

한국인의 컴퓨터 단층촬영 영상을 이용한 법의인류학적 연구의 현황과 과제

우은진¹, 정양승²

¹세종대학교 인문과학대학 역사학과, ²미들테네시 주립대 생물학과

Forensic Anthropological Studies using Korean CT Data: The Present and the Future

Eun Jin Woo¹, Yangseung Jeong²

¹Department of History, Sejong University

²Department of Biology, Middle Tennessee State University

Abstract : Computed tomography (CT) allows to inspect and identify the internal features of human tissues in a non-destructive way and to reconstruct their three-dimensional (3D) morphology. Nowadays, CT data have become one of the key research materials in the field of virtual anthropology. Particularly in forensic anthropology, CT data are often used not only to document biological properties of a population and generate population-specific standards for an identification purpose but also to perform comparative studies between populations. This study aims to survey the state of CT databases established in South Korea and research outcomes from the databases to understand the trend of forensic anthropological studies using Korean CT data, which will contribute to an expansion of the scope of Korean forensic anthropology. There are only a few Korean CT databases available for forensic anthropological studies. The largest Korean CT database is the Forensic CT Database managed by the National Forensic Service (NFS) since 2013. The NFS database is still growing by adding new CT data from the forensic cases and has a great potential as a research resource. Research articles using Korean CT data have been published in multiple domestic and international forensic journals since the late 2000s. The two most dominant topics were to generate Korean-specific sex estimation techniques based on the metric assessment of different body parts and to examine the thickness and shape of soft tissues on the face in terms of the facial reconstruction. There are only a limited number of studies dealing with other topics such as age estimation. Recent advancement of the forensic imaging techniques

이 연구는 2021년도 행정안전부 주관 국립과학수사연구원 중장기과학수사감정기법연구개발(R&D)사업(NFS2021MED01)의 지원, 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구임(No. 2018R1A5A7023490).

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.

저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

Received: August 10, 2021; **Revised:** August 31, 2021;

Accepted: August 31, 2021

Correspondence to: 정양승 (미들테네시 주립대 생물학과)

E-mail: yangseung.jeong@mtsu.edu

including the CT method creates a new environment for researchers. In this situation, detailed information about the measurement methods and clearly defined variables are critical to conduct various inter-population comparisons and meta-analyses. Thus, when CT-related research is performed, the issue of standardization and reliability of the measurement methods should be considerably examined. The Korean CT databases established in a systemic and standardized way will contribute to a generation of the Korean-specific forensic standards as well as to an understanding of the human variations among populations.

Keywords : Computed tomography, Virtual anthropology, Biological profile, Forensic anthropology, Korean

서 론

1970년대 개발된 컴퓨터단층촬영술(computed tomography)은 임상의학에서 질병의 진단을 위해 주로 사용되었으나 이후 1980년대 독일에서 시신을 부검하는 데 이용되기 시작하면서 이를 계기로 법의인류학을 비롯한 생물인류학 분야의 연구에 폭넓게 활용되어 왔다[1]. 예를 들어 생물인류학의 분과학문인 고인류학 분야의 연구자들은 불완전하게 남아있는 인류 화석을 비파괴적인 방법으로 분석하고 3차원 형태로 복원하는 데 CT를 적극 활용하였다. 고인류화석은 자료가 희소하고 보존상태가 양호하지 않기 때문에 특히 CT를 이용해 자료를 3차원으로 보존하는 과정이 의미가 있다. 1980년대에는 나선식 CT(spiral CT)가 개발되면서 조직의 단면 자료와 함께 3차원 표면 복원을 위한 이미지 처리 결과가 크게 향상되었고 그 결과로 고해상도의 표면 이미지와 내부 구조를 분석할 수 있게 되었다[2]. 이러한 기술상의 발전과 더불어 1990년대 후반부터 법의학과 법의인류학 분야에서도 다검출 CT(multidetector CT)나 사후 CT(post-mortem CT)가 활발하게 이용되고 있다.

컴퓨터단층촬영술은 조직을 파괴하지 않고 검사나 분석이 가능하도록 하며, 표면 영상 복원을 통해 형상을 3차원으로 복원할 수 있게 하고 반복적으로 과정을 구현할 수 있게 한다는 이점이 있다. 법의학과 법의인류학 분야에서 이 기법이 어떻게 활용되었는지를 살펴보면 먼저 전통적인 부검과 함께 전신 CT에 의한 영상 자료를 함께 검토함으로써 법의학 조사가 더욱 면밀하게 이루어졌다[3]. 또 성별과 연령, 신장, 체중을 비롯한 개체의 생물학적 속성을 추정하는 공식을 개발하는 과정에도 특정 집단의 CT 자료가 활용되고 있다. 이외 법의인류학적 얼굴 복원을 위해 피부 두께를 측정할 때에도 이용되었는데 이와 관련해 전통적인 방법을 이용하여 피부 두께를 측정한 결과보다 CT 자료를 이용했을 때 더 정확하게 피부 두께가 측정되었다는 보고도 있다[4]. 특히 특정 집단의 CT 자료를 이용해 생물학적 특성을 축적할

경우 법의인류학적 방법론을 개발할 수 있게 하는 자료가 되며, 다양하게 축적된 집단 차원의 자료를 통해 집단 간 비교 연구도 보다 폭넓게 이루어질 수 있다.

