

# 세척 후 수침고목재의 물리·화학적 특성 변화

차미영 | 이광호\* | 김윤수\*

국립광주박물관 보존과학실  
\*전남대학교 임산공학과

## Alteration of Physical and chemical Characteristics of Waterlogged Archaeological Woods After Cleaning

Cha Mi-Young | Lee Kwang-Ho\* | Kim Yoon-Soo\*

Conservation Science Laboratory, Gwangju National Museum, Gwangju, 500-150, Korea  
\* Dept. Forest Products and Technology, Chonnam National University, Gwangju, 500-757, Korea

Corresponding Author : cmy0403@hanmail.net

**초록** 저습지에서 출토된 상수리나무를 재료로 세척에 따른 수침고목재 내 이물질의 제거 효과와 물리·화학적 특성 변화를 파악하였던바 얻어진 결과는 다음과 같다.

수침고목재에 나타나는 대부분의 무기성분은 수침고목재가 매몰된 토양환경의 성분과 거의 동일하였다. 보존처리 현장에서 적용하고 있는 세척방법 즉, 도구법, 탈기법, EDTA법 및 초음파세척법을 적용하여 독립적 혹은 연속적 방법으로 수침고목재를 세척하였다. 독립세척의 경우 도구법에 의해 표면에 고착된 이물질이 효과적으로 제거되었고, EDTA 처리에 의해 표면 색상이 밝아졌다. 그러나 탈기법과 초음파에 의한 세척효과는 나타나지 않았다. 연속 세척의 경우 1단계 세척(도구법)은 독립세척과 동일한 효과를 얻었으며, 2단계 세척인 탈기법은 수침고목재 내에 있는 이물질을 제거하지 못했다. 탈기법이 무기물의 제거에는 적절하지 않았지만, 탈기 후 수침고목재가 균일화되어 치수안정제의 침투를 용이하게 하는 역할은 결코 무시할 수 없을 것으로 사료된다. 3단계 EDTA처리는 수침고목재 내의 철분(Fe)을 제거함으로써 수침고목재의 색상이 밝아지는 효과를 얻을 수 있었다. 4단계 세척은 3단계 세척시 목재 내에 잔류한 약품(Na)과 미세 이물질의 제거에 효과적이었다.

**중심어:** 수침고목재, 독립세척, 연속세척, 도구세척, 탈기, EDTA 처리, 초음파 세척, 이물질

**ABSTRACT** Alteration of physical and chemical characteristics and the effect of removal of mineral substances in waterlogged archaeological woods by different cleaning processes were examined using oak wood(*Quercus* spp.) that was excavated from wetland near Gwangju, Korea. Cleaning methods employed in the present work were ① tools, ② deaeration, ③ EDTA and ④ ultrasonic cleaning, which are being currently applied in the field of preservation treatment. Cleaning process were performed independently or continuously.

Composition of mineral substances in the waterlogged archaeological wood was almost same as the that of soil in which waterlogged archaeological woods were buried. In case of independent cleaning, tools cleaning efficiently removed the mineral substances on surface. Surface color become brighter after cleaning with EDTA. In contrast, deaeration and ultrasonic cleaning did not show any significant removal of mineral substances. In continuous cleaning process, tool cleaning as the first step treatment showed the same effect as shown in independent cleaning. Although deaeration as the second step cleaning did not remove the mineral substances, it could be assumed to contribute the infiltration of dimensional agents by homogenization of wood. EDTA treatment (the third step cleaning) removed the iron(Fe) and increased the whiteness of wood color. The ultrasonic treatment (the fourth step cleaning) removed the sodium(Na) remained after EDTA treatment and the fine mineral substances.

