

조선시대 사람 볼기뼈에 대한 DSP2 프로그램을 활용한 성별추정 평가

오공천¹, 황다미자¹, 최귀옥¹, 김명주², 이민선^{1,3}

¹신한대학교 통합대체의학학과 대학원, ¹단국대학교 해부학교실 의과대학, ³신한대학교 리나시타대학

Evaluation through the Use of DSP2 Program for Sex Estimation by Measuring Human Hip Bones in a Joseon Dynasty Bone Collection

Kong Chen Oh¹, Tamija Hwang¹, Gui Ok Choi¹, Myeung Ju Kim², Min Sun Lee^{1,3}

¹Department of Integrative Alternative Medicine, Graduate School of Shinhan University

²Departments of Anatomy, Dankook University College of Medicine

³Rinascita College of Liberal Art and Science, Shinhan University

Abstract : Human bones provide plentiful information about height, sex, age, race and enable individual identification. Most of all, sex estimation is a basic and essential task and non-metric sex estimation is usually determined by professional experts. In case of Inexperienced young researchers, some mistakes may happen in determination of sex estimation. Therefore, there is a need for development of a method to determine sex estimation objectively and consistently even for students. The Diagnosis Sexuelle probabiliste (DSP2) program, which were developed based on more than 2,000 samples known sex from 12 population, is simple and objective method as it determines a sex estimation just by measuring 10 parameters for hip bone. However, there has been no evaluation whether sex can be determined in Koreans by using DSP2) program yet. The purpose of this study is to evaluate whether the DSP2 program can determine accurately the sex estimation comparing with the non-metric sex estimation results in the hip bone of the Joseon Dynasty. First, three researchers determined gross, non-metric sex estimation of 15 people (n = 29) randomly selected from Joseon Dynasty human bone collection as a blind test method. Sex estimation for 15 people were determined as 9 male and 6 female. Based on this result, the sex estimation result by DSP2 program was compared and evaluated the accuracy of sex estimation. When comparing the non-metric sex estimation results, the determination of sex estimation ratio of DSP2 for 10 parameter was 86.2%, for essential 8 parameter was 89.66%, for best 4 parameter was 85%, and for worst 4 parameter was 31.3% (n = 9), which was lowest ratio among all 4 set of parameters. Comparing the sex estimation accuracy for 10 parameter with the set of essential 8, best 4, and worst 4 parameter in each, the sex estimation accuracy was calculated as 86.2%, 80%, 31.03%, respectively. DSP2 program for 10 parameter is revealed as

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.
저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

Received: February 25, 2022; **Revised:** March 7, 2022;

Accepted: March 10, 2022

Correspondence to: 이민선 (신한대학교 리나시타대학)

E-mail: kinesio@shinhan.ac.kr

a useful program that can be used with high accuracy for sex estimation of hip bone in the Joseon Dynasty. and is also convenient for general user to estimate the sex. This will provide the meaningful basic data for sex estimation of hip bone in the Korean population. However, since the number of hip bones used is not sufficient for generalization, a more accurate evaluation of the DSP2 program will be possible if additional studies are performed with more large scale of samples in the future.

Keywords : Joseon Dynasty, Sex estimation, Hip bone, DSP2, Non-metric, Metric

서 론

자연재해 혹은 인공재해가 일으킨 참사에서 신원을 식별하기 어렵게 훼손된 시신도 신원확인에는 인도주의적 필요와 법적 대응을 위해 필수적이다[1]. 부패한 시신이나 백골화된 시신의 경우 신원확인을 위해 남게 되는 것은 뼈밖에 없으며, 뼈는 사망 시 연령, 성별, 키 등에 관한 정보를 제공해 신원확인이 가능하다. 특히 현장의 뼈는 유기체가 어떻게 부패하고 화석화되거나 보존되는지에 대한 정보도 함께 제공하므로 중요한 정보의 원천이 된다[2].

성별추정은 사람뼈를 검사하는 동안 신뢰할 수 있는 생물학적 프로파일 분석에 필수적인 기본 단계이다. 마른뼈만 남게 되면 생물학적 성별추정은 비교적 정확히 이뤄져 쉬워 보일 수 있다. 하지만, 오랜 기간 땅속에 묻혀 중요 계측지표를 구성하는 뼈부분들이 파손되면 성별추정에 큰 어려움을 가져올 수 있다. 특히, 불기뼈는 뼈가 손상되거나 소실된 채 발견되는 경우가 많다. 뼈의 주요 지표를 포함하는 부분이 파손된 경우 성별추정은 불가능할 수 있다[3]. 사람뼈로 시행한 이전 연구에서 뼈가 온전히 갖춰진 경우는 그 정확도가 100%, 양쪽 불기뼈가 모두 있으면 98%, 불기뼈가 한쪽만 있으면 95%, 머리뼈로만 하면 92%였다[4]. 이처럼 온전한 뼈일수록 그 정확도가 높아지므로 계측을 통해 성별추정을 하려면 보존상태가 중요한 것이다.

많은 연구자들은 성별에 따라 크기와 모양이 다른 성적이형성(dimorphism)을 전제로 성별추정을 하는데, 여자 불기뼈는 출산에 기인한 현저한 성적이형성 때문에 성별추정에 가장 신뢰할 수 있는 뼈로 알려져 있다[5-7]. 현재 불기뼈의 성적이형성 패턴은 약 10~15만 년 전의 초기 현대인에서 발생했을 가능성이 크다[8,9]. 불기뼈 외의 다른 뼈들은 인구집단에 따른 성적이형성에 차이를 보이지만, 불기뼈는 인구집단에 따른 차이가 비특이적인 것으로 알려져 있다[10,11]. 특히, 사람의 마른뼈를 이용한 성별추

정 연구에서 머리뼈는 약 90%, 불기뼈는 약 98%의 정확도를 보였다[12]. 그런데, 연구하는 인구집단은 그 성적이형성 수준이 평균과 다를 수 있으므로, 불기뼈로 성별추정을 하더라도 정확도는 연구하는 인구집단 특성에 따라 다를 수 있다. 즉, 뼈로 사람의 성별을 추정하는 경우 그 정확도는 뼈에 따라 다르며, 비교하는 집단의 특징 및 차이로 인해 다를 수 있다.