CT 자료의 특성상 조직의 파괴 없이 분석이 이루어지고 한번 생성된 자료는 쉽게 접근이 가능하며 영구적으로 보존이 가능하기 때문에 앞으로 이를 활용한 연구는 계속 확대될 것으로 예측된다. CT에 의한 3차원 영상 자료는 오늘날 전문적인 소프트웨어와 프로그램, 기하학을 비롯한 컴퓨터 과학과 통계적 방법론이 결합되어 새로운 학제 간 분과학문인 가상인류학(virtual anthropology)의 토대를 마련하기도 했다. 가상인류학에서 핵심 연구 자료가 되는 CT 자료는 2000년 이후 주요 법과학 및 법의인류학 분야의 연구에서 그 활용 증가세가 단연 두드러진다[5]. 이렇듯 CT 자료가 갖는 이점을 고려해 볼 때 CT를 이용한 연구는 마른뺨 자료가 부족한 국내의 연구 여건상 다수의 연구 대상을 확보할 수 있도록 한다. 그러나 이러한 이점에도 불구하고 지금까지 한국인 CT 자료를 대상으로 한 법의인류학적 연구가 많이 이루어지지는 않았다. 이 연구에서는 한국인 CT 자료를 이용해 구축된 자료와 지금까지의 연구 성과를 검토함으로써 한국인의 컴퓨터단층촬영술을 이용한 법의인류학적 연구의 경향을 파악하고자 하였다. 이를 토대로 한국의 법의인류학적 연구의 지평이 향후 보다 넓어질 수 있는 방안을 모색하는 기회가 마련되기를 기대한다.

재료 및 방법

한국인 뼈대를 비롯한 인체 조직의 특성을 체계적으로 분석, 수집하고 자료를 관리하여 데이터베이스화하는 작업은 법의인류학적인 기법으로 한국인을 식별할 수 있게 하는 과학적 자료를 축적하게 한다는 점에서 큰 의미가 있다. 하지만 우리나라의 경우 지금까지 이러한 자료의 축적은 물론 이를 활용한 연구가 활발하게 이루어지지 않았다. 다만 과거

Table 1. Forensic journals used in this study

Journal (abbreviation)	Publication year	Ranking in the field of Medicine, Legal (as of 2020)
International Journal of Legal Medicine (Int. J. Legal Med.)	1922~	3/16
Forensic Science International (Forensic Sci. Int.)	1978~	4/16
Legal Medicine (Leg. Med.)	1999~	10/16
Journal of Forensic Sciences (J. Forensic Sci.)	2006~	8/16

Table 2. Classification of the article topics examined in this study

Topic category	Sub-categories
Biological profile	Sex, age, stature, body mass
Shape analysis	Osteometry, geometric morphometry
Facial reconstruction	Soft tissue thickness, accuracy
Personal identification	

임상의학 분야에서 주로 이용되어 오던 CT 자료가 점차 공학을 비롯한 과학 분야와 개인 식별을 목적으로 하는 법의인류학 분야의 연구에도 확대되고 있는 추세는 매우 고무적이라 할 만하다. 여기에서는 한국인 CT 자료를 대상으로 현재까지 이루어진 연구의 경향을 파악하기 위해 법의인류학적으로 이용 가능한 데이터베이스와 주요 저널에 실린 논문을 검토하였다.

구체적으로 한국인의 CT 자료가 축적된 데이터베이스 현황은 구글(google)을 이용하여 검색하였다. 한국인 CT 자료를 이용한 논문 가운데 해외 학술지에 실린 결과는 구글에서 “CT image”, “computed tomography”를 키워드로 검색하였고 국내에서 출판된 연구는 “단층촬영”, “CT 자료”로 검색하여 그 결과를 검토하였다. 구글로 검색한 연구 결과 외에 법과학 및 법의인류학 관련 논문을 가장 많이 출판하고 있는 Web of Science 등재 국제 학술지 네 개를 선택하여 그 출판물을 검토하였다(Table 1). 네 개의 저널에서 2020년까지 발표된 출판물을 검토하여 성별, 연령, 신장, 체중을 비롯한 생물학적 속성에 대한 프로파일링과 뼈대의 형태 분석, 얼굴 복원, 기타 개인 식별의 네 범주로 주제를 구분하여 연구 성과를 분류하였다(Table 2).

결 과

임상의학 분야에서 주로 활용되었던 CT 자료를 보다 넓은 영역에서 활용하고자 하는 시도는 국내에서 2000년을 전후한 시기부터 진행되었고 그 결과로 구축된 주목할 만한

데이터베이스 성과는 Table 3의 내용과 같다. 가장 먼저 한국과학기술정보연구원(KISTI)과 가톨릭대학교 응용해부연구소가 공동으로 2003년부터 디지털 코리안 사업(Digital Korean)을 진행하였으며, 그 결과 한국인 106명(남 51, 여 55)의 전신 CT 영상과 모든 뼈대에 대한 3차원 뼈대 모델 자료가 구축되었고 가장 최근에는 2013년에 30명(남 19, 여 11)에 대한 CT 자료가 추가되었다(<http://dk.kisti.re.kr/>). 다음 가톨릭대학교 응용해부연구소 주도로 2008년부터 진행되어온 법의인류학 데이터베이스가 있다. 여기에는 성모병원으로부터 수집된 600여 명의 한국인 머리 CT 자료와 연구 과제 진행을 위해 국립과학수사연구원으로부터 넘겨받은 사후 부검 시신의 전신 CT 100개체 분이 축적되어 있다. 마지막으로 국립과학수사원이 2013년부터 축적하고 있는 부검 시신에 대한 사후 CT 자료가 있다. 국립과학수사연구원은 원주 본원과 서울 및 부산 본원에 마련된 CT 장비를 이용하여 매년 적게는 400여 건, 많게는 800여 건에 이르는 사후 CT 자료를 구축하고 있다. 디지털 코리안 사업에서 구축된 자료는 일반 연구자가 정보이용신청서를 작성하여 자료를 신청하고 연구에 활용할 수 있는 반면 가톨릭대학교 응용해부연구소의 법의인류학 데이터베이스와 국립과학수사연구원의 부검 시신에 대한 CT 자료는 “인간대상연구”에 대한 윤리와 안전을 위해, 연구 과제를 진행하는 연구자에 한해 제한적으로만 연구에 활용되고 있다.