**Key word :** waterlogged archaeological wood, independent cleaning, continuous cleaning, tools cleaning, deaeration cleaning, EDTA treatment, ultrasonic cleaning, mineral substance

## 1. 서론

수침고목재는 해양, 저습지, 토탄층 등에 장기간 매장되어 있는 동안 목재의 주성분이 분해 유실되고, 수분이 세포벽에 충전된다. 오랜 매장기간동안 수침고목재 표면 및 내부는 무기물을 포함한 다양한 이물질이 침착되며 이와 같은 이물질은 치수안정제의 침투 및 확산에 장애를 주고 보존처리시 사용하는 항온수조에 장착된 순환 펌프 등의 기기에 손상을 주어 기기의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 이물질을 완전히 제거시키지 못할 경우 보존처리 후 재색이 달라져 이질감을 느끼게 하는 요인이 된다. 이와 같은 문제점들은 정교한 세척을 통해 상당부분 해결할 수 있다.

현재 수침고목재의 세척방법으로 크게 도구, 탈기, EDTA 처리 및 초음파세척법이 적용되고 있다. 이 4가지 세척방법은 수침고목재의 상태 및 보존처리 현장의 여건에 따라 독립적 또는 연속적으로 적용된다.

물리적인 세척방법 중 대표적인 도구세척은 수침고목재 뿐만 아니라 토기, 도기, 청동, 철제, 복식류 등 발굴 출토품의 표면세척에 널리 적용되고 있는 방법이다.<sup>2</sup> 도구세척은 세척하고자 하는 대상보다 경도가 낮은 재질의 도구를 사용하며 이물질이 완전히 제거되지 않더라도 표면이 손상되지 않으며 고고학적 자료가 사라지지 않을 정도로 세척하는 것을 원칙으로 한다. 세척 도구로는 붓, 분무기, 이쑤시개, 면봉, 치과용 소도구 등이 사용되고 있다. 유물의 표면에 고착된 mud, silt의 제거는 흐르는 물에서 붓으로 세척한다. 그러나 표면에 열화가 많이 진행된 유기물은 고정된 용기 안에서 세척을 하거나 스프레이를 사용한다.

탈기법은 주로 aspirator와 진공흡침기를 사용하며 치수안정제를 주입할 때 방해 요인으로 작용하는 목재 내의 air pocket(bubble)을 제거함으로써 수침고목재를 완전 포수재로 만들어 주는 역할을 한다. 탈기를 통해 목재 내의 기포가 제거될 뿐만 아니라 목재 내 이물질 제거에도 효과가 있다.

EDTA 처리는 EDTA와 목재 내의 금속양이온이 킬레이트를 형성하여 목재와 격리시켜 목재 내 무기성분의 제거에 효과가 있다.<sup>3</sup> EDTA는 수침고목재 이외에도 무기물인 도자기, 유리, 석재에서의 얼룩 제거와 유기물에 고착된 금속 부식 및 얼룩을 제거하기 위해 사용되고 있

다.<sup>4,5</sup> 수침고목재의 경우 목재의 본래 색을 되돌리기 위해 1% 또는 2% EDTA-2Na를 사용하고 있다.<sup>6,8</sup>

초음파세척은 초음파에 의해 가속된 물분자가 피세정 물에 충격을 주어 피세정물 표면의 이물질을 박리시킨다. 초음파세척은 높은 주파수에서 효과가 있으며 부착력이 약하고 매우 미세한 이물질의 박리에 유효하다. 문화재 보존의 경우 해양에서 출토된 도자기의 염분 및 유약 표면층의 물이끼와 빙얼 사이의 이물질의 제거,<sup>9</sup> 금속 유물의 부식인자 제거와 탈염처리,<sup>10,11</sup> 출토 직물의 이물질 제거,<sup>12,13</sup> 목재내부의 미세한 오염물질과 EDTA 처리 후 잔류EDTA의 제거를<sup>8</sup> 위해 초음파 세척기를 사용한 사례들이 보고되고 있다.

