

사람 뼈대 표면 연구를 위한 효율적인 연화 방법 연구

박현진¹, 우은진², 허경석³

¹건국대학교 의과대학 해부학교실, ²세종대학교 인문과학대학 역사학과,

³연세대학교 치과대학 구강생물학교실, 해부 및 발생생물학 연구실, 개인식별연구소, BK21 창의치의학융합 교육연구단

The Effect of Maceration Techniques for Surface and Outline Analysis Using Human Bones

Hyun Jin Park¹, Eun Jin Woo², Kyung-Seok Hu³

¹Department of Anatomy, School of Medicine, Konkuk University

²Department of History, Sejong University

³Division in Anatomy and Developmental Biology, Department of Oral Biology, Human Identification Research Institute, BK21 FOUR Project, Yonsei University College of Dentistry

Abstract : The maceration of soft tissues from skeletons is a critical technique in forensic and anthropological research; however, there is no standardized method for effective bone maceration, particularly for surface analysis. This study aimed to develop an optimal maceration protocol using detergents readily accessible in Korea to ensure practical and reproducible application. Experiments were conducted on pelvic bones from 42 fixed Korean cadavers and one fresh cadaver, comparing the effects of two types of detergents—non-acidic/non-bleach cleaner & degreaser and oxygen-based bleach—at 1% and 10% concentrations. The findings revealed that both 1% and 10% non-acidic/non-bleach cleaners slightly outperformed distilled water in soft tissue removal. In contrast, 1% oxygen-based bleach improved bone brightness but had limited effectiveness in tissue removal. The 10% oxygen-based bleach demonstrated superior performance, fully removing soft tissues within 12 hours at 90°C and achieving clean, bright bone surfaces. However, extending the treatment to 72 hours led to significant surface damage, compromising bone integrity. In conclusion, the 10% oxygen-based bleach method provided the most time-efficient and effective results for macerating fixed cadaveric bones. Nevertheless, the condition of the cadaver (fixed vs. fresh) should be considered, as fresh cadavers exhibited superior outcomes. This study highlights the importance of tailoring maceration protocols based on the cadaver type to achieve optimal results for forensic and anthropological applications.

Keywords : Bone maceration, Human bone, Detergent maceration, Surface analysis

이 성과는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2018R1A5A7023490).

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.

저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

Received: December 2, 2024; **Revised:** December 25, 2024;

Accepted: December 26, 2024

Correspondence to: 허경석 (연세대학교 치과대학 구강생물학교실)

E-mail: hks318@yuhs.ac

서론

법의학에서는 범죄 현장에서 사망한 사람의 연조직을 제거하여 뼈를 드러내 외상 흔적을 분석하고 생물학적 프로필 설정을 위해, 인류학 분야에서는 뼈대 연구를 위해 깨끗

한 뼈대 표본을 만들고자 한다[1]. 따라서 각 분야에서 최종 뼈대의 외관과 실험 목적과 선호도에 따라 다양한 연화(maceration), 세척(cleaning) 방법이 개발되었다. 뼈를 세척하기 위해 현재까지 사용되는 가장 일반적인 방법은 매뉴얼, 효소, 가열(cooking), 화학적, 곤충 연화가 있다.

1. 매뉴얼(Manual maceration)

이 방법은 가장 간단한 방법으로 메스, 포셉, 단단한 브러시 등의 기구를 이용하여 연조직을 제거하는 방법이다. 이 방법은 재료가 특별히 필요하지 않으며, 표면이 매끄러운 뼈에서 연조직을 제거하는 데 용이하다. 그러나 이 방법은 연구자가 부상을 입을 위험이 있고, 연조직을 제거하며 사용하는 기구로 인해 인공적인 손상이 발생할 위험이 있으며, 뼈 표면이 거칠거나, 머리뼈, 척추뼈 등 복잡한 구조일 경우 더욱 뼈대 연화 및 세척 과정이 힘들어진다[2].

2. 가열 연화(Cooking maceration)

전자레인지[3] 또는 오븐[4]에 가열하거나 물에 넣어 100°C 이하의 온도에서 삶거나(simmering), 100°C 이상에서 끓여(boiling) 연조직을 제거하기도 한다. 가열 방식에 따라 빠르게 연조직을 제거할 수 있으나, 과도하게 가열될 경우 표면이 변성되거나 혹은 표본의 상태에 따라 뼈 일부가 떨어져 나갈 수 있다[5].