한국인의 CT 자료를 이용한 연구를 네 개의 국제 학술지에서 검색한 결과, 2000년부터 지금까지 법의인류학적 주제로 총 16편의 논문이 출판된 것으로 파악되었다(Table 4). 법의인류학 학술지에서 주로 다루어지는 연구 주제별로 연구 성과를 살펴보면 한국인 CT 자료를 이용한 연구 중 생물학적 프로파일링 복원을 주제로 한 연구가 지금까지 다른 주제에 비해 더 많이 연구되어 왔음을 알 수 있다. 총 16편의 논문 가운데 생물학적 프로파일링 복원을 주제로 한 논문이 아홉 편을 차지하고 있으며, 이 가운데 특히 성별 추정 에 대한 연구가 일곱 편으로 가장 많았다. 이외 두 편은 키와 신장 추정에 대한 연구였다. 한편 성별이나 연령을 비롯한 생물학적 속성 복원과 별개로 특정 뼈대의 형태를 분석

Table 3. CT database in South Korea

Database	Institution	Establishment year	Samples
Digital Korean Database	Korean Institute of Science and Technology Information (KISTI), Catholic Institute for Applied Anatomy	2003	136 individuals (full body)
Forensic Anthropological Database	Catholic Institute for Applied Anatomy	2008	600 individuals (head) 100 (full body)
Forensic CT Database	National Forensic Service	2013	400~800 individuals per year

Table 4. Articles using Korean CT data published in the four forensic journals

Topic category	Author	Title	Journal
Biological profile - Sex	Yu et al., 2008 [6]	Determination of sex for the 12th thoracic vertebra by morphometry of three-dimensional reconstructed vertebral models	J. Forensic Sci.
	Lee et al., 2012 [7]	Sex determination from the talus of Koreans by discriminant function analysis	Forensic Sci. Int.
	Kim et al., 2013 [8]	Sex determination from calcaneus in Korean using discriminant analysis	Forensic Sci. Int.
	Kim et al., 2013 [9]	Sex determination using discriminant analysis of the medial and lateral condyles of the femur in Koreans	Forensic Sci. Int.
	Lin et al., 2014 [10]	Sex determination from the mandibular ramus flexure of Koreans by discriminant function analysis using three-dimensional mandible models	Forensic Sci. Int.
	Lee et al., 2015 [11]	Sex determination using discriminant analysis of upper and lower extremity bones: New approach using the volume and surface area of digital model	Forensic Sci. Int.
	Kim et al., 2018 [12]	Comprehensive evaluation of the greater sciatic notch for sexual estimation through three-dimensional metric analysis using computed tomography based models	Leg. Med.
Biological profile - Stature	Lee et al., 2017 [13]	Estimation of stature from femur length measured using computed tomography after the analysis of three-dimensional characteristics of femur bone in Korean cadavers	Int. J. Legal Med.
Biological profile - Body mass	Jung et al., 2016 [14]	Selecting best fit models for estimating the body mass from 3D data of the human calcaneus	Forensic Sci. Int.
Facial reconstruction	Lee et al., 2011 [15]	An accuracy assessment of forensic computerized facial reconstruction employing cone beam computed tomography from live subjects	J. Forensic Sci.
	Hwang et al., 2012 [16]	Facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction in Korean adults.	J. Forensic Sci.
	Hwang et al., 2012 [17]	Reproducibility of facial soft tissue thickness for craniofacial reconstruction using cone beam CT images	J. Forensic Sci.
	Lee et al., 2014 [18]	Three dimensional prediction of the nose for facial reconstruction using cone beam computed tomography	Forensic Sci. Int.
	Lee et al., 2015 [19]	Correlation between average tissue depth data and quantitative accuracy of forensic craniofacial reconstructions measured by geometric surface comparison method	J. Forensic Sci.
	Lee et al., 2020 [20]	Assessment of nasal profiles for forensic facial approximation in a modern Korean population of known age and sex	Leg. Med.
Personal identification	Kim et al., 2013 [21]	Identification using frontal sinus by three-dimensional reconstruction from computed tomography	J. Forensic Sci.

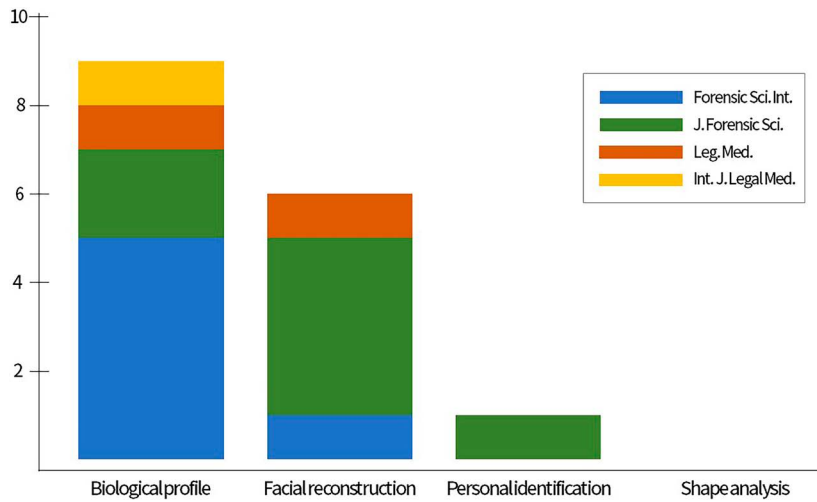


Fig. 1. Publication status of the articles using Korean CT data in the four forensic journals as of 2020.