수침고목재 보존처리의 전처리 과정으로서 세척의 중요성에 대한 인식이 확산되고 있음에도 불구하고 세척이 수침고목재에 미치는 긍정적 혹은 부정적 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 1) 수침고목재가 매장되어 있던 토양 분석을 통해 매장환경과 수침고목재 내 이물질과의 관계를 살펴보고, 2) 세척과정을 세분하여 각각의 과정에서 발생하는 목재 내 이물질과 이에 따른 용해 가능 성분의 이동을 추적하고, 3) 이에 따른 목재의 표면을 관찰함으로써 형태의 안정, 재색 및 질감의 재현을 향상시키는 세척방법에 대하여 고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

공시재료로 사용된 수침고목재는 광주광역시 동림동 저습지에서 출토된 수침고목재로서, 지름 10cm 이상인 상수리나무를 3cm 두께로 연속적으로 잘라 28개의 disk를 만들어 재료로 사용하였다. 매장환경 분석을 위한 토양시료는 공시재료와 인접한 곳에서 채취하였다. 모든 실험은 3반복을 원칙으로 하였으며, 실험결과의 편차가 큰 실험은 재 실험을 통해 결과를 산출하였다.

### 2.2 방법

#### 2.2.1 토양 구성성분 및 입도분석

회화시킨 토양을 SEM-EDX(model : Noran SII 1609)를 사용하여 토양 내 무기성분을 조사하였다. 토양의 입도분석은 분석용 토양에 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 가하여 유기물을 제거한 후 10% HCl을 가하여 탄산염을 제거하였다. 토양을 습식채질 후 건조하여 모래보다 큰 조립질 입자의 입도는 Roe-Tap Sieve Shaker를 사용하였고, 모래보다 작은 세립질 입자는 Pipette Method를 적용하여 분석하였다.<sup>14-17</sup>

2.2.2 수침고목재의 세척

세척은 수침고목재의 보존처리시 적용하고 있는 세척 방법을 4가지로 분류하였으며 이를 독립적 또는 연속적으로 적용하였다(Table 1). 독립세척은 도구세척, 탈기, EDTA 처리 및 초음파세척을 각각 독립적으로 실시하는 것으로 각각의 세척효과를 비교하고자 하였다. 도구세척은 붓, 분무기, 이쑤시개, 치과용 소도구 등으로 수침고목재가 손상되지 않는 범위 내에서 세척하였다. 탈기는 수침고목재를 증류수에 침지한 후 aspirator를 사용하여 -70~-75cmHg의 조건에서 30분간 수침고목재를 탈기, 포화시켰다. EDTA 처리는 2% EDTA-2Na(w/v) 용액에 72시간 동안 침지시키고 이어 잔류 약품(EDTA-2Na)의 제거를 위해 증류수에 침지한 후 용액의 pH가 증류수의 pH와 같아질 때까지 증류수를 교체하였다. 초음파세척은 수침고목재를 물속에 침지한 후 초음파 세척기(BRASION 8210)를 사용하여 40kHz에서 30분간 세척하였다.

연속적인 세척방법은 4가지의 세척방법인 도구, 탈기, EDTA 및 초음파세척을 순서대로 각 단계까지 연속적으로 적용하여 세척하였다.

2.2.3 세척에 의한 시료의 중량변화

각 단계의 세척 전과 세척 후 시료의 중량을 측정하였다.

$$\text{중량 감소율(\%)} = \frac{W_a - W_b}{W_b} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

여기에서, W<sub>a</sub>: 세척 전 중량(g)  
W<sub>b</sub>: 세척 후 중량(g)

2.2.4 목재의 색상 변화

세척 전, 후 최외층인 변재 및 최외층 으로부터 3cm 에 위치한 심재의 색상변화를 측정하였다(Figure 1). 색도계(MINOLTA Reader CR-10)를 사용하여 명도(L\*), 적색도(a\*), 황색도(b\*)의 변화를 확인한 후 국제 조명위원회(CIE, Commission Internationale de l'Eclairage)에서 정한 L\* a\* b\* 표색계에 의한 색차(ΔE\*<sub>ab</sub>)를 KS A 0067의 규정에 따라 산출하였다.<sup>18</sup>