DSP2 (Diagnosis Sexuelle probabiliste, DSP2) 프로그램은 불기뼈를 기반으로 지리적 위치나 인구집단에 관계없이 성별추정을 진단할 수 있는 최초의 소프트웨어이다. 서로 다른 대륙의 12개 인구 표본에서 2,000명 이상의 알려진 성별에 대한 데이터베이스를 기반으로 개발된 확률적 성별추정 프로그램으로 전문 뼈계측 도구로 계측한 불기뼈 계측지표 값 10개를 Excel 프로그램에 입력하는 방식으로 성별추정을 한다[11]. 이 방법을 활용하면 전문가가 아니라도 뼈의 계측지표를 계측하는 방법을 익혀 그 계측값을 프로그램에 입력하면 성별추정을 할 수 있다. DSP2는 일반 운영 체제용으로 지금까지 3개 버전으로 제공되었고, 완전 및 단편 불기뼈 모두에 대해 신뢰할 수 있는 성별추정도를 제공하여 2% 미만의 오류 값을 보고했으며, 또한 각 계측지표들은 계측 바이어스에도 덜 민감하다[13].

이 DSP2 프로그램은 지리적으로 다른 다민족 및 다인구 샘플로 구성되어 있지만, 사용된 계측지표의 수뿐만 아니라 각 인구집단의 성적이형성 정도와 집단 안에서의 성적이형성의 개별 표현 정도에 영향을 받을 수 있다. 따라서, 성별추정의 성공 여부는 각 집단의 성적이형성 정도에 영향을 받는다. 즉, 지리적 위치와 무관하게 모든 연구에 대해 성별추정을 하려면 다양한 인종의 불기뼈 계측값을 기반으로 하는 프로그램이 필요하다. 하지만, DSP2 데이터베이스에 아시아인 계측지표에 대한 자료는 부족하며, 그중에 한국인 불기뼈 계측지표 자료는 포함되어 있지 않다.

독립적으로 유럽 사람들의 컴퓨터단층촬영(CT) 자료를 통해 DSP2 프로그램의 성별추정에 관해 검증한 연구에서 높은 정확도와 신뢰도를 보여주었다[14-16]. 또한, 생물 고학적 연구에 이 프로그램으로 성별추정을 하여 발표하기도 하였다[17-20]. 하지만, 한국인 사람뼈의 성별추정에 DSP2 프로그램을 이용한 비교 연구는 아직 보고되지 않아 DSP2 프로그램으로 한국인 성별추정이 가능한지 알지 못한다. 따라서, 본 연구에서는 처음으로 조선시대 사람 볼기뼈를 계측한 10개 계측지표 값으로 DSP2 프로그램을 이용한 성별추정이 얼마나 유효한지를 알아보았다.

재료 및 방법

조선시대 회곽묘에서 발굴된 15개체(단국대 조선시대 사람뼈 컬렉션 13개체, 누리고고학연구소와 수도문물연구원 2개체, n=29)의 볼기뼈에서 육안적 성별추정 결과와 DSP2 프로그램의 성별추정 결과를 비교하였다. DSP2 프로그램의 성별추정은 계측지표들의 계측값을 비교해 남자와 여자에 대한 표본 확률로 추정하는 것이다[13]. 이 프로그램으로 성별추정을 판단하려면 계측지표 10개 중 최소 4개가 필요하며, 사용된 계측지표의 수에 따라 결과에 차이가 있을 수 있다[13]. DSP2 프로그램에 쓰는 10개 계측지표들 가운데 최소 4개 계측지표로도 성별추정이 가능한지도 평가하였다. 본 연구는 신한대학교 생명윤리심의위원회의 심의에서 연구대상에 대한 심의면제(IRB 번호: SHIRB-202111-HR-141-02)를 승인받았다.

1. 육안적 비계측 성별추정

사람의 볼기뼈에 대한 육안적 성별추정은 Krogman과 Iscan (1986)이 제시한 육안적 성별추정 방법[4]에 기초하여 Buikstra와 Ubelaker (1995)가 수정 발전시킨 방법[21]으로 분석하였다. 이 기준에 의하면 비계측 성별추정을 할 때 볼기뼈에 대한 주요 비계측지표 6개와 머리뼈에 대한 부가 비계측지표 5개를 정하고 있다. 볼기뼈에 대한 주요 비계측지표 6개에는 큰궁동패임(greater sciatic notch), 귀바퀴앞고랑(pre-auricular sulcus), 두덩밑각(subpubic angle), 궁둥두덩가자안쪽(medial aspect of ischiopubic ramus, MA), 두덩밑오목(subpubic concavity, SPC), 배쪽호(ventral arc, VA)가 있고, 머리뼈에 대한 부가 비계측지표 5개에는 목덜미능선(nuchal crest), 꼭지돌기(mastoid process), 눈확위모서리(supraorbital margin), 미간(glabella), 턱끝융기(mental eminence)가 있다[22].

2. 확률적 성별추정(DSP2) 프로그램











성별추정을 위해 볼기뼈 표본에 대한 10개 계측지표의 계측값들을 온라인 양식에 입력하면 남자 또는 여자일 확률이 자동으로 계산된다. 이 계산은 성별을 분류하기 위해 선택한 유의 수준에 맞춰 사후확률을 계산한 것이다. 사후확률 계산값이 0.95 이상인 경우만 DSP 프로그램에서 성별을 추정하게 된다[23]. 또한 획득한 데이터는 자동으로 전체 데이터베이스 범위와 비교할 수 있다. 남자와 여자의 정상 범위가 제시되므로 계측값이 DSP2의 정상 범위에 있는지도 알 수 있다. 또한, 수집된 값들을 전체 데이터베이스 범위와 비교했을 때 입력값이 그 범위를 벗어나면 주황색으로 표시되어 사용자가 다시 확인할 수 있어 입력오류를 피할 수 있다. 허용가능 값의 범위는 DSP2 인터페이스의 “변동 범위(range variation)” 탭에서 확인할 수 있다. DSP2는 또한 “계측(measurements)” 탭에서 10개 계측지표를 계측하는 방법에 대한 설명도 있다.