Table 5. Articles using Korean CT data published in the Korean and international journals

Topic category	Author	Title	Journal
Biological profile - Sex estimation	Kim et al., 2015 [22]	Sex determination using three-dimensional image of skull in Korean: Metric study by discriminant function analysis	Korean Journal of Physical Anthropology
	Hong et al., 2014 [23]	Validation study of discriminating sex using the atlas from the Digital Korean 3D Human Body modeling	Korean Journal of Physical Anthropology
	Hwang et al., 2015 [24]	Discriminant function analysis for sex determination using landmarks coordinate data from three-dimensional mandible models	Australian Journal of Forensic Sciences
	Kim et al., 2017 [25]	A new landmark for measuring the ischium-pubis index for sex determination by using three-dimensional models of South Korean population	Australian Journal of Forensic Sciences
Biological profile - Age estimation	Lee et al., 2017 [26]	Age estimation using the maxillary canine pulp/ tooth ratio in Korean adults: A CBCT buccolingual and horizontal section image analysis	Journal of Forensic Radiology and Imaging
	Pham et al., 2021 [27]	Age estimation based on 3D post-mortem computed tomography images of mandible and femur using convolutional neural networks	PLoS ONE
Facial reconstruction	Jeong et al., 2006 [28]	Clinical usefulness of facial soft tissues thickness measurement using 3D computed tomographic images	Korean Journal of Oral and Maxillofacial Radiology
	Jeong et al., 2006 [29]	Measurement of facial soft tissues thickness using 3D computed tomographic images	Korean Journal of Oral and Maxillofacial Radiology
Shape analysis	Choi et al., 2020 [30]	A study on the Korean orbital and cranial index using 3d skull CT image and morphometric analysis	Anatomy-Biological Anthropology

한 연구는 네 개 학술지에서 찾아볼 수 없었다. 추가로 얼굴 복원을 주제로 한 연구가 여섯 편을 차지했고 CT 자료를 이용해 3차원으로 이마굴(frontal sinus)을 복원하여 개인 식별에 이용한 연구도 한 편 있었다(Fig. 1).

네 개의 주요 법의인류학 학술지에 실린 연구 외에 구글 검색에서 한국인 CT 자료를 이용한 법의인류학적 연구를 검색한 결과, 국내 학술지 논문 다섯 편과 해외 학술지 논문 네

편이 추가로 파악되었다(Table 5). 해외 학술지 논문 두 편은 Australian Journal of Forensic Sciences, Journal of Forensic Radiology and Imaging, PLoS ONE에 실렸고 국내 학술지 논문은 대한체질인류학회지, 해부생물인류학, 대한구강악안면방사선학회지에 게재되었다. 연구 주제는 아홉 편 중 네 편의 연구가 성별 추정에 대한 연구였고 두 편은 연령 추정에 대한 연구, 한 편은 한국인 눈확지수와 머리뼈지수에 대한 계

측학적 분석, 나머지 두 편은 얼굴 복원을 위한 얼굴 연조직 두께 측정에 대한 연구였다.

고찰

이 연구에서 검토한 바에 의하면 한국인의 CT 자료를 기반으로 한국인 인체 정보에 대한 데이터 베이스가 체계적으로 축적되어 향후 법의인류학적 연구에 활용 가능한 예는 몇몇 사례에 그친다. 현재 고해상도의 CT 자료가 질병 진단은 물론 재활과 스포츠를 비롯 인체 구조와 관련이 있는 다양한 분야에서 폭넓게 이용되고 있지만 법의인류학적 연구에 적용될 수 있는 국내의 연구 자료는 많지 않은 것이 현실이다 [31]. 먼저 디지털 코리안은 일반 연구자가 비교적 용이하게 활용할 수 있지만 축적된 자료의 규모가 크지 않다. 가톨릭대학교 응용해부연구소의 법의인류학적 데이터베이스는 얼굴 복원을 위한 자료 축적을 위해 병원 환자를 대상으로 촬영한 600여 개체의 머리 CT 자료가 있고 이외 2017년~2018년 연구 과제 진행을 위해 국립과학수사연구소로부터 넘겨받은 전신 CT 자료가 100개체 분(남 50개체, 여 50개체)이 축적되어 있다. 머리 CT 자료는 상당한 양이지만 전신 CT 자료의 경우 양이 크지 않아 다양한 주제의 양적 연구가 진행되기에 한계가 있다. 2013년부터 국립과학수사연구원에서 축적하고 있는 부검 시신의 CT 자료가 현재까지는 가장 규모가 크며, 앞으로도 지속적으로 축적될 전망이다. 때문에 향후 이를 활용한 법의인류학적 연구 성과가 가장 기대된다. 해외의 경우도 우리나라의 국립과학수사연구원과 같은 법의학 기관에서 축적되는 자료를 이용해 법의인류학적 연구를 진행하는 경우가 많다. 예를 들어 CT 자료로 전통적인 부검 과정으로는 밝혀내기 어려운 사인을 밝혀내거나 [32] 특정 집단의 생물학적 속성을 추적해 개인 식별 관련 지표를 개발하는 데 법의학 연구 기관의 자료들이 이용되고 있다 [33].

