

## 탄소동위원소 분석을 통한 백골화 골격의 연대추정 사례보고

박종필<sup>1</sup> · 최승규<sup>1</sup> · 이상섭<sup>2</sup>  
이원준<sup>1</sup> · 서정욱<sup>2</sup> · 최창운<sup>1</sup>  
김이석<sup>3</sup> · 이우영<sup>3</sup> · 최민성<sup>1</sup>  
양경무<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립과학수사연구원 서울과학수사  
연구소 법의조사과

<sup>2</sup>국립과학수사연구원 중앙법의학센터

<sup>3</sup>가톨릭대학교 의과대학 해부학교실  
가톨릭응용해부연구소

Received: August 6, 2018  
Revised: August 16, 2018  
Accepted: August 20, 2018

### Correspondence to

Jong-Pil Park  
Division of Forensic Investigation,  
National Forensic Service Seoul  
Institute, 139 Jiyang-ro, Yangcheon-  
gu, Seoul 08036 Korea  
Tel: +82-2-2600-4613  
Fax: +82-2-2600-4629  
E-mail: parkandjp@gmail.com

### Radiocarbon Dating of Skeletal Remains: Case Report

Jong-Pil Park<sup>1</sup>, Seung-Gyu Choi<sup>1</sup>, Sang-Seob Lee<sup>2</sup>, Won-Joon Lee<sup>1</sup>, Jeong Uk Seo<sup>2</sup>,  
Chang Un Choi<sup>1</sup>, Yi-Suk Kim<sup>3</sup>, U-Young Lee<sup>3</sup>, Minsung Choi<sup>1</sup>, Kyung-Moo Yang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Forensic Investigation, National Forensic Service Seoul Institute, Seoul, Korea,

<sup>2</sup>Medical Examiner's Office, National Forensic Service, Wonju, Korea, <sup>3</sup>Department of Anatomy,  
Catholic Institute for Applied Anatomy, College of Medicine, The Catholic University of Korea,  
Seoul, Korea

While radioactive isotope analysis has proved to be a useful method in disciplines such as archaeology and forensic anthropology, more recently, radiocarbon dating has allowed for a more nuanced biological profile of human skeletal remains. Radiocarbon dating has been made possible by the above ground nuclear bomb test conducted in 1963, which raised the level of atmospheric radiocarbon concentration to almost twice the natural level. Because the annually measured tropospheric <sup>14</sup>C concentrations are integrated into the bomb peak curve, the time of birth and death of an individual can be estimated by comparing the radiocarbon content of a skeletal sample to the bomb-curve value. In July 2017, about 1,000 skeletal remains were excavated at the construction site of Sokcho. For medico-legal purposes, we conducted anthropological and odontological examinations of all the human remains. We then conducted the radiocarbon analysis on seven femora (head and body portions), five mandibular teeth, and soil from the site through a request to the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources. The results demonstrated that the estimated year of birth or death was prior to the 1950s. Due to the diverse distribution of results, we deduced that the human remains were from the local mass grave. This study supports and suggests the use of radiocarbon dating more frequently in the analysis of human skeletal remains.

**Key Words:** Radiocarbon; Dating; Skeletal remains; Forensic anthropology

## 서론

백골화 골격에 대한 법의학적 감정은 법의 실무에서 드물지 않게 접하게 되며, 간혹 사회적인 관심을 끌기도 한다. 백골화 골격에 대한 감정은 크게 사인규명과 신원확인(개인식별)으로 구분할 수 있으며, 이중 사인규명의 경우 부패 및 백골화로 인한 제약으로 골절 여부 등 손상에 대한 판정과 약독물 분석 정도에 국한된다. 현재 실무에 적용되고 있는 신원확인을 위한 감정으로는 법의인류학적 감정, 법치의학적 감정 및 유전자형 분석 등이 있으며, 법의인류학적 감정을 통해 성별, 키 등에 대한 정보를 얻고, 법치의학적 감정을 통해 연령에 대한 정보를 얻으며, 유전자 검사를 통해 성별에 대한 정보를 얻고, 대조 대상자가 있는 경우 동일인 여부에 대한 판정을 시행하고 있다.

여기에 더하여 백골화 골격에 대한 연대추정을 하고자 하는 연구가 진행 중이다. 연대추정이란 변사자의 출생연도 및 사망연도에 대한 정보를 추정하는 것으로써, 예를 들어 기존의 신원확인을 위한 감정을 통해 30대 초반 남성이라는 결과

를 얻었다고 한다면 이 경우 1950년대에 태어나 1980년대에 사망한 사람과 1980년대에 태어나 2010년대에 사망한 사람은 현재 수사기관에서 접근해야 할 대상이 달라지므로 연대추정을 통해 이를 확인하는 것은 수사실무상으로는 차이가 있어 유용한 정보가 될 것이다.