3. 효소 연화(Enzymatic maceration)

트립신(trypsin), 펩신(pepsin), 파파인(papain), 판크레아틴(pancreatin) 등의 효소들을 주로 사용하며, 효소의 조건에 따라 몇 시간 이내에 뼈대에 붙어 있는 연조직을 완전히 제거할 수 있다[6]. 효소의 위험성이 크고, 단시간에 진행되다 보니 뼈까지 녹아내리는 경우가 있어 효소 종류에 따라 충분한 지식을 가지고 연화를 진행해야 한다[7].

4. 곤충 연화(Insect consumption)

딱정벌레목(coleoptera), 수시령이과(dermestinae)의 곤충을 이용하여 연화하기도 하는데, 연화까지 시간이 오래 소요될 뿐만 아니라, 연조직이 모두 제거되면 곤충이 뼈까지 먹어버리는 경우가 있어 계속 연화 과정을 관찰하여 시간을 조절해야 한다는 단점이 있다. 또한 지속적인 사용을 위해 생물의 개체 수 유지 비용이 발생한다[7,8].

5. 화학적 연화(Chemical maceration)

에틸렌다이아민테트라아세트산(ethylene-diamine-tetraacetic acid, EDTA), 과산화수소(hydrogen peroxide, H₂O₂),

수산화 나트륨(sodium hydroxide, NaOH), 수산화 칼륨(potassium hydroxide, KOH), 과붕산나트륨(sodium perborate, BNaO₃·H₂O) 등을 사용하여 연화하기도 한다[3,7,9]. 화학물질을 이용한 연화는 표본의 크기에 따라 짧게는 몇 분만에 뼈에서 연조직을 제거할 수 있으나, 장시간 노출되면 뼈가 손상될 수 있으며, 뼈의 급속한 침식이 일어나 뼈가 바스러져 부서지기 쉬운 상태가 된다[7].

6. 세제 연화(Detergent maceration)

세제는 계면활성제, 유지방제거제, 표백제 등 다양한 화학성분이 포함되어 있어 연화 과정에서 첨가제로 널리 사용된다[1]. 이러한 세제는 저렴하고 쉽게 구할 수 있으며, 건강 및 안전 문제도 비교적 적어 뼈 연화와 세척을 위한 대체 약품으로 주목받고 있다. 특히, 연화 및 세척 과정에서 세제가 가진 경제성과 안정성은 많은 연구에서 긍정적인 결과를 보이며 그 가능성을 입증하였다[1,10,11]. 그러나 기존 연구에서 사용된 세제들은 대부분 국내에서 판매되지 않는 제품으로, 우리나라 연구 환경에서의 실용성에는 한계가 있었다. 또한, 이들 세제의 농도와 사용 조건에 대한 명확한 표준이 제시되지 않아 연구 결과의 재현성에도 어려움이 있었다.

따라서 본 연구는 국내에서 쉽게 구할 수 있는 세제(탈지제가 함유된 비산성/무표백 세제와 산소계 표백 세제)를 이용하여 연화 효과를 분석하고, 우리나라 실정에 맞는 효율적인 연화 방법을 제시하고자 한다. 이를 통해 기존 연구의 한계를 극복하고, 다양한 조건에서도 적용 가능한 연화 방법의 기준을 마련하고자 한다.

연구 대상 및 방법

연세대학교 치과대학에 교육 및 연구 목적으로 기증되어 포르말린으로 고정된 고정시신 42구(남자 26구, 여자 16구)와 신선시신 1구(남자 1구)에서 골반뼈의 선천적 기형, 훼손, 손상, 수술 등으로 인해 심한 변형을 보이는 대상을 제외한 골반뼈를 연화하였다. 연구에 사용된 표본의 평균 나이는 76.74±10.37세(47~96세)였다. 골반뼈는 우리 몸의 뼈대 중에서도 모양이 불규칙한 구조를 가지고 있으며, 많은 근육이 이를 감싸고 있어 연조직이 풍부하다. 또한, 다른 뼈대와 붙어 있는 부분과 섬유연골과 맞닿아 있는 부분이 존재하여 다양한 실험 조건을 재현할 수 있다는 점에서 본 연구에 적합하다고 판단되었다.