우리나라의 경우 국립과학수사연구원의 자료를 토대로 2015년 무렵부터 CT 자료를 이용한 연구 과제가 꾸준히 진행되고 있다. 구체적으로 살펴보면 2016년 “콘빔 CT 자료를 이용한 자동화 연령 추정 프로그램 개발” 연구가 진행되어 콘빔 CT 영상에서 치아와 치수강 부피비를 3차원 영상으로 재구성하고 연령 추정에 필요한 수치를 자동 계산하는 프로그램을 개발함으로써 연령 추정 정확도를 높이기 위한 시도가 이루어졌다. 2017년과 2018년에는 얼굴 복원을 위해, 얼굴과 머리뼈 CT 영상을 이용해 얼굴 형태소의 형태와 위치를 예측하는 연구가 이루어졌다. 또 2020년에는 골반뼈의 3차원 CT 영상을 토대로 한국인 두덩뼈 두덩결합면의 퇴행 양상을 이용한 연령 추정 기법 개발에 대한 연구가 이루어졌

다. 이외 연구원 내 법의영상 진단 기술 확립과 표준화 과정에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 현재까지 진행된 이러한 연구가 법의인류학적으로 다양한 주제를 담고 있다고 평가되기는 어렵다. 하지만 CT 자료가 지속적으로 축적되고 있기 때문에 향후에는 이를 활용해 한국인 집단에 대한 대규모의 법의인류학적 연구가 가능해지리라 기대할 수 있다.

한국인 CT 자료를 이용한 연구 성과를 국내외 학술지에서 검색하여 검토한 결과, 해외 사례와 비교해서 많은 양의 연구 성과가 확인되지는 않았다. 전 세계에서 CT 자료를 이용한 법의인류학적 연구는 1980년 이후 지속적으로 늘었으며, 특히 2000년대 초반부터 폭발적으로 증가하고 있다 [34]. 법의인류학 분야의 국제 학술지로 선두에 있는 Forensic Science International의 경우 법의인류학 학술지 가운데 가장 많은 수의 CT 관련 연구를 출판하고 있는데 스코퍼스(Scopus) 데이터베이스에 포함된 전체 법의인류학 학술지가 출판한 CT 이용 연구 가운데 2020년까지 12.5%의 CT 이용 연구를 출판하였다 [5]. Forensic Science International과 함께 이 연구에서 검토한 국제 학술지 모두 CT 이용 연구 출판물의 수가 법의인류학 분야 학술지 내에서 상위 5위 안에 든다. CT 연구 성과를 많이 출판한 상위 5위 내 학술지 가운데 이 연구에서 검토하지 않은 유일한 학술지는 Journal of Forensic Radiology and Imaging으로 이 학술지는 2013년부터 발간되다가 2020년부터는 Forensic Imaging으로 명칭이 바뀌어 발간되고 있다. 특히 이 학술지는 법의인류학 분야에서 유일하게 법의학 및 법의인류학에 적용되는 포렌직 이미징 방법에 초점을 맞춘 연구를 출판하고 있어 주목할 만한데 한국인 CT 자료를 이용한 연구는 2017년에 한 차례 출판된 바 있다 [13].

CT 이용 연구가 많이 출판되는 네 개의 국제 학술지에서 검색한 국내 연구는 2010년을 전후로 출판되기 시작하였고 생물학적 속성 복원을 위한 성별 추정 방법에 대한 연구가 많은 비중을 차지하고 있다. 또 대부분의 성별 추정 연구가 뼈대 부위의 계측 변이를 이용한 판별 분석에 집중된 경향을 보였다. 국내 자료를 이용한 연구에서 성별 추정을 주제로 한 연구의 비중이 가장 높은 이유는 성별이 생물학적 속성을 복원하는 데 있어 가장 기본적인 속성 중 하나이며, 성별 추정에 이용되는 지표를 CT 자료상의 프로그램에서 자동으로 판독하고 이후 판별 분석하는 과정이 비교적 손쉽게 진행될 수 있기 때문으로 파악된다. 성별 추정 시 가장 빈번하게 이용되는 머리뼈의 경우 계측과 비계측 항목을 비롯한 변이 지표가 무수하게 많지만 CT 자료를 이용해 만든 3차원 뼈 모델을 이용할 경우 다양한 변수 간의 유의미한 관계를 보다 용이하게 분석할 수 있다 [35].

성별 추정에 대한 연구가 비교적 다양한 뼈대로 이루어진 것과는 대조적으로 국내 자료를 토대로 연령 추정에 대해 연구한 결과물은 매우 적었다. 연령 추정 연구는 앞서 언급한 Journal of Forensic Radiology and Imaging에 실린 2017년 논문과 2021년 PLoS ONE에 게재된 연구 단 두 편에 불과하였다. Journal of Forensic Radiology and Imaging에 실린 연구에서 저자들은 병원 환자를 대상으로 촬영된 콘빔 CT 자료 가운데 송곳니의 계측 변이를 이용하여 연령 추정 모델을 제시하였다. 실제로 이러한 방법은 연령 추정을 비교적 빠르게 진행할 수 있게 한다는 이점을 제공한다. 한편 올해 PLoS ONE에 게재된 연구는 국립과학수사연구원에서 축적한 814개체의 시신 사후 CT 자료를 이용하여 딥 러닝(deep learning) 기법을 기반으로 연령 추정 과정을 자동화한 방법을 제시하였다. 이 연구에서 저자들은 턱다리뼈와 아래턱의 특성을 바탕으로 연령과 뼈 변화 간 높은 일치도 상관계수를 보이는 연령 추정 자동화 방법을 만들어냈다.