프로그램에서 사용되는 대부분의 계측지표는 Martin의 책[24]에 포함되어 있다. 모든 변수는 이전에 연구자 간 및 연구자 내 오류에 대해 테스트되었으며 신뢰할 수 있는 계측에 대해 허용가능한 수준의 오류를 표시했다[25,26]. 29개의 볼기뼈에서 연구자가 직접 계측한 10개의 계측지표(Pum, Spu, Dcox, Iimt, Ismm, Scox, Ss, Sa, Sis, Veac)를 사용해 판별된 성별추정 결과를 분석하였다. 처음 8개 계측지표(Pum, Spu, Dcox, Iimt, Ismm, Scox, Ss, Sa)는 성별추정에 권장되는 지표들이며, 나머지 두 계측지표(Sis, Veac)는 주로 불완전 뼈에 대해 부가적으로 사용되는 지표로 알려져 있다[13].

3. 확률적 성별추정(DSP2) 원리 및 구성

DSP2 소프트웨어는 Fisher의 선형 판별 분석(LDA)을 기반으로 하고 있으며, 참조 데이터 세트는 공분산 행렬의 정규성과 동등성에 대한 가정을 충족한다[11]. 신뢰할 수 있는 성별추정을 위해 0.95 이상의 사후 성별추정 확률을 성별 결정의 임계값으로 하였다[29,30]. 신뢰 수준이 낮은 경우 성별추정의 결과는 미정(N/A)으로 정해진다. 사후확률은 R 통계 소프트웨어의 R 스크립트를 사용하여 계산된 다음 C++ 언어로 코딩되고 Qt 라이브러리를 사용해 DSP2 소프트웨어로 보내진다. 계측값은 프로그램 인터페이스에 수동으로 입력하거나, Excel 또는 LibreOffice 스프레드시트에서 복사해 간단히 붙여넣을 수 있다. DSP2 컴퓨팅 프로그램은 Linux, Mac OS, Windows의 3가지 버전으로 제공되며, 웹링크(<http://projets.pacea.u-bordeaux.fr/>)

Table 1. The 10 parameters of hip bone measuring used in DSP2 program

			
Acetabulo symphyseal pubic length (Pum) [24]	Cotylo-pubic width (Spu) [27]	Cotylo-sciatic breadth (Sis) [24]	Greater sciatic notch height (Iimt) [24]
			
Ischium post-acetabular length (Ismm) [28]	Vertical acetabular diameter (Veac) [24]	Spino-sciatic length (Ss) [27]	Spino-auricular length (Sa) [27]
			
Coxal length (Dcox) [24]		Iliac or coxal breadth (Scox) [24]	

logiciel/DSP2/dsp2.html.)를 통해 별도의 인증 없이도 자유롭게 내려받아 쓸 수 있다.

결 과

1. 육안적 비계측 성별추정

전문 연구자 3인이 맹검법(blind test)으로 불기뼈에 대한 주요 비계측지표 6개를 이용해 육안적 비계측 성별추정 결과를 얻었다(Table 2). 전문 연구자 3인이 실시한 비계측 성별추정[22]에서 15개 개체에 대해 남자 9명, 여자 6명의 모두 일치하는 성별추정 결과를 보였다.

2. 확률적 성별추정

(DSP: Diagnose Sexuelle Probabiliste)

불기뼈 (15개체, n=29)에서 계측한 10개의 계측지표의 평균값을 DSP2 프로그램에 입력하여 불기뼈 성별추정 결과를 얻었다(Fig. 1A). Fig. 1의 한 개체에서 위의 값이 왼쪽 불기뼈에 대한 계측값과 성별추정 결과이며, 아래의 값이 오른쪽 불기뼈에 대한 계측값과 성별추정 결과이다(Fig. 1). 3번 개체는 왼쪽 불기뼈만 남아 있어 이에 대한 성별추정 결과를 나타냈다. 29개의 불기뼈 가운데 성별추정을 할 수 없었던 불기뼈는 모두 4개로 86.2%의 성별결정 추정을 보였다. 한 개체당 2개 불기뼈를 모두 이용한 경우, 14개체 모두 성별추정이 되었고 성별추정 비율은

Table 2. Non-metric sex estimation results by 3 professional researchers

Joseon Human Bone sample			Researcher 1	Researcher 2	Researcher 3
Excavation site	ID number				
1	Yongin 3	FAL-a-24	Female	Female	Female
2	Goyang 7	FAL-a88	Female	Female	Female
3	Goyang 12	FAL-a105	Female	Female	Female
4	Hwaseong 8	FAL-a24	Male	Male	Male
5	Guri C-28	FAL-a47	Male	Male	Male
6	Goyang 10	FAL-a100	Male	Male	Male
7	Wonju 6-1	WJ 6-1	Male	Male	Male
8	Uijeongbu 1	EJB-1	Male	Male	Male
9	Uijeongbu 2	EJB-2	Female	Female	Female
10	Cheongju e-2	FAL-a67	Male	Male	Male
11	Yongin 2	FAL-a56	Male	Male	Male
12	Goyang 7	FAL-a94	Male	Male	Male
13	Hwaseong 58	FAL-a20	Male	Male	Male
14	Cheongju 1	FAL-a65	Female	Female	Female
15	Yongin 5	FAL-a59	Female	Female	Female

96.55%였다.

3. 확률적 성별추정(DSP2)과 비계측 성별추정 비교

고병리학 전문 연구자 3인의 성별판별 기준 결과와 10개 계측지표들을 사용한 DSP2 프로그램 결과를 Table 3에서 비교하였다. DSP2 결과에서 한쪽 불기뼈만 성별추정된 1번(용인3, FAL-a-24), 5번(구리c-28, FAL-a47), 14번(용인5, FAL-a59)의 성별을 1번 여자, 5번 남자, 14번 여자로 정하여 Table 3에서 DSP2의 성별추정 일치도를 비교하였다.