넋째 허리뼈 높이에서 허리뼈를 자르고, 넋다리뼈를 엉덩관절에서 분리하여 골반뼈를 드러내었다. 이후 골반 안팎에 있는 연조직들을 메스를 이용하여 최대한 제거하고, 아래와 같

이 다섯 가지의 방법으로 향온수조(WBT-45, 정바이오텍, 인천)에 완전히 뼈를 담가 삶았다(simmering). 이전 연구에서 뼈 세척 및 연화에 효율적이라고 연구된 세제들은 한국에서 판매하지 않는 제품이며, 또한 연화를 위한 세제의 농도가 정확하게 명시되어 있지 않았다. 그래서 본 연구에서는 한국에서 판매되는 세제 중 탈지제가 함유된 비산성/무표백 세제와 표백제 성분이 들어 있는 세제의 연화 정도를 실험하였다.

- 1) 1차 증류수, 90°C, 72시간
- 2) 1% 탈지제 함유 비산성/무표백 세제(홈스타[®] 욕실용 세정제, LG생활건강, 서울시), 90°C, 72시간
- 3) 10% 탈지제 함유 비산성/무표백 세제(홈스타[®] 욕실용 세정제), 90°C, 72시간
- 4) 1% 산소계 표백 세제(유한젠[®], 유한크로락스, 서울시), 90°C, 72시간
- 5) 10% 산소계 표백 세제(유한젠[®]), 90°C, 12시간
- 6) 10% 산소계 표백 세제(유한젠[®]), 90°C, 72시간

용액은 30L를 기준으로 만들었으며, 매 24시간마다 새로 갈아주어 세제의 농도가 일관되게 유지해 주었다. 이후 뼈를 꺼내어 뼈막분리기(perioosteal elevator)를 이용하여 남은 연조직을 최대한 제거한 후 에탄올에 24시간 동안 담가 뼈 안쪽에 있는 남은 물기를 제거한 후 자연건조하였다.

결 과

1. 두덩뼈 두덩결합면

증류수(90°C, 72시간)에서는 연화 정도가 가장 미흡하였으며 두덩뼈 표면에 잔여 연조직이 다수 관찰되었다(Fig.

1A). 두덩뼈 표면의 색은 밝은 갈색으로 유지되었으며, 비산성/무표백 세제와 1% 산소계 표백 세제와 비교하였을 때 색 변화는 거의 없었다.

증류수와 비교하여 1% 비산성/무표백 세제(홈스타[®])로 삶았을 경우 뼈대의 연화 효과는 약간 증가하였으나, 연조직이 여전히 일부 남아 있었다(Fig. 1B). 표면의 색 변화는 관찰되지 않았으나, 두덩뼈의 전체적인 밝기는 증류수보다 약간 밝아졌다. 10% 비산성/무표백 세제로 삶았을 경우에는 1% 비산성/무표백 세제보다 연화 효과가 좀 더 좋았다. 연조직 제거가 비교적 원활하게 이루어졌으나, 일부 굴곡진 부위에는 연조직이 남아 있었다(Fig. 1C). 두덩뼈 표면 색은 약간 밝아졌으나, 증류수와 1% 비산성/무표백 세제의 경우와 비교할 때 큰 변화는 없었다.

산소계 표백 세제(유한젠[®])의 연화 효과가 증류수와 비산성/무표백 세제(홈스타[®])보다 뛰어났으며, 1% 산소계 표백 세제에서도 대부분의 연조직이 제거되었다(Fig. 1D). 좁은 굴곡 부위에서만 연조직이 일부 잔존하였고, 뼈 색은 이전 방법들보다 밝아졌다. 표면 손상은 관찰되지 않았다. 10% 산소계 표백 세제에서는 12시간만 삶아도 두덩뼈의 연조직이 거의 완전히 제거되었으며, 표면은 가장 밝은 상아색으로 변하였다(Fig. 1E). 10% 산소계 표백 세제로 인해 연조직이 제거된 뼈 표면은 다른 방법보다 깨끗하고 밝았다.