이처럼 딥 러닝 기법은 임상의학에서 질병을 진단하는 목적만이 아니라 오늘날에는 연령 추정 방법에도 적용되어 상당히 놀라운 결과를 보여주고 있다. 최근 딥 러닝 기법이 적용된 연령 추정 연구는 숙련된 연구자에 의해 추정된 결과보다 훨씬 더 정확한 결과를 보여주기도 하고 전통적인 연령 추정 지표를 이용한 방법에 비해 더 신뢰할 만한 결과를 나타내기도 한다[36,37]. 하지만 위와 같은 연구가 가능하기 위해서는 대규모 CT 자료가 필수적으로 담보되어야 한다. 즉 대규모의 CT 자료를 기반으로 자료가 인공지능 방법과 연결되어야 특정 지표의 변화를 파악하는 알고리즘이 제시될 수 있고 이를 통해 최종적으로 법의인류학적 맥락에서 사용 가능한 자동화 프로그램이 개발될 수 있다. 또 이러한 연구는 개체의 생물학적 속성을 추정할 때 연구자 내, 연구자 간 주관성을 최소화하는 데에 크게 기여할 수 있어 앞으로의 연구 방향과 결과가 더욱 주목된다.

이외 신장과 체중에 대한 연구가 국제 학술지에 각각 한 차례 실렸지만 후속 연구가 지속적으로 이루어지지는 않았다. 한국인 CT 자료를 이용한 연구 성과에서 주목할 만한 부분은 법의인류학적 얼굴 복원을 주제로 한 연구 성과이다. 다른 주제의 연구와는 다르게 이례적으로 얼굴 복원에 대한 자료 축적과 연구 기법 개발이 지난 십 년 간 동일한 연구자 집단에 의해 지속적으로 이루어지고 있다. 이러한 경향은 국내 학술지와 기타 국제 학술지에 게재된 논문에서도 유사하게 파악된다. 법의인류학적 얼굴 복원 연구는 CT 자료를 이용하게 되면서 반자동화 과정으로 복원 과정과 기법을 연구할 수 있게 하는 이점이 있으며, 현재는 인공지능 방법을 적용한 연구도 일부에서 시도되고 있다.

CT 자료는 뼈대를 비롯한 인체 조직을 비교하고 복원할

수 있게 하며 다양한 속성 혹은 변화를 식별할 수 있도록 한다는 점에서 오늘날 가상 인류학의 핵심 연구 자료가 되었다. 법의인류학적 측면에서는 대규모 자료 축적을 토대로 개인 식별 지표를 개발하고 집단 간 특성을 비교하는 데 적극 활용되고 있다. 또 오늘날 연구는 대규모 CT 자료를 바탕으로 인공지능 방법을 적용해 성별 및 연령을 추정하는 자동화 프로그램을 만들어내거나 기하학적 형태계측학 방법으로 집단의 형태적 특성을 보다 정교하게 분석하기도 한다(예를 들어 [38]). 이외 뼈대의 외형이 아닌 해면뼈 조직을 측정해 연령을 추정하는 방법을 제안할 때에도 CT 자료가 이용되고 있으며, 해외에서는 이러한 연구가 지난 20년간 꾸준히 진행되어 왔다[39,40]. 이러한 연구 경향과 더불어 2000년을 전후하여 CT 자료를 이용한 법의인류학적 연구가 폭발적으로 증가하고 있는 세계 학계의 추세를 고려하면 국내의 연구 성과는 양적이나 주제 면에서 아직 만족할 만한 수준은 아니다. 특히 대형 재난 사고가 발생했을 때 희생자 식별을 위한 CT 사용의 표준화 방법이나 개인 식별 시 신뢰할 만한 형태적 특성에 대한 국내의 연구는 거의 전무하다시피 하였다.

현재 CT를 비롯한 법의인류학적 이미지 분석 기술이 의료는 물론 법의학 분야에서도 일상적으로 사용되고 있어서 향후 이러한 자료를 법의인류학자가 이용할 수 있는 기회는 지금보다 더 늘어날 것으로 전망된다. 또 CT 자료를 토대로 하는 디지털 자료의 축적은 오늘날 새로운 연구 환경을 만들어내고 있다. 즉 CT 장비의 제조사, 이미지 처리를 위한 소프트웨어, 단면의 두께, 복원 필터 및 알고리즘과 같은 측정 환경과 분석 변수가 명확히 제시되면 인구집단 간 다양한 비교와 메타 분석이 폭넓게 가능해진다. 이와 관련해 자료를 처리하는 소프트웨어나 알고리즘, 측정 시 변수가 자료의 해상도나 3차원으로 구현된 뼈 모델의 표면에 영향을 미친다는 평가가 최근 10년간 있어왔다[41,42]. 따라서 향후 한국인 CT 자료를 이용해 연구를 진행할 때에도 표준화된 방법의 구현과 뼈 모델의 신뢰도 문제를 충분히 고려해야 한다. 이렇게 이루어진 자료들은 한국인에 적합한 법의인류학적 기준을 정립하고 다양한 인구 집단 간 변이를 연구하는 데 폭넓게 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Krantz P, Holtas S. Postmortem computed tomography in a diving fatality. *J Comput Assist Tomogr.* 1983;7:132-4.
2. Uldin T. Virtual anthropology - a brief review of the literature and history of computed tomography. *Forensic Sci Res.* 2017;2:165-73.
3. Donchin Y, Rivkind AI, Bar-Ziv J, Hiss J, Almog J, Drescher