전문가 3인의 일치된 성별추정 판정과 DSP2 성별추정 결과를 비교했을 때, 일치하지 않는 결과는 3번(고양 12, FAL-a105), 5번(구리 c-28, FAL-a47)의 2개체로 성별추정(DSP2)의 일치도는 86.67%이다. 이 결과에서 남녀의 성별추정 결과가 바뀐 경우는 5번(구리 c-28, FAL-a47)의 1개체였다. 권장되는 8개의 계측지표 값을 사용했을 때 (Fig. 1B), 14개체 29개의 불기뼈에서 89.66%로 성별추정이 결정되었다. 이는 10개 계측지표 값을 사용했을 때 (Fig. 1A)의 86.2%의 성별추정 비율보다 더 높았으며, 두 추정 결과의 일치율은 96.55%였다. 이 차이는 14번(청주 1, FAL-a65) 개체의 오른쪽 불기뼈가 여자로 추정되어 발생하였다. 성별추정에 가장 결정적인 핵심 4개 계측지표 (best 4 parameter)의 값을 입력해 성별추정한 결과를 Fig. 1C에 정리하였다. 14개체 29개의 불기뼈에서 핵심 4개 계측지표가 모두 있는 불기뼈는 20개였다. 이들 20개 가운데

3번(왼불기뼈), 5번(왼불기뼈), 10번(왼불기뼈)을 제외한 나머지 모두에서 성별이 결정되어 성별추정 비율은 85%로 산정되었다. 이는 10개 계측지표 값을 사용한 86.2%의 성별추정 비율보다 낮은 비율이다. 핵심 4개 계측지표를 사용한 불기뼈 20개의 성별추정 결과와 10개 계측지표를 사용한 성별추정을 비교했을 때, 두 DSP2 성별추정의 일치율은 95%로 10번(왼불기뼈) 외에는 모두 일치하였다. 성별추정에 관련성이 비교적 적다고 알려진 부가적 4개 계측지표(worst 4 parameter)에 대해 성별추정을 한 결과는 Fig. 1D에 정리하였다. 14개체 29개의 불기뼈에서 29개 모두에서 부가적 4개 계측지표들은 계측 가능하였다. 이들 29개 가운데 DSP2 프로그램을 이용하면 2번(오른 불기뼈), 3번(왼불기뼈), 4번(오른·왼불기뼈), 9번(오른·왼불기뼈), 11번(오른·왼불기뼈), 12번(오른불기뼈)의 9개체만 성별추정이 결정되어 성별추정은 31.03%였다. 이는 Fig. 1의 모든 성별추정 결과와 비교했을 때 가장 낮은 비율이었다.

부가적 4개 계측지표를 사용한 29개의 성별추정 결과와 10개 계측지표를 사용했을 때의 결과를 비교하면 두 추정결과는 10개체가 일치해 일치율은 31.03%였다. 10개의 계측지표를 사용했을 때 성별추정이 되었으나, 부가적 4개 계측지표를 사용했을 때 성별추정이 되지 않은 비율은 68%였다. 이 두 계측지표를 사용했을 때, 성별이 바뀐 경우는 12번(오른불기뼈) 1개체에서 있었고, 10개 계측지표로는 성별추정이 되지 않았지만, 부가적 4개 계측지표를

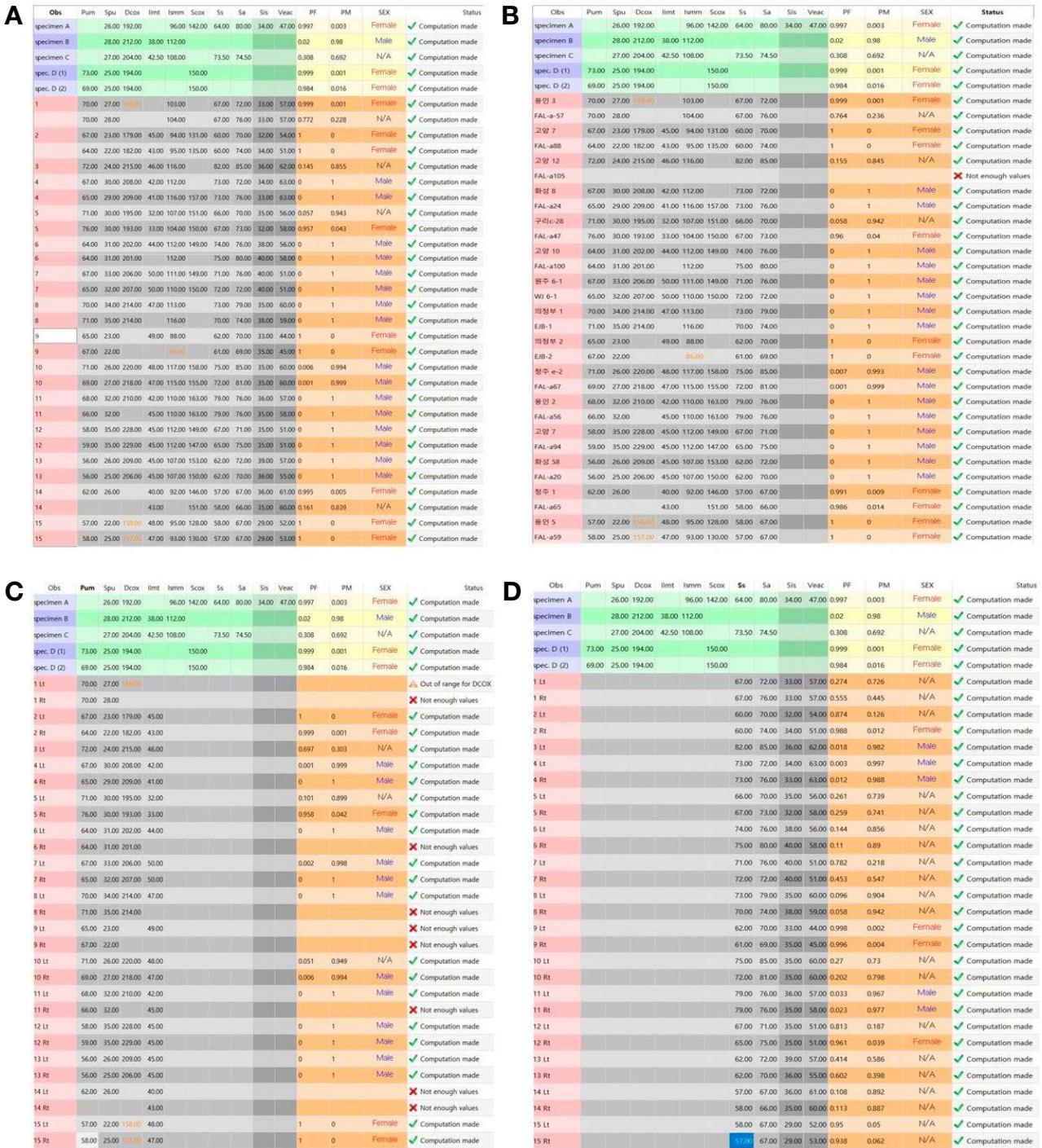


Fig. 1. The results for the Joseon human bone sample (n=29) is represented by the DSP2 graphical user interface with various combinations of parameters. (A) 10 parameters, (B) essential 8 parameters: Sis and Veac removed, (C) best 4 parameters are Dcox, Pum, Spu, Iimt, (D) worst 4 parameters are Sis, Veac, Sa, Ss. The first five blue lines are the routine examples given when opening the software. N/A; data is not applicable.