2. 엉덩뼈 귓바퀴면

엉덩뼈 귓바퀴면의 경우 두덩결합면보다 굴곡지고 파인 부분이 많아 각 군마다 차이가 크게 나타났다. 증류수에서는 엉덩뼈 귓바퀴면의 연화가 거의 이루어지지 않았으며, 많은 영역에서 연조직이 잔존하였다(Fig. 2A). 특히 복잡한 굴곡

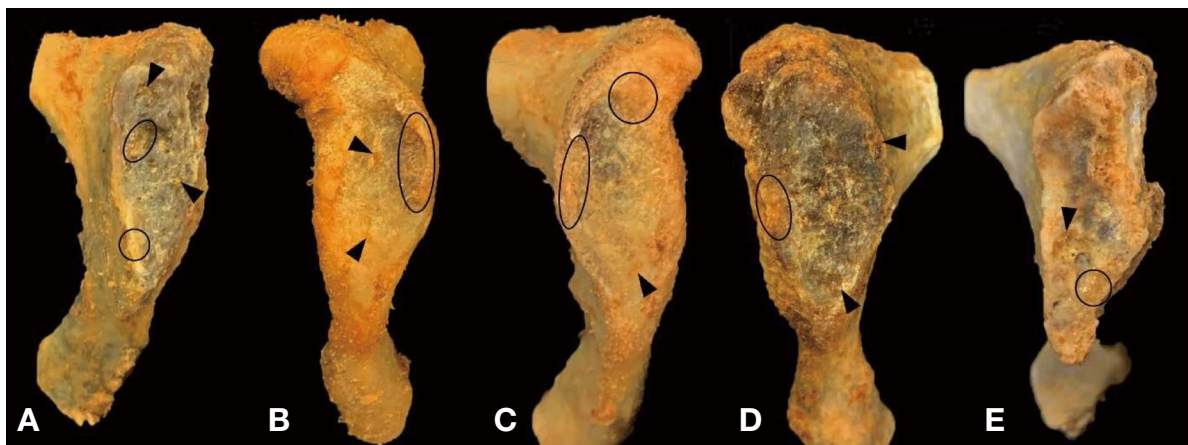


Fig. 1. The pubic symphyseal surface according to differences in maceration method. (A) Distilled water, 90°C, 72 hours, (B) 1% Homestar[®], 90°C, 72 hours, (C) 10% Homestar[®], 90°C, 72 hours, (D) 1% Yuhangen[®], 90°C, 72 hours, (E) 10% Yuhangen[®], 90°C, 72 hours. The areas where maceration is incomplete and soft tissues remain was marked with arrowheads and circles.

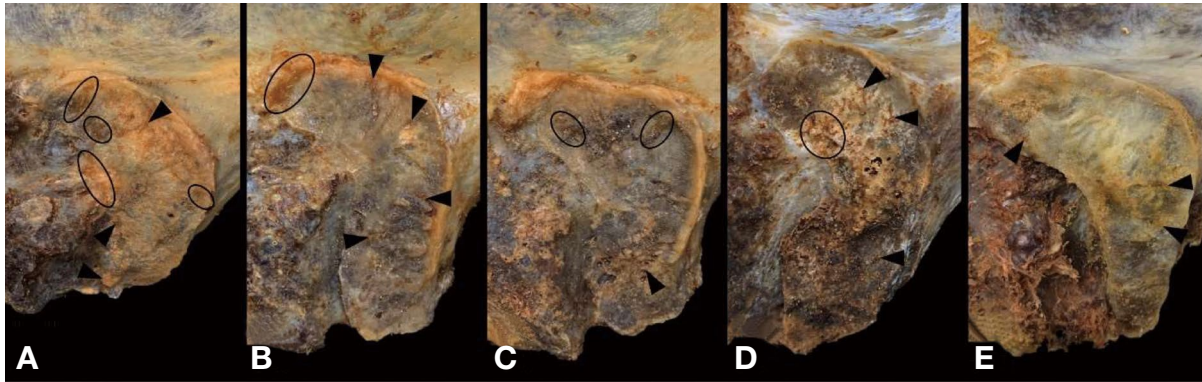


Fig. 2. The auricular surface of ilium according to differences in maceration method. (A) Distilled water, 90°C, 72 hours, (B) 1% Homestar®, 90°C, 72 hours, (C) 10% Homestar®, 90°C, 72 hours, (D) 1% Yuhangen®, 90°C, 72 hours, (E) 10% Yuhangen®, 90°C, 72 hours. The areas where maceration is incomplete and soft tissues remain was marked with arrowheads and circles.