기존에 연대추정을 위한 방법으로 여러 가지가 제시되었지만 실무에 적용될 수 있는 방법은 아직 개발되지 못했다. 그런데 최근 들어 탄소동위원소 분석을 이용한 연대추정법이 제안되어 여러 연구가 진행 중이며, 일부 사항이 보완된다면 실무에 적용 가능한 수준에 이르고 있다.

본 연구에서는 다량의 유골이 발견되어 수사기관으로부터 감정 의뢰된 사례를 보고하며, 탄소동위원소 분석을 이용한 연대추정을 시도해본 결과에 대해 소개하고자 한다.

## 증례

2017년 6월 강원도 속초시 소재 해안가 공사현장에서 약 1,000여점의 골격이 발견되었다. 수사기관에서는 국방부 유



Fig. 1. (A-D) Skeletal remains packed in boxes and paper bags were requested for the identification.



해발굴단에 일차 의뢰 후 6.25 전사자의 유해가 아닌 것으로 보인다는 감정결과를 전해 듣고 해당 골격을 국립과학수사연구원에 의뢰하였다. 수사기관에서 지역의 주민들에게 탐문한 바 해당 지역은 1950년대에 마을의 공동묘지가 위치했던 곳이라는 진술이 있었고, 다른 한편으로는 1968년 해일로 인하여 지역에서 다수의 사망자가 발생한 적이 있으며 사망자들을 임시매장한 곳일 가능성이 있다는 진술도 있었다고 하였다.

의뢰된 골격은 백골화된 상태였으며, 일부 동물뼈도 있었으나 대부분 사람뼈로 확인되었다(Fig. 1). 일차로 법의인류학적 감정을 통해 개체구분이 가능한 285개의 뼈를 구분 및 분류하였고(Fig. 2), 이 중 주요골격은 Table 1과 같다. 뼈에 대한 분류 작업 시 해부학적 구조에 기반하여 코딩을 하였고, 이에는 국립과학수사연구원에서 자체 개발하여 사용 중인 NFS code를 활용하였다. 나머지 골격들은 작은 크기의 골편들로 감정에 제약이 있어 포함시키지 않았다. 구분 결과 오른넙다리뼈가 29개로 가장 많아 최소 개체수는 29개체로 판정

하였고, 이후 머리뼈, 아래턱뼈, 위팔뼈, 넙다리뼈, 볼기뼈 및 엉치뼈에 대한 정밀 분석을 시행하였고, 치아에 대한 법치의학적 감정을 시행하였다. 골격들의 해부학적 구성이 뼈에 따라 개수 편차가 심하였고, 뼈 표면의 변색 및 부식 정도가 서로 상이한 뼈들이 다수 관찰되었다.

이와 같이 법의인류학적 감정 및 법치의학적 감정을 시행한 이후 연대추정을 위한 탄소동위원소 분석을 시행하였다. 분석의 대상이 된 검체는 오른넙다리뼈 중 머리부위와 몸통부위가 모두 채취 가능한 7개, 아래턱뼈 중 첫째큰어금니가 채취 가능한 5개, 그리고 뼈가 묻혀 있던 토양(모래성분)이었으며, 검체 채취 후 한국지질자원연구원에 분석을 의뢰하였고, 그 결과는 Table 2와 같았다.

분석 결과 Table 2에서 제시한 바와 같이 모든 검체에서 연대는 1950년 이전으로 추정되었으며, 이를 통해 이들 골격은 1950년대에 해당 지역에 존재하였던 공동묘지에서 발굴된 골격일 가능성이 높은 것으로 판정하였다.



Fig. 2. (A-D) Skeletal remains were classified as anatomical structure and analyzed by anthropological and odontological examination.

**Table 1.** Result of bone classification

Bone	NFS code	No.
Cranium	00CRA	20
Mandible	00MAN	10
Lt Humerus	11HUM	16
Rt Humerus	12HUM	16
Lt Femur	21FEM	27
Rt Femur	22FEM	29
Lt Hip bone	01HIP	13
Rt Hip bone	02HIP	10
Sacrum	00SAC	6
Lt Scapula	01SCA	9
Rt Scapula	02SCA	7
Lt Clavicle	01CLA	6
Rt Clavicle	02CLA	5
Lt Radius	11RAD	11
Rt Radius	12RAD	8
Lt Ulna	11ULN	12
Rt Ulna	12ULN	8
Lt Tibia	21TIB	21
Rt Tibia	22TIB	28