사용했을 때 성별이 남자로 추정된 경우는 3번(원불기뼈) 10개의 계측지표에 대한 각각의 최소값과 최대값을 비교했을 때, 최소값은 대부분 여자가 더 작았고 최대값은

Table 3. The accuracy of sex estimation by comparing the DSP2 program with non-metric sex estimation

	Excavation site	ID number	DSP2	Researcher	Sexing accuracy
1	Yongin 3	FAL-a-24	Female	Female	○
2	Goyang 7	FAL-a88	Female	Female	○
3	Goyang 12	FAL-a105	N/A	Female	×
4	Hwaseong 8	FAL-a24	Male	Male	○
5	Guri C-28	FAL-a47	Female	Male	×
6	Goyang 10	FAL-a100	Male	Male	○
7	Wonju 6-1	WJ 6-1	Male	Male	○
8	Uijeongbu 1	EJB-1	Male	Male	○
9	Uijeongbu 2	EJB-2	Female	Female	○
10	Cheongju e-2	FAL-a67	Male	Male	○
11	Yongin 2	FAL-a56	Male	Male	○
12	Goyang 7	FAL-a94	Male	Male	○
13	Hwaseong 58	FAL-a20	Male	Male	○
14	Cheongju 1	FAL-a65	Female	Female	○
15	Yongin 5	FAL-a59	Female	Female	○

N/A, data is not applicable; ○, both results are consistent; ×, both results are different.

Table 4. Descriptive statistics (by sex) for the Joseon human hip bones (n=29)

	Pum	Spu	Dcox	limt	lsmm	Scox	Ss	Sa	Sis	Veac
Mean	65.54	28.39	201.26	44.25	106.04	148.25	67.72	73.69	35.03	55.86
SD	5.30	4.25	19.99	4.49	9.23	10.06	7.16	5.00	2.81	4.88
Male	64.75	30.81	212.07	45.43	112.00	153.58	71.38	75.69	36.50	56.88
SD	5.03	3.37	8.49	2.77	2.94	5.58	5.14	4.03	2.31	4.11
Female	65.11	24.44	173.00	43.57	94.44	136.67	61.00	69.89	32.56	52.78
SD	5.88	2.79	14.24	5.59	5.98	9.16	3.81	2.67	2.40	5.65
Min (M)	56	25	201	41	107	147	62	70	33	51
Max (M)	71	35	229	50	117	163	79	85	40	63
Min (F)	57	22	157	33	86	128	57	67	29	44
Max (F)	76	30	193	49	104	150	67	74	36	58
Min (M + F)	56.00	22.00	157.00	33.00	86.00	128.00	57.00	67.00	29.00	44.00
Max (M + F)	76.00	35.00	229.00	50.00	117.00	163.00	79.00	85.00	40.00	63.00
Min (DSP2)	56	17	170	23	86.9	123	52.5	53.5	26.5	42.00
Max (DSP2)	87	38.5	253	63	131.5	187	91	94.7	52	66.50

SD=standard deviation; M= male; F= female; Min (M), Minimal mean value of male hip bone; Max (M), Maximal mean value of male hip bone; Min (F), Minimal mean value of female hip bone; Max (F), Maximal mean value of female hip bone; Min (M + F), Minimal mean value of all hip bone sample (n = 29); Max (M + F), Maximal mean value of all hip bone sample (n = 29); Min (DSP2), DSP2 minimal mean value of reference hip bone [13]; Max (DSP2), DSP2 maximal mean value of reference hip bone [13]

대부분 남자가 더 컸다(Table 4). 다만, 10개의 측정지표들 가운데 Pum 측정지표만 특이하게 여자의 최소값과 최대값이 남자의 최소값과 최대값보다 각각 더 컸다(Table 4). 10개의 측정지표 각각의 평균값으로 남자와 여자를 서로

비교했을 때, 남자가 여자보다 측정지표의 평균값이 모두 더 컸다(Fig. 2).

모든 불기뼈 측정값들은 10개의 측정지표와 성별 간 평균에서 매우 중요한 뚜렷한 차이를 나타내었다(Fig. 2). 핵

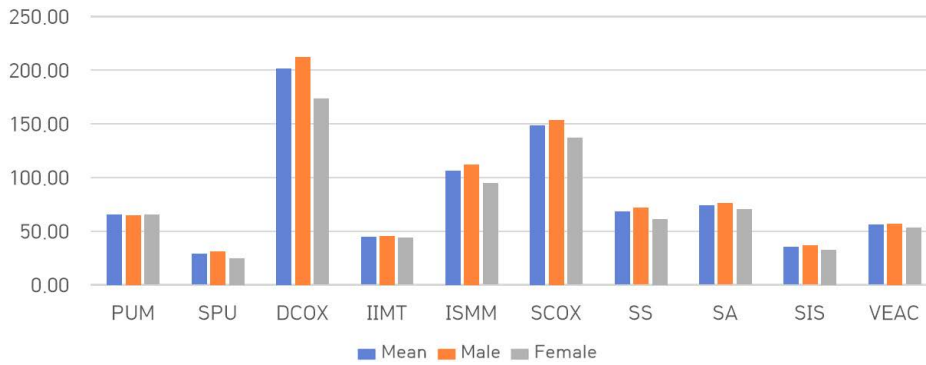


Fig. 2. The bar graph of mean measuring value for 10 parameters in the Joseon Dynasty human bone sample (n = 29).