진 부위에서 연조직이 제거되지 않고 남아 있는 것이 관찰되었으며, 연화 효과가 가장 낮았다.

1% 비산성/무표백 세제를 이용한 경우 증류수보다 연조직 제거가 좀 더 쉽고 연화 효과가 다소 향상되었으나, 굴곡지고 파인 부위에서는 부분적으로 제거되지 않은 연조직이 남아 있었다(Fig. 2B). 뼈표면의 색상 변화는 증류수와 큰 차이가 없었다. 10% 비산성/무표백 세제에서는 1%보다 연조직이 더 흐물거리 뼈막분리기를 이용하여 연조직을 제거가 더 쉬웠으나, 굴곡지고 파인 부위에서는 제거되지 않은 연조직이 남아 있었고, 뼈표면의 색상 또한 큰 차이가 없었다(Fig. 2C).

산소계 표백 세제에서는 연화 효과가 증류수와 비산성/무표백 세제보다 뛰어났으며, 1%에서도 대부분의 연조직이 제거되었다(Fig. 2D). 깊게 파인 부위에서는 연조직이 일부 잔존해 있는 것이 확인되었다. 뼈표면 색상은 증류수와 비산성/무표백 세제와 거의 동일하였으며, 뼈표면의 손상은 관찰되지 않았다. 10% 산소계 표백 세제에서는 12시간만 삶아도 연조직이 대부분 제거되었으며, 표면은 가장 밝은 색을 띠었다(Fig. 2E). 거의 대부분의 꺾바퀴면 표면의 연화가 이루어졌으며, 굴곡지고 파인 부분 일부에서 연조직이 발견되었으나, 건조 후 치과용 탐침(dental explorer)이나 치석제거기(dental scaler)로 긁어내면 표면 손상 없이 제거되었다.

고 찰

뼈대학(osteological)적 연구를 목적으로 뼈에서 연조직을 제거하는 것은 동물학, 인류학, 법의학 분야에서 많이 사용된다. 곤충, 화학물질, 효소 등 여러 가지 방법과 물질을 사용하

여 조직을 연화(maceration)하고 뼈를 세척(cleaning)하는 방법이 있지만, 이 중 일상에서 쉽게 구할 수 있는 세제에서 표면 연구, 분석을 위한 가장 효율적인 연화 방법을 탐색하고자 하였다. 두덩뼈 두덩결합면[12]과 엉덩뼈 꺾바퀴면[13]은 골반뼈의 한 부분으로 우리 몸의 뼈대 중에서 나이를 추정할 수 있는 대표적인 부분이기도 하다. 이 부위는 적은 면적이지만 표면이 거칠고 울퉁불퉁하며 복잡한 구조를 가지고 있다. 골반뼈 주변에는 근육, 연골, 인대 등 다양한 해부학적 구조물이 붙어 있다. 다양한 실험 변수를 적용할 수 있다는 점에서 두덩뼈 두덩결합면과 엉덩뼈 꺾바퀴면을 연구 대상으로 선정하였다.

증류수는 단순히 연조직이 열에 장시간 삶아지는 연화 방법으로 연조직이 흐물해지는 것 외에는 큰 변화는 없었으며, 일부 인대, 연골의 제거가 쉽게 이루어지지 않았다. 또한 굴곡지고 파인 세밀한 부분까지 연화가 되지 않았다. 그에 비해 탈지제가 함유된 비산성/무표백 세제(홈스타®)에서는 증류수보다 연조직이 더 흐물해져 뼈막제거기로 쉽게 연조직을 제거할 수 있었다. 또한 뼈대의 상태에 따라 증류수로 연화를 진행한 것보다는 색이 조금 밝아지기도 했다. 그러나 세제의 농도 변화와 뼈대의 색이 큰 차이가 없었으며, 연조직이 제거되는 정도도 비슷하였다. 비산성/무표백 세제(홈스타®)보다 산소계 표백 세제(유한젠®)에서는 다른 군과 비교하여 더 밝은 색의 뼈대를 얻을 수 있었다. 1% 산소계 표백 세제에서는 뼈표면의 색이 큰 변화를 보이지 않았지만 10%에서는 12시간만 삶아도 더 밝아진 것을 확인할 수 있었다(Figs. 1 and 2). 또한 산소계 표백 세제 10%에서 삶은 경우에는 12시간 삶았음에도 연조직이 거의 다 제거되었다(Fig. 2E). 이는 과산화수소의 함유에 따른 차이로 보인다.