- M. Utility of postmortem computed tomography in trauma victims. *J Trauma*. 1994;37:552-6.
4. Phillips VM, Smuts NA. Facial reconstruction: utilization of computerized tomography to measure facial tissue thickness in a mixed racial population. *Forensic Sci Int*. 1996;83:51-9.
 5. Jeong Y, Woo EJ, Lee S. Bibliometric Analysis on the Trend of the Computed Tomography (CT)-Related Studies in the Field of Forensic Science. *Appl Sci*. 2020;10:8133.
 6. Yu SB, Lee UY, Kwak DS, Ahn YW, Jin CZ, Zhao J, et al. Determination of sex for the 12th thoracic vertebra by morphology of three-dimensional reconstructed vertebral models. *J Forensic Sci*. 2008;53:620-5.
 7. Lee UY, Han SH, Park DK, Kim YS, Kim DI, Chung IH, et al. Sex determination from the talus of Koreans by discriminant function analysis. *J Forensic Sci*. 2012;57:166-71.
 8. Kim DI, Kim YS, Lee UY, Han SH. Sex determination from calcaneus in Korean using discriminant analysis. *Forensic Sci Int*. 2013;228:177 e1-7.
 9. Kim DI, Kwak DS, Han SH. Sex determination using discriminant analysis of the medial and lateral condyles of the femur in Koreans. *Forensic Sci Int*. 2013;233:121-5.
 10. Lin C, Jiao B, Liu S, Guan F, Chung NE, Han SH, et al. Sex determination from the mandibular ramus flexure of Koreans by discrimination function analysis using three-dimensional mandible models. *Forensic Sci Int*. 2014;236:191 e1-6.
 11. Lee UY, Kim IB, Kwak DS. Sex determination using discriminant analysis of upper and lower extremity bones: New approach using the volume and surface area of digital model. *Forensic Sci Int*. 2015;253:135 e1-4.
 12. Kim DH, Lee SH, Lee SS, Kim YS, Park DK, Han SH, et al. Comprehensive evaluation of the greater sciatic notch for sexual estimation through three-dimensional metric analysis using computed tomography based models. *Leg Med (Tokyo)*. 2018;35:1-8.
 13. Lee S, Gong HH, Hyun JY, Koo HN, Lee HY, Chung NE, et al. Estimation of stature from femur length measured using computed tomography after the analysis of three-dimensional characteristics of femur bone in Korean cadavers. *Int J Legal Med*. 2017;131:1355-62.
 14. Jung GU, Lee UY, Kim DH, Kwak DS, Ahn YW, Han SH, et al. Selecting best-fit models for estimating the body mass from 3D data of the human calcaneus. *Forensic Sci Int*. 2016;262:37-45.
 15. Lee WJ, Wilkinson CM, Hwang HS. An accuracy assessment of forensic computerized facial reconstruction employing cone-beam computed tomography from live subjects. *J Forensic Sci*. 2012;57:318-27.
 16. Hwang HS, Park MK, Lee WJ, Cho JH, Kim BK, Wilkinson CM. Facial soft tissue thickness database for craniofacial reconstruction in Korean adults. *J Forensic Sci*. 2012;57:1442-7.
 17. Hwang HS, Kim K, Moon DN, Kim JH, Wilkinson C. Reproducibility of facial soft tissue thicknesses for craniofacial reconstruction using cone-beam CT images. *J Forensic Sci*. 2012;57:443-8.
 18. Lee KM, Lee WJ, Cho JH, Hwang HS. Three-dimensional prediction of the nose for facial reconstruction using cone-beam computed tomography. *Forensic Sci Int*. 2014;236:194 e1-5.
 19. Lee WJ, Wilkinson CM, Hwang HS, Lee SM. Correlation between average tissue depth data and quantitative accuracy of forensic craniofacial reconstructions measured by geometric surface comparison method. *J Forensic Sci*. 2015;60:572-80.
 20. Lee UY, Kim H, Song JK, Kim DH, Ahn KJ, Kim YS. Assessment of nasal profiles for forensic facial approximation in a modern Korean population of known age and sex. *Leg Med (Tokyo)*. 2020;42:101646.
 21. Kim DI, Lee UY, Park SO, Kwak DS, Han SH. Identification Using Frontal Sinus by Three-Dimensional Reconstruction from Computed Tomography. *J Forensic Sci*. 2013;58:5-12.
 22. Kim DI, Lee UY, Han SH. Sex Determination Using Three-dimensional Image of Skull in Korean: Metric Study by Discriminant Function Analysis. *Korean J Phys Anthropol*. 2015;28:103-18.
 23. Hong CK, Chung JK, Lee UY, Kim DS, Park DK, Park KH. Validation Study of Discriminating Sex using the Atlas from the Digital Korean 3D Human Body Modeling. *Korean J Phys Anthropol*. 2014;27:225-34.
 24. Hwang E, Lin CH, Jiao BZ, Chung NE, Han SH, Kim J, et al. Discriminant function analysis for sex determination using landmark coordinate data from three-dimensional mandible models. *Aust J Forensic Sci*. 2015;47:332-44.
 25. Kim DH, Lee SS, Han SH, Lee UY. A new landmark for measuring the Ischium-Pubis index for sex determination by using three-dimensional models of South Korean population. *Aust J Forensic Sci*. 2018;50:472-81.
 26. Lee S-M, Oh S, Kim J, Kim Y-M, Choi Y-K, Kwak HH, et al. Age estimation using the maxillary canine pulp/tooth ratio in Korean adults: A CBCT buccolingual and horizontal section image analysis. *J Forensic Radiol Imaging*. 2017;9:1-5.
 27. Pham CV, Lee SJ, Kim SY, Lee S, Kim SH, Kim HS. Age estimation based on 3D post-mortem computed tomography images of mandible and femur using convolutional neural networks. *PLoS One*. 2021;16:e0251388.
 28. Jeong HG, Kim KD, Han SH, Hu KS, Lee JB, Park H, et al. Clinical usefulness of facial soft tissues thickness measurement using 3D computed tomographic images. *Korean J Oral Maxillofac Radiol*. 2006;36:89-94.
 29. Jeong HG, Kim KD, Han SH, Shin DW, Hu KS, Lee JB, et al. Measurement of facial soft tissues thickness using 3D