Table 5. The summary of sexing estimation accuracy with various combinations of parameters

Various parameters	% Sex estimation	% Sexing accuracy
10 parameters (Fig. 1A)	86.2%	86.2%
8 parameters (Fig. 1B)	89.66%	86.2%
Best 4 parameters (Fig. 1C)	85%	80%
Worst 4 parameters (Fig. 1D)	31.03%	31.03%

% Sex estimation: the percentage of determination of sex estimation in DSP2 program; % sexing accuracy: the percentage of sex estimation consistency with non-metric sex estimation results.

심 4개 계측지표들의 평균값과 부가적 4개 계측지표들 간의 평균값을 비교하면 핵심 4개 계측지표들의 평균값이 더 뚜렷한 차이를 보였다. 그리고, 본 연구의 10개의 계측지표에 대한 최소값과 최대값을 DSP2 프로그램의 최소값과 최대값을 각각 비교했을 때, 모두 DSP2 프로그램의 최소값보다 크고 DSP2 프로그램의 최대값보다 작아 모든 계측값들이 DSP2의 범위 내에 들어 있음도 확인하였다.

고찰

본 연구에서 DSP2를 이용해 조선시대 사람 볼기뼈 (n=29)를 형태학적 성별추정과 비교해 이 프로그램의 정확도를 처음으로 평가하였다. 그 결과 DSP2로 성별추정했을 때, 10개의 계측지표를 모두 사용하면 95% 이상의 정확도는 아니었지만, 86.2%의 비교적 높은 정확도를 보였다. 다양한 수의 계측지표들을 조합해 DSP2 프로그램을 통해 성별추정이 가능한 핵심 계측지표들과 부가적 계측지표들의 정확도도 평가하였다. 이 연구에 사용한 10개 계측지표들 가운데 권장되는 8개 계측지표 값만을 DSP2에

입력했을 때, 29개의 볼기뼈에서 89.66%로 성별추정이 결정되었다. 이는 10개 계측지표 값을 사용했을 때의 성별추정 비율인 86.2%보다 높았으며, 두 성별추정 결과의 일치율은 96.55%였다. 이 차이는 14번(청주1, FAL-a65) 개체의 오른쪽 볼기뼈가 여자로 추정되어 발생하였다. 14번 개체의 오른쪽볼기뼈는 핵심 4개 변수들 중 Pum, Spu, Dcox의 계측이 불가능해 그 값들이 입력되지 않아, 성별추정이 되지 않았다. 이는 이전 연구[13]에서 보고한 10개 계측지표 값을 사용했을 때 개인의 90% 이상의 성별추정을 할 수 있고, 가장 좋은 4가지 변수만 사용하면 87% 이상 성별추정을 할 수 있다는 것을 지지하는 결과로 핵심 4개 변수가 없으면 성별추정이 어려움을 잘 보여주었다. 그리고, 나머지 2개의 계측지표(Sis, Veac) 없이 권장되는 8개의 계측지표로 성별추정을 한 결과에서 성별이 결정되었는데, 이 2개 계측지표가 성별을 결정하는 데 반드시 필요한 것은 아니라는 이전 연구와 일치하였다[13]. 다른 한편으로, 계측지표 2개가 없어도 성별이 여자로 결정되었고, 이 성별추정 결과는 왼쪽 볼기뼈와 마찬가지로 여자로 추정되었지만, 나머지 2개의 계측지표 없이 성별추정을 하면 그 정확도가 다른 개체들도 정확한지는 아직 알려진 바가 없다. 따라서, DSP2에 권장되는 8개 변수만으로도 정확성을 갖는다고 주장하려면 더 많은 개체수를 한국인 집단에서 분석해야 올바른 결론을 내릴 수 있을 것이다.

생물고고학 및 법의인류학에서 성별추정을 위한 방법을 선택할 때는 사용하기 쉽고 잘 작동해야 한다. 이를 위해, 뼈의 계측지표 추정의 정확성, 신뢰성, 속도의 3가지 기준을 고려하는 것이 가장 중요하다. 뼈의 성별추정을 위해 알려진 소프트웨어에는 DSP2 외에 Fordisc 3 및 CRANID가 있다. 이 프로그램은 미터법 변수를 사용하고 형태학적 두덩뼈 및 머리뼈를 이용한 성별추정을 위해 Morpho-PASSE를 사용한다. 또한 이들 소프트웨어 플랫폼은 조상

평가에 중점을 두고 있다[31,32]. 특히, 법의학에서 사용하고 있는 Fordisc는 법의학 자료은행에 있는 성별이 알려진 글로벌 데이터베이스를 활용하며, 다양한 계측을 통한 성별, 키 추정 및 인종에 대한 판별이 가능한 프로그램이다[33]. 이 Fordisc는 기본적으로 표본의 모르는 조상에 대한 지식을 기반으로 특정 개체를 성별추정하는 것이 특징이다. Fordisc 3.0 버전은 Fordisc 2.0 이전 버전과 비교했을 때, 적절한 그룹을 선택할 수 있고, 사용할 수 있는 대규모 계측 조합이 있으며, 전체 법의학 자료은행 데이터를 사용해 정확성이 더 추가되었지만, 신뢰성은 더 높일 수 없었다. 이전 연구를 통해 보면, 유럽계를 기반으로 한 프랑스 사람뼈에 대한 판별보다 아프리카계 미국인에 관한 판별은 더 나은 결과를 얻었지만, 성별추정의 전체 정확도는 63.7%, 프랑스 하위 표본은 77.8%로 법의인류학에 필요한 신뢰도 기준에는 미치지 못하였다[33].

법의학 사례에 DSP2 프로그램을 적용할 수 있을지를 알아보기 위한 다른 가상의 성별추정 방법도 비교해 불기뼈 성별추정 정확도를 조사하였다[14]. 그 결과 수동 DSP 방식과 가상 DSP 방식 모두에서 100%의 정확도를 보여 가상 인류학에 대해서도 성별추정 유효성이 검증되었다[15]. DSP2 프로그램은 불기뼈로 성별추정을 할 때 100% 정확도로 법의학 사례에 적용 가능하다는 주장도 있었다. 따라서 DSP2 프로그램은 불기뼈의 성별추정을 할 수 있는 거의 유일한 소프트웨어라고 알려지게 되었다.