산소계 표백 세제는 장시간 삶을수록 뼈대의 색이 밝아지

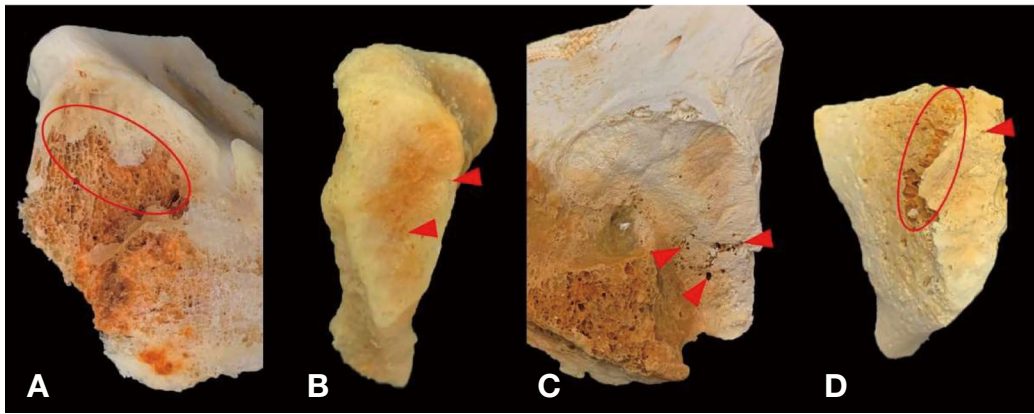


Fig. 3. In the case of simmering for 72 hours with 10% oxygen-based bleach (Yuhangen[®]). (A, B) 87-year-old male specimen auricular surface of ilium and pubic symphyseal surface, (C, D) 88-year-old female specimen auricular surface of ilium and pubic symphyseal surface. The areas where bone has been lost was marked with arrowheads and circles.

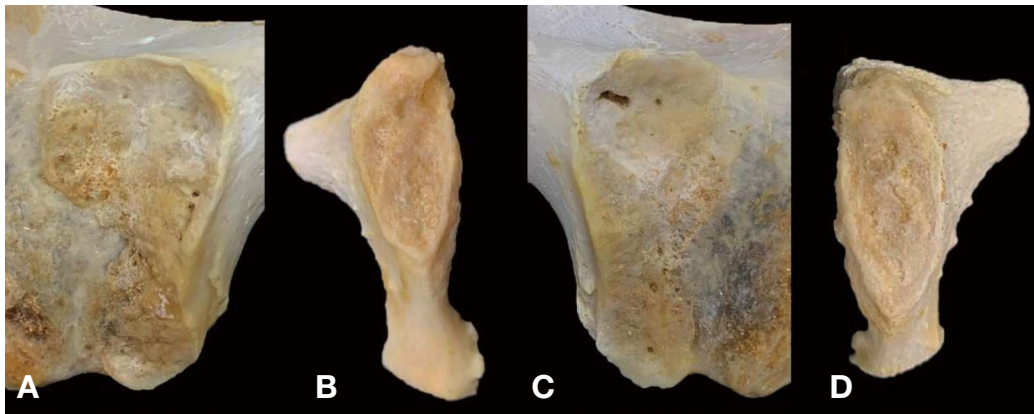


Fig. 4. Simmering with 10% oxygen-based bleach for 12 hours in a fresh cadaver. In 51-year-old male specimen (A, B) left side auricular surface of ilium and pubic symphyseal surface, (C, D) right side auricular surface of ilium and pubic symphyseal surface.

