 기 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 형상 모델이 제공된다.

2.3 뼈대 계통 물성정보 구축

한국인 인체 뼈의 단단한 정도를 정량화 하기 위한 인체 뼈대 물성 정보 구축은 뼈밀도 차이가 있는 남자, 여자(노인/성인) 기증 시신에서 시험 대상 뼈를 적출하여 물성시험을 수행하여 구축하였다. 인체 뼈 조직을 크게 해면뼈와 겉질뼈로 구분하였고, 조직이 치밀하며 두께가 얇아 정형화된 시험편 제작이 불가능한 겉질뼈 부분은 압입 시험을 수행하여 기계적 물성값을 측정하였고, 조직이 성근 해면뼈 부분은 다이아몬드 코어 드릴을 사용하여 원기둥 형태로 시험편을 제작하여 만능시험기를 사용하여 압축 시험을 수행하여 기계적 물성값을 측정하였다.

물성 시험에 사용된 표본은 Table 4와 같다. 나이 차이가 있는 남, 녀 표본을 사용하였고, 각 표본은 골절 이력이 없고, 사망원인이 뼈의 강도 변화와 직접 관련이 없는 기증시신을 사용하였다.

Table 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 |

대상 시신에서 시험 대상 뼈의 적출은 물성 값에 영향을 줄 가능성이 있는 물리적, 화학적 처리^{2),3)}는 모두 배제하고 단순 외과적 방법에 의해 적출하였다. 적출된 뼈는 뼈막 제거 작업 후 장기보관이 필요할 경우 -20℃ 온도에서 생리식염수 포화 상태에서 보관⁴⁾하였다. 뼈의 바깥쪽 부분을 둘러싸고 있는 겉질뼈 부분은 두께가 얇아 정형화된 시험편 제작이 불가능하여 압입시험을 수행하여 측정하였다. 압입 시험은 미소압입시험기(AIS 2100, Frontics, Korea)를 사용하여 수행하였으며, 매우 좁은 영역의 물성이 평가되므로 시험 대상 영역에서 10회 반복 시험하여 평균값을 산정하였다. Table 5에 압입 시험을 수행한 겉질뼈 부분의 시험 영역수를 나타냈다. 한 개의 시험 대상 뼈에서도 여러 부분으로 구분하여 물성시험을 수행하여 국부적 물성 차이를 검색할 수 있다.

해면뼈 부분의 물성 시험을 위해 다이아몬드 코어 드릴을 사용하여 직경 6-10mm, 높이 10-20mm의 원기둥 형상⁵⁾의 시험편을 제작하였다. 시험편의 수량은 Table 5에서와 같이 각각의 표본에서 척추뼈에서 30개, 넓다리뼈에서 96개의 시험편을 제작하였으며, 시험편 가공시 마찰 등에 의한 물성 변화를 방지하기 위해 절삭 작업시 생리식염수를 연속적으로 공급하였다. 시험편은 제작 즉시 만능 재료 시험기(Instron 5567, Instron, USA)를 사용하여 압축시험을

수행하여 물성 정보를 구축하였다.

Table 5 Specimen for mechanical property test

| Bone | Trabecular | Cortical |
|----------|------------|----------|
| vertebra | 30 | 90 |
| femur | 96 | 96 |
| hip bone | - | 36 |
| skull | - | 48 |
| Total | 126 | 270 |

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

4. 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 촬영 하여 각각의 뼈대 모델을 구축하였고, 이를 형상 평균화 하여 평균화된 한국인 남, 녀 평균 골격 모델을 구축하였다. 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 단단한 정도를 표현하는 물성정보는 현재 머리뼈, 척추뼈, 볼기뼈, 넓다리뼈 중심으로 걸질뼈와 해면뼈를 구분하여 물성 정보 데이터 베이스 구축을 완료하였다. 현재 서비스 되는 한국인 인체 정보는 100 표본의 전신 단층 촬영 영상과 개별 뼈의 3차원 형상 모델, 손, 발, 치아의 미세 단층 촬영 영상과 초정밀 3차원 형상 모델, 피부 형상 모델, 일부 뼈의 기계적 물성 정보가 제공되어 있다. 구축된 영상 및 형상정보, 물성 정보는 한국인 인체의 형태학적 연구, 한국인 체형에 맞는 인체 보철물 개발, 외과적 치료법 개발, 생명, 건강 등과 관련된 제품 개발과 생체공학 연구 등 다양한 분야에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

후기

이 연구는 정보통신부가 후원하고 한국과학기술

정보연구원이 주관하는 지식정보사업의 일환으로 가톨릭응용해부연구소가 수행하였으며, 구축된 정보는 한국과학기술정보연구원(KISTI) 홈페이지를 통해 서비스 되고 있습니다(Fig. 2).



Fig. 2 Digital korean homepage
<http://digitalman.kisti.re.kr>

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