조선시대 사람뼈로 평가한 DSP2 성별추정의 정확도는 기존 Fordisc 3 및 CRANID에 대한 결과보다 높았지만, 95% 이상으로 높지 않았다. 이는 부분적으로 한국인의 인구집단의 특성이 반영된 결과로 생각되며, 연구에 사용한 개체 수가 충분하지 않은 연구의 제한점도 영향을 미친 것일 수 있다. 하지만, DSP2의 모든 불기뼈 계측지표 값들은 성별 간 분명한 차이가 있었으며, 남자와 여자의 정상 범위의 한계도 파악할 수 있어 계측값이 정상 범위에 있는지도 알 수 있었다. 그리고, DSP2에 입력하는 10개 계측지표를 모두 사용할 수 없더라도 중요한 핵심 계측지표들만으로 성별추정이 가능할 수 있음을 보여주었다. 한국사람 집단에서 성별추정을 할 때 부가적인 계측지표가 무엇인지에 대한 자료도 제공할 수 있었다. 신진 연구자나 관련 연구자들도 불기뼈에서 10개의 계측지표에 대한 계측값만 얻을 수 있다면, 이 프로그램을 이용해 사람뼈에 대해 객관적이며 재현성 있는 방법으로 성별추정 진단이 가능할 수 있을 것이다. 하지만, 계측지표들 가운데 부가적 지표들이 성별추정의 정확성에 어떤 영향을 미치는지에 대해서는 본 연구로도 아직 규명이 어려워 추가 연구로 이를 해결할 수 있다면 DSP2 프로그램을 더 유용하게 활용할 수

있을 것이다.

향후 본 연구내용을 바탕으로 DSP2 프로그램을 활용해 한국인의 불기뼈 계측지표에 대한 연구를 대규모로 진행한다면, 이 계측자료들 모두를 DSP2 프로그램 데이터베이스에 제공할 수 있어 아시아쪽 자료가 보완된 새로운 프로그램으로 수정할 수 있을 것이고, 지리적 영역에 무관하게 폭넓은 연구에 기여할 수 있을 것이다. 또 다른 한편으로, 한국인 불기뼈에 관한 대규모 연구로 불기뼈 계측값들에 대한 자료들이 더 축적될 수 있다면 한국인 성별추정을 위한 자체 프로그램 개발도 가능할 것이다.

종합하면, DSP2 프로그램은 한국인 불기뼈를 통한 성별추정에 비교적 높은 정확도로 사용할 수 있는 유용한 프로그램으로 평가하였다. 다만, 본 연구에 사용한 불기뼈의 개체수가 충분하지 않아 DSP2 프로그램이 다른 인구집단에서 보여주는 성별추정 결정 비율이나 일치도에는 미치지 못하는 부분도 있었다. 그리고, DSP2 프로그램으로 한국인 성별추정에 사용하기 위해서는 불기뼈 계측지표가 성별추정에 미치는 의미를 더 규명하는 것이 필요하였다. 이를 위해 대규모 집단 연구가 필요하다는 것을 제기하였으며, DSP2 프로그램을 적용할 때 간과하기 쉬운 기존의 문제점들을 고려해 더 많은 수의 조선시대와 현대 한국인에 대한 연구들이 이뤄진다면, 다양한 분야에서 활용가능한 자료를 얻을 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. Kemkes-Grotenthaler A. The reliability of forensic osteology - a case in point. Case study. *Forensic Sci Int.* 2001;117: 65-72.
2. Noe-Nygaard N. Taphonomy in Archaeology. *J Dan Archaeol.* 1987;6:7-52.
3. Passalacqua NV, Zhang Z, Pierce SJ. Sex determination of human skeletal populations using latent profile analysis. *Am J Phys Anthropol.* 2013;151:538-43.
4. Krogman WM, Iscan MY. *The Human Skeleton in Forensic Medicine*, 2nd ed. Springfield, USA: Charles C Thomas Publisher; 1986.
5. Keyser C, Hollard C, Gonzalez A, Fausser JL, Rivals E, Alexeev AN, et al. The ancient Yakuts: a population genetic enigma. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2015;370: 20130385.
6. Sládek V, Berner M, Sosna D, Sailer R. Human manipulative behavior in the Central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: humeral bilateral asymmetry. *Am J Phys Anthropol.* 2007;133:669-81.
7. Thomas A. Bioarchaeology of the middle Neolithic: evi-