며 연조직을 따로 제거하지 않아도 될 정도로 연화, 세척이 용이했다. 10% 산소계 표백 세제(유한젠[®])로 72시간을 삶은 경우에는 두덩뼈와 엉덩뼈 모두 하얀색, 연노랑색(상아색)에 가까워졌으나 뼈가 매우 건조해지고 부서지며 표면이 온전하지 않았으며, 에탄올 및 건조 과정이 계속될 때마다 뼈대 일부분이 계속 바스러져 뼈대와 그 표면이 분석과 장기간 보관이 불가능하고 온전하게 유지하기 어려웠다(Fig. 3).

10% 산소계 표백 세제를 활용한 본 연구의 연화 방법은 향후 법의학 및 인류학 연구에서 유용하게 적용될 가능성이 크다. 법의학에서는 범죄 현장에서 수집된 뼈 표본의 연조직 제거와 손상 분석을 보다 신속하고 효율적으로 수행하는 데 기여할 수 있을 것으로 보인다. 특히, 12시간이라는 짧은 처리 시간은 시간 민감성이 높은 법의학 조사에서 활용도가 높을 것으로 기대된다. 인류학 분야에서도 뼈대 표본 제작 과정

에서의 시간 및 비용 부담을 줄이고, 표면 손상을 최소화함으로써 연구용 표본의 품질 유지에 도움이 될 가능성이 있다. 또한, 본 연구는 국내에서 쉽게 구할 수 있는 세제를 사용하여 실용성과 접근성을 높였다는 점에서 현장 실무와 학문적 연구 모두에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 산소계 표백 세제(유한젠[®])는 과산화수소(H₂O₂)를 함유하고 있어 연화 및 세척 후 뼈대 표면 연구에는 용이할 수 있으나 디옥시리보핵산(deoxyribonucleic acid, DNA)을 추출하여 분석하는 연구 진행을 위해서는 검증이 필요하다. Steadman 등[3]은 과산화수소 3%를 이용하여 연화가 이루어진 뼈대에서는 DNA 증폭을 확인하지 못하였으나, 탄산나트륨이 들어 있는 세탁세제(Biz[®])에서는 DNA 증폭이 일부 되는 것을 확인한 바 있다. 본 연구에서 사용된 산소계 표백 세제는 과산화수소 4.5%를 함유하고 있고, 최대 사용된 농도

는 0.45%였기 때문에 DNA 추출 및 증폭 가능성에 대한 연구가 더 필요하다.

고정된 시신과 고정되지 않은 신선시신(fresh cadaver)을 비교한 결과, 신선시신의 경우 동일한 조건(10% 산소계 표백 세제, 90°C, 12시간)에서 뼈 표면이 더 밝아지고 남은 연조직도 현저히 적은 것으로 확인되었다(Fig. 4). 이는 신선시신이 고정시신보다 뼈를 삶기 전에 뼈막과 연조직이 더 쉽게 제거되기 때문으로 판단된다.

본 연구에서 10% 산소계 표백제는 연화 효과와 시간 효율성 측면에서 가장 우수한 결과를 나타냈다. 특히, 90°C에서 12시간 동안 처리했을 때 두덩결합면과 엉덩뼈 굽바퀴면 모두에서 연조직 제거가 거의 완벽히 이루어졌으며, 뼈 표면의 색 또한 밝고 깨끗하게 유지되었다. 이는 짧은 시간 안에 높은 연화 효과를 나타낸다는 점에서, 기존의 증류수나 비산성/무표백 세제를 사용한 방법보다 훨씬 효율적인 것으로 확인되었다.

또한, 시신의 상태(고정, 신선)와 뼈대 부위의 구조적 특성, 거친 부분의 분포 비율을 고려해 산소계 표백 세제(유한젠®; 과산화수소 4.5% 함유) 10%로 12시간 전후로 시간을 조절하여 연화를 진행한다면, 가장 효율적인 뼈 연화 및 세척을 수행할 수 있을 것으로 보인다.