- computed tomographic images. Korean J Oral Maxillofac Radiol. 2006;36:49-54.
30. Choi CU, Lee WJ, Park JH. A Study on the Korean Orbital and Cranial Index Using 3D Skull CT Image and Morphometric Analysis. Anat Biol Anthropol. 2020;33:1-9.
 31. Lee SH, Lee SB, Chung MS. A study on the usage of Korean human information. Review of Korea Contents Association 2009;7:44-52.
 32. Leth PM. The use of CT scanning in forensic autopsy. Forensic Sci Med Pathol. 2007;3:65-9.
 33. Hartnett KM. Analysis of Age-at-Death Estimation Using Data from a New, Modern Autopsy Sample - Part I: Pubic Bone. J Forensic Sci. 2010;55:1145-51.
 34. Baglivo M, Winklhofer S, Hatch GM, Ampanozi G, Thali MJ, Ruder TD. The rise of forensic and post-mortem radiology - Analysis of the literature between the year 2000 and 2011. J Forensic Radiol Imaging. 2013;1:3-9.
 35. Spradley MK. Metric Methods for the Biological Profile in Forensic Anthropology: Sex, Ancestry, and Stature. Acad Forensic Pathol. 2016;6:391-9.
 36. Stern D, Urschler M. From individual hand bone age estimates to fully automated age estimation via learning-based information fusion. 2016 IEEE 13th ISBI. 2016;150-4.
 37. Stern D, Payer C, Giuliani N, Urschler M. Automatic Age Estimation and Majority Age Classification From Multi-Factorial MRI Data. IEEE J-BHI. 2019;23:1392-403.
 38. Stephan CN, Amidan B, Trease H, Guyomarc'h P, Pulsipher T, Byrd JE. Morphometric Comparison of Clavicle Outlines from 3D Bone Scans and 2D Chest Radiographs: A Short-listing Tool to Assist Radiographic Identification of Human Skeletons. J Forensic Sci. 2014;59:306-13.
 39. Pasquier E, Pernot LDM, Burdin V, Mounayer C, Le Rest C, Colin D, et al. Determination of age at death: Assessment of an algorithm of age prediction using numerical three-dimensional CT data from pubic bones. Am J Phys Anthropol. 1999;108:261-8.
 40. Barrier P, Dedout F, Braga J, Joffre F, Rouge D, Rousseau H, et al. Age at Death Estimation Using Multislice Computed Tomography Reconstructions of the Posterior Pelvis. J Forensic Sci. 2009;54:773-8.
 41. Guyomarc'h P, Santos F, Dutailly B, Desbarats P, Bou C, Coqueugniot H. Three-dimensional computer-assisted craniometrics: A comparison of the uncertainty in measurement induced by surface reconstruction performed by two computer programs. Forensic Sci Int. 2012;219:221-7.
 42. Villa C, Buckberry J, Cattaneo C, Lynnerup N. Technical Note: Reliability of Suchey-Brooks and Buckberry-Chamberlain Methods on 3D Visualizations From CT and Laser Scans. Am J Phys Anthropol. 2013;151:158-63.

간추림 : 컴퓨터단층촬영술(CT)로 축적된 자료는 법의인류학적 방법론 개발에 이용가능한 집단 차원의 생물학적 특성을 바탕으로 개인식별 지표를 개발할 수 있게 하며, 집단 간 비교 연구를 보다 폭넓게 이루어질 수 있게 한다. 이러한 자료는 오늘날 가상인류학의 핵심 연구 자료가 되었다. 이러한 맥락에서 이 연구에서는 한국인 CT 자료를 이용해 구축된 자료와 지금까지의 연구 성과를 검토함으로써 한국인의 컴퓨터단층촬영술을 이용한 법의인류학적 연구의 경향을 파악하고자 했다. 국내의 주요 법의인류학 데이터베이스와 학술지를 검토한 바에 의하면 한국인의 CT 자료에 대한 데이터 베이스가 체계적으로 축적된 예는 몇몇 사례에 그쳤다. 이와 관련해 2013년부터 국립과학수사연구원에서 축적하고 있는 부검 시신의 CT 자료가 현재까지는 가장 규모가 컸다. 한국인 CT 자료를 이용한 연구 성과물은 2010년을 전후로 출판되기 시작하였고 생물학적 속성 복원을 위한 성별 추정 방법에 대한 연구가 많은 비중을 차지하고 있었다. CT를 비롯한 법의인류학적 이미지 분석기술은 측정 환경과 분석 변수만 명확히 제시되면 인구집단 간 다양한 비교와 메타 분석을 보다 폭넓게 가능하도록 한다. 따라서 향후 한국인 CT 자료를 이용해 연구를 진행할 때에도 표준화된 방법의 구현과 뼈 모델의 신뢰도 문제를 충분히 고려해야 한다. 이렇게 이루어진 자료들은 한국인에 적합한 법의인류학적 기준을 정립하고 다양한 인구집단 간 변이를 연구하는 데 폭넓게 활용될 수 있을 것이다.

찾아보기 낱말 : 컴퓨터단층촬영술, 가상인류학, 생물학적 프로파일, 법의인류학, 한국인