- dence for archery among early European farmers. *Am J Phys Anthropol.* 2014;154:279-90.
8. Hager LD. The evolution of sex differences in the hominid bony pelvis. Berkeley: University of California; 1989.
 9. Rosenberg K, Trevathan W. Birth, obstetrics and human evolution. *Int J Obstet Gy.* 2002;109:1199-206.
 10. Bruzek J, Murail P. Methodology and reliability of sex determination from the skeleton. In *forensic anthropology and medicine*. Totowa, NJ: Humana Press; 2006. p. 225-42.
 11. Murail P, Bruzek J, Houët F, Cunha E. DSP: a tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bull Mem Soc Anthropol Paris.* 2005;17:167-76.
 12. Scheuer L. Application of osteology to forensic medicine. *Clin Anat.* 2002;15:297-312.
 13. Brůžek J, Santos F, Dutailly B, Murail P, Cunha E. Validation and reliability of the sex estimation of the human os coxae using freely available DSP2 software for bioarchaeology and forensic anthropology. *Am J Phys Anthropol.* 2017;164:440-9.
 14. Chapman T, Lefevre P, Semal P, Moiseev F, Sholukha V, Louryan S, et al. Sex determination using the Probabilistic Sex Diagnosis (DSP: Diagnose Sexuelle Probabiliste) tool in a virtual environment. *Forensic Sci Int.* 2014;234:189.e1-8.
 15. Mestekova S, Bruzek J, Velemínska J, Chaumoitre K. A Test of the DSP Sexing Method on CT Images from a Modern French Sample. *J Forensic Sci.* 2015;60:1295-9.
 16. Quatrehomme G, Radoman I, Nogueira L, du Jardin P, Alunni V. Sex determination using the DSP(probabilistic sex diagnosis) method on the coxal bone: Efficiency of method according to number of available variables. *Forensic Sci Int.* 2017;272:190-3.
 17. Candelas González N, Rascón Pérez J, Chamero B, Cambra-Moo O, González Martín A. Geometric morphometrics reveals restrictions on the shape of the female os coxae. *J Anat.* 2017;230:66-74.
 18. Oelze VM, Koch JK, Kupke K, Nehlich O, Zäuner S, Wahl J, et al. Multi-isotopic analysis reveals individual mobility and diet at the Early Iron Age monumental tumulus of Magdalenenberg, Germany. *Am J Phys Anthropol.* 2012;148:406-21.
 19. Quintelier, K. Calcified uterine leiomyomata from a post-medieval nunnery in Brussels, Belgium. *Int J Osteoarchaeol.* 2009;19:436-42.
 20. Villotte S, Santos F, Courtaud P. In situ study of the Gravettian individual from Cussac cave, locus 2 (Dordogne, France). *Am J Phys Anthropol.* 2015;158:759-68.
 21. Buikstra JE, Ubelaker DH. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains, Arkansas Archaeological Survey Research Series vol. 44 Fayetteville, Ark, USA: Arkansas Archeological Survey; 1994.
 22. Klales AR, Ousley SD, Vollner JM. A revised method of sexing the human innominate using Phenice's nonmetric traits and statistical methods. *Am J Phys Anthropol.* 2012;149:104-14.
 23. Alunni-Perret V, Staccini P, Quatrehomme G. Reexamination of a measurement for sexual determination using the supero-inferior femoral neck diameter in a modern European population. *J Forensic Sci.* 2003;48:517-20.
 24. Bräuer G. Osteometrie, In Knussmann R. (ed.), *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden biologie des menschen, Band 1.* Stuttgart: Gustav Fischer Verlag; 1988. p. 160-232.
 25. Bruzek J, Murail P, Houët F, Cleuvenot E. Inter- and intra-observer error in pelvic measurements and its implication for the methods of sex determination. *Anthropologie.* 1994; 32:215-23.
 26. Vacca E, Di Vella G. Metric characterization of the human coxal bone on a recent Italian sample and multivariate discriminant analysis to determine sex. *Forensic Sci Int.* 2012;222:401.e1-9.
 27. Gaillard, J. Determination sexuelle d'un os coxal fragmentaire. *Bull Mem Soc Anthropol Paris.* 1960;1-2:255-67.
 28. Schulter-Ellis FP, Schmidt DJ, Hayek LA, Craig J. Determination of sex with a discriminant analysis of new pelvic bone measurements: Part I. *J Forensic Sci.* 1983;28:169-80.
 29. Kranioti EF, Apostol MA. Sexual dimorphism of the tibia in contemporary Greeks, Italians, and Spanish: forensic implications. *Int J Legal Med.* 2015;129:357-63.
 30. Kranioti EF, García-Donas JG, Langstaff H. Sex estimation of the Greek mandible with the aid of discriminant function analysis and posterior probabilities. *Rom. J. Leg. Med.* 2014;22:101-4.
 31. Kallenberger L, Pilbrow V. Using CRANID to test the population affinity of known crania. *J Anat.* 2012;221:459-64.
 32. Ousley SD, Jantz RL. *Fordisc 3 and Statistical Methods for Estimating Sex and Ancestry.* In: Dirksmaat DC, editor. *A Companion to Forensic Anthropology.* Chichester, UK: John Wiley & Sons; 2012. pp. 311-29
 33. Guyomarc'h P, Bruzek J. Accuracy and reliability in sex determination from skulls: A comparison of Fordisc[®] 3.0 and the discriminant function analysis. *Forensic Sci Int.* 2011;208:180.e1-6.

간추림 : 사람뻬는 키, 성별, 나이, 인종 등에 대한 정보를 제공하며 개인 식별을 가능하게 한다. 이 중 성별추정은 기본적으로 필수적인 일로서 육안적 비계측 성별추정은 전문가의 지식과 경험으로 대개 추정한다. 하지만, 경험이 부족한 신진 연구자 등은 성별추정에 혼란이나 실수가 발생할 수 있다. 따라서, 비전문가라도 객관적이고 일관되게 성별추정 결과를 쉽게 얻을 방법이 필요하다. 12개 인구 표본에서 2,000명 이상의 알려진 성별에 대한 자료를 기반으로 만든 확률적 성별추정(Diagnosis Sexuelle probabiliste, DSP2) 프로그램은 10개의 불기뻐 계측지표를 입력하면 성별추정이 되어 간단하고 객관적이다. 하지만, 아직 한국인에서 성별추정(DSP2) 프로그램을 사용해 어느 정도 일치하는지는 잘 알려지지 않았다. 본 연구는 조선시대 사람 불기뻐에 대해 DSP2 프로그램으로 성별추정을 했을 때, 전문가의 육안적 성별추정 결과와 얼마나 일치하는지를 비교하여 평가하고자 하였다. 먼저 전문 고병리 연구자 3인이 맹검법으로 조선시대 사람뻬 컬렉션에서 보존상태가 온전한 15개체(n=29)를 무작위로 선정하여 육안적 비계측 성별추정을 시행하였다. 15개의 개체에 대해 남자 9명, 여자 6명으로 모두 일치하는 성별추정 결과를 얻었다. 이 결과를 기준으로 계측한 계측계수들을 DSP2 프로그램에 입력하여 결정된 성별추정 결과를 평가하였다. DSP2 프로그램에 불기뻐에서 계측한 10개의 계측지표 값을 모두 입력한 성별추정 결과는 86.2%, 권장되는 8개의 계측지표 값을 입력한 결과는 89.66%, 핵심 4개 계측지표 값을 입력한 결과는 85%였다. 부가적 4개 계측지표 값을 입력한 결과 29개 불기뻐에서 9개체만 성별추정 결과는 31.03%로 성별추정 비율이 가장 낮았다. 10개의 계측지표를 사용했을 때와 성별추정 결과를 비교했을 때, 권장되는 8개의 계측지표, 핵심 4개 계측지표, 부가적 4개 계측지표의 일치율은 각각 86.2%, 80%, 31.03%로 산정되었다. DSP2 프로그램은 한국인 불기뻐를 통한 성별추정에 10개 계측지표를 사용했을 때, 높은 정확도를 보이는 프로그램으로 평가되었다. 하지만, 사용한 불기뻐 개체수가 일반화 하기에는 충분하지 않으므로 향후 더 많은 개체수로 추가적인 연구를 진행한다면 DSP2 프로그램에 대한 더 정확한 평가가 가능할 것이다.

찾아보기 낱말 : 조선시대, 성별추정, 불기뻐, DSP2, 비계측, 계측