REFERENCES

- Mairs S, Swift B, Ritty GN. Detergent an alternative approach to traditional bone cleaning methods for forensic practice. *Am J Forensic Med Pathol.* 2004;25:276-84.
- King C, Birch W. Assessment of maceration techniques used to remove soft tissue from bone in cut mark analysis. *J Forensic Sci.* 2015;60:124-35.
- Steadman DW, DiAntonio LL, Wilson JJ, Sheridan KE, Tammariello SP. The effects of chemical and heat maceration techniques on the recovery of nuclear and mitochondrial DNA from bone. *J Forensic Sci.* 2006;51:11-7.
- Husch C, Berner M, Goldammer H, Lichtscheidl-Schultz I. Technical note: A novel method for gentle and non-destructive removal of flesh from bones. *Forensic Sci Int.* 2021;323:110778.
- Rennick SL, Fenton TW, Foran DR. The effects of skeletal preparation techniques on DNA from human and non-human bone. *J Forensic Sci.* 2005;50:1016-9.
- Simonsen KP, Rasmussen AR, Mathisen P, Petersen H, Borup F. A fast preparation of skeletal materials using enzyme maceration. *J Forensic Sci.* 2011;56:480-4.
- Horie CV, Murphy RG. Conservation of Natural History Specimens, Vertebrates: Proceedings of the Short Course at Manchester University. Manchester: University of Manchester; 1988.
- Hefti E, Trechsel U, Rüfenacht H, Fleisch H. Use of dermestid beetles for cleaning bones. *Calcif Tissue Int.* 1980;31:45-7.
- Carter DJ, Walker AK. Care and conservation of natural history collections. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1999.
- Mann RW, Berryman HE. A method for defleshing human remains using household bleach. *J Forensic Sci.* 2012;57:440-2.
- Couse T, Connor M. A comparison of maceration techniques for use in forensic skeletal preparations. *J Forensic Investigation* 2015;3:6.
- Brooks S, Suchey JM. Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Hum Evol.* 1990;5:227-38.
- Buckberry JL, Chamberlain AT. Age estimation from the auricular surface of the ilium: a revised method. *Am J Phys Anthropol.* 2002;119:231-9.

간추림 : 뼈에서 연조직을 제거하는 연화(maceration) 기술은 법의학과 인류학 연구에서 필수적으로 사용되는 방법으로, 범죄 현장 분석, 생물학적 프로파일 작성, 표본 제작 등 다양한 목적을 위해 활용된다. 하지만, 특히 뼈대 표면 연구를 위한 표준화된 연화 방법은 여전히 부족하며, 기존의 방법들은 시간 소요, 비용, 표면 손상 등에서 한계가 있었다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하고자, 한국에서 쉽게 구할 수 있는 비산성/무표백 세제와 산소계 표백 세제를 활용하여 효율적이고 실용적인 연화 방법을 탐색하였다. 실험은 90°C에서 12시간 및 72시간 동안 진행되었으며, 한국인 고정시신 42구, 신선시신 1구의 골반뼈를 대상으로 각각의 연화 효과를 비교하였다. 연구 결과, 비산성/무표백 세제는 증류수보다 연화 효과가 다소 우수했으며, 연조직 제거가 더 용이하였다. 그러나 색 변화나 전체적인 표면 밝기에는 큰 차이를 보이지 않았다. 반면, 산소계 표백 세제는 연조직 제거와 뼈 표면의 밝기 면에서 두 방법보다 우수한 결과를 나타냈다. 특히, 10% 산소계 표백 세제는 90°C에서 12시간 이내에 연조직을 거의 완벽히 제거하며, 뼈 표면을 밝고 깨끗하게 유지하는 데 탁월한 성과를 보였다. 이는 기존의 증류수나 비산성/무표백 세제를 사용하는 방법보다 시간과 효율성 면에서 매우 뛰어난 것으로 확인되었다. 그러나 동일한 조건에서 72시간 동안 처리한 경우, 뼈 표면에 심각한 손상이 발생하여 장기적인 표본 보관이나 표면 분석에 한계가 있을 수 있음을 보여주었다. 본 연구는 10% 산소계 표백 세제가 고정된 시신에서 연화와 표면 정리를 위한 최적의 방법임을 입증하였다. 또한, 신선시신이 고정된 시신보다 연화 효과가 더 우수했음을 확인하였으며, 이를 통해 시신 상태(고정, 신선)와 뼈대 구조적 특성에 따라 연화 조건을 조정해야 할 필요성을 제안한다. 본 연구는 법의학 및 인류학 연구에서 뼈 연화와 표본 제작 과정을 효율화하고, 국내 환경에 적합한 실용적인 방법을 제시함으로써 관련 분야의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

찾아보기 낱말 : 뼈 연화, 사람의 뼈, 세제 연화, 표면 분석