**고 찰**

방사성 동위원소 분석을 이용한 연대추정법은 고고학 분야의 연구나 예술품에 대한 진품 여부 판정 등에 오래 전부터 이용되어 왔다. 그러나 법의학 분야에서는 방사성 동위원소의 긴 반감기로 인해 연대추정 결과의 오차범위가 커서 실무에 적용하기에 어려움이 있었다. 그런데 modern carbon이라고 불리는 탄소동위원소  $^{14}\text{C}$ 의 경우 1950년경부터 전 세계적으로 핵실험이 시행되면서 대기중 농도가 1950년 이전에 비해 급격하게 증가하게 되었고, 1963년 이후 여러 국제협약을 통해 핵실험이 감소하면서 다시 대기중 농도가 급격하게 감소하는 경향이 나타났으며, 이를 활용한 연대추정법이 개발되어 주목을 받고 있다[1]. 1950년 이후 대기 중  $^{14}\text{C}$  농도 곡선을 bomb peak curve 라고 하며, 이를 이용하여 1950년 이후의 시료인 경우 연 단위까지 정밀하게 분석이 가능하게 되었다[2,3].

한편 이를 백골화 골격의 연대추정에 활용하기 위한 노력은 1980년대 후반에 시작되어[4] 2000년대 초반 Ubelaker 등[5-7]을 통해 본격화되었고, 현재까지 법의학 분야에서도 탄소동위원소 분석을 이용한 백골화 골격의 연대추정을 실무에 적용하기 위한 여러 연구가 진행되어 왔다[8].

**Table 2.** Result of radiocarbon dating

No.	Sample	BP year	Estimation year (AD)
1	22FEM-01 Shaft	220±20	1640–1680, 1760–1800, 1930~
	22FEM-01 Head	220±30	1640–1690, 1730–1810, 1930~
2	22FEM-02 Shaft	270±30	1510–1600, 1610–1670, 1780–1800
	22FEM-02 Head	250±30	1520–1590, 1620–1680, 1760–1810, 1930~
3	22FEM-03 Shaft	180±20	1660–1690, 1730–1810, 1920~
	22FEM-03 Head	190±20	1660–1690, 1730–1810, 1930~
4	22FEM-04 Shaft	190±30	1640–1700, 1720–1820, 1910~
	22FEM-04 Head	230±30	1520–1540, 1630–1690, 1730–1810, 1930~
5	22FEM-06 Shaft	380±20	1440–1530, 1570–1630
	22FEM-06 Head	330±20	1480–1640
6	22FEM-07 Shaft	250±30	1520–1590, 1620–1680, 1760–1810, 1930~
	22FEM-07 Head	220±30	1640–1690, 1730–1810, 1930~
7	22FEM-10 Shaft	310±30	1480–1650
	22FEM-10 Head	280±30	1490–1670, 1780–1800
8	00MAN-001 #46	340±20	1470–1640
9	00MAN-003 #46	220±20	1640–1680, 1760–1800, 1930~
10	00MAN-004 #46	240±20	1640–1670, 1780–1800, 1940–1950
11	00MAN-007 #36	290±30	1490–1670
12	00MAN-010 #36	190±20	1660–1690, 1730–1810, 1930~
13	Soil	500±30	1330–1340, 1390–1450

BP, before present (1950).

백골화된 시신의 경우 치아와 뼈에 대한 분석을 통해 연대 추정을 하게 되는데, 치아를 통해 출생연도를 추정하고, 뼈를 통해 사망연도를 추정할 수 있다. 먼저 치아의 경우 영구치 중 아래턱의 첫째큰어금니가 6세경에 나서 사망할 사망할 때까지 존재하게 되며, 이에 대한 탄소동위원소 분석을 통해 얻은 결괏값으로부터 수년 정도 이른 시기에 출생하였다고 추정할 수 있다. 뼈 중에서는 주로 넙다리뼈가 이용되는데 이는 머리 부분이 해면뼈이고 몸통 부분이 치밀뼈이므로 두 결괏값의 비교를 통해 사망연도를 추정할 수 있기 때문이다. 해면뼈는 치밀뼈에 비해 뼈조직의 순환률(turnover rate)이 빠르기 때문에 넙다리뼈의 두 부분에서 시료를 채취하여 분석한 결괏값 중 머리 부분의 결괏값이 사망연도에 가까운 측정값임을 알 수 있고, 이 결괏값보다 수년 정도 지난 시점에 사망하였다고 추정할 수 있다. 하지만 연령이나 성별에 따라 뼈의 순환률에 차이가 있으며 이들을 비롯한 다양한 변수를 반영하는 추정식을 개발하는 단계의 연구가 현재 진행 중이다.

탄소동위원소 분석을 통한 연대추정 시 또 하나의 문제점은 1950년 이전의 골격은 bomb peak curve를 이용할 수 없어 정확한 연대추정이 불가능하다는 점인데, 다행인 것은 수사 실무에서 백골화 골격이 1950년 이전의 사람으로 추정된다면 수사상 실질적인 의미가 크지 않아 정밀한 분석을 요하지 않는 경우가 많으며, 오히려 1950년 이전이라고 정확히 판정해주는 것만으로도 도움이 될 수 있다.

본 연구에서 탄소동위원소 분석은 한국지질자원연구원에 의뢰해서 시행되었으며, 의뢰된 시료에 대한 물리적 전처리 및 화학적 전처리 과정을 통해 인체에만 존재하는 콜라겐을 추출하고, 이로부터 탄소원소만을 모아 흑연을 만든 후 가속 질량분석기(accelerator mass spectrometry)라는 특수한 장비로 분석을 하게 된다[9]. 현재 국내에서 이 분석이 가능한 곳은 제한적이며, 분석 기간이 길고, 비용이 많이 드는 한계가 있는 상황으로, 수사 실무에 도움이 되는 감정을 하기 위해서는 개선이 필요한 상황이다.

본 증례의 경우 다수의 인체 유골이 발견되었고, 1950년대 공동묘지일 가능성과 1968년 해일의 집단 사망자일 가능성 중 어느 것인지를 판정해야 하는 경우였다. 1950년대 존재하는 공동묘지라면 사망 시점이 다양하고, 대부분 1950년 이전의 측정값이 나올 것으로 예상되는 반면, '1968년 해일로 인한 집단 사망'이라면 1950년 이후의 측정값이 나오고 유사한 시점의 사망 연도 측정값이 나올 것으로 기대되는 상황이었다. 이 두가지 경우의 구분은 다행히도 현재까지의 연구결과를 통해서도 가능한 상황이었으며, 분석 결과는 앞서 소개한 바와 같이 1950년 이전의 시기로 시료마다 각기 다른 시기에 출생 또는 사망한 것으로 추정되는 결과를 확인할 수 있었

고, 이를 통해 1950년대 공동묘지에서 발굴된 유골일 가능성이 높은 것으로 추정하였다. 다만 1950년대에 사망한 경우라도 탄소동위원소 분석 결과 측정값이 1950년 이전으로 나올 수 있으며, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 상황이라는 점은 주의해야 한다.

결론적으로 탄소동위원소 분석을 통한 백골화 골격의 연대 추정은 아직 실무에 적용하기에는 보완이 필요하지만 상황별로 적용이 가능한 경우가 있다는 점을 본 연구를 통해 확인하였으며, 추가적인 연구를 통해 그 활용도가 높아질 수 있을 것으로 기대된다.

### Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

### Acknowledgments

This work was supported by National Forensic Service (2017-Forensic Medicine-03), Ministry of the Interior and safety Republic of Korea.

### References

1. Stuiver M, Polach HA. Discussion: reporting of  $^{14}\text{C}$  data. Radiocarbon 1977;19:355-63.
2. Reimer PJ, Brown TA, Reimer RW. Discussion: reporting and calibration of post-bomb  $^{14}\text{C}$  data. Radiocarbon 2004;46:1299-304.
3. Hua Q, Barbetti M, Rakowski AZ. Atmospheric radiocarbon for the period 1950-2010. Radiocarbon 2013;55:2059-72.
4. Taylor RE, Suchey JM, Payen LA, et al. The use of radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ) to identify human skeletal materials of forensic science interest. J Forensic Sci 1989;34:1196-205.
5. Ubelaker DH, Buchholz BA, Stewart JE. Analysis of artificial radiocarbon in different skeletal and dental tissue types to evaluate date of death. J Forensic Sci 2006;51:484-8.
6. Ubelaker DH, Parra RC. Radiocarbon analysis of dental enamel and bone to evaluate date of birth and death: perspective from the southern hemisphere. Forensic Sci Int 2011;208:103-7.
7. Ubelaker DH. Radiocarbon analysis of human remains: a review of forensic applications. J Forensic Sci 2014;59:1466-72.
8. Cook GT, MacKenzie AB. Radioactive isotope analyses of skeletal materials in forensic science: a review of uses and potential uses. Int J Legal Med 2014;128:685-98.
9. Hong W, Park JH, Kim KJ, et al. Establishment of chemical preparation methods and development of an automated reduction system for AMS sample preparation at KIGAM. Radiocarbon 2010;52:1277-87.