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서, ΔE\*<sub>ab</sub>: L\* a\* b\* 표색계에 의한 색차

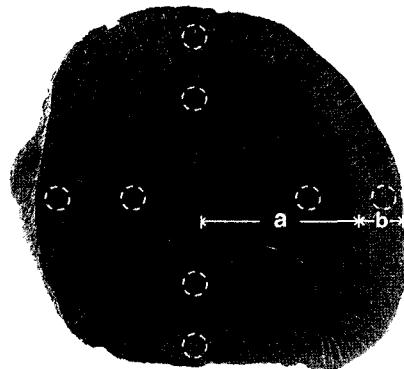


Figure 1. The points for chromaticity measurement. (a: heartwood, b: sapwood)

2.2.5 함수율 및 밀도

공시재료의 함수율 및 밀도를 측정하기 위해 최외층 으로부터 내층까지 1cm 간격으로 시료를 채취하였다

Table 1. The methods of cleaning for waterlogged archaeological woods.

Cleaning methods	Classification	Note
Tools	First step	Mechanical method Brush, sprayer, tooth picks
Deaeration	Second step	Mechanical method Saturation of specimen with aspirator
EDTA-2Na	Third step	Chemical method 2%(w/v) EDTA-2Na for 72 hr.
Ultrasonic	Fourth step	Mechanical method 30 min. in frequency 40kHz

(Figure 2). 수침고목재의 밀도는 채취한 시료의 중량을 측정 한 후 증류수를 채운 비이커를 저울 위에 올려놓고 공시재료에 침을 꼽은 후 준비된 비이커에 시료를 띄워 중량을 측정하여 부력을 이용한 중량 변화 정도로 목재의 용적을 측정하여 산출하였다.<sup>19</sup>

$$\rho_{SS} = \frac{M_{SS}}{V_{SS}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots (3)$$

여기에서,  $\rho_{SS}$  : 수침목재의 밀도  
 $M_{SS}$  : 수침목재의 질량(g),  
 $V_{SS}$  : 수침목재의 부피(cm<sup>3</sup>),  
 부력에 의한 수침고목재의 질량

건전재의 최대흡수율은 증류수에 시료를 침지한 후 압박 탈기하여 포수상태로 만든 후 포수재의 중량을 측정하고 시료의 전건중량을 측정하여 흡수율을 산출하였다. 그러나 공시재료는 세척 후 시료를 채취하여 중량을 측정한 다음 전건중량을 측정한 후 흡수율을 산출하였다.

$$MC(\%) = \frac{M_{swet} - M_{ms}}{M_{ms}} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

여기에서, MC : 흡수율(%),  
 $M_{swet}$  : 시료의 질량(g),  
 $M_{ms}$  : 전건 질량(g)

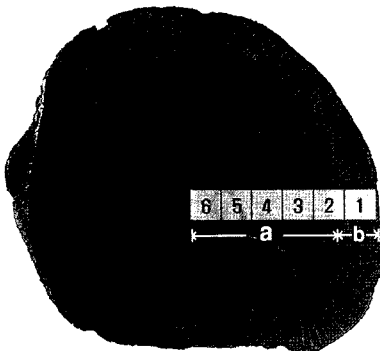


Figure 2. The collections of wood materials. (a: heartwood, b: sapwood)

2.2.6 무기물 분석

각각의 세척과정에 따른 목재 내의 무기성분의 변화를 알아보기 위해 회분 함량을 측정하였으며, 이에 얻어

진 회분의 성분을 분석하였다.

회분은 세척 후 Figure 2에서 명시한 지점에서 1×1×3cm의 크기로 채취한 후 전건중량을 측정한 다음 600±25℃에서 5시간동안 회화시킨 후 데시케이터에서 방냉 후 칭량하여 다음 식에 의해 산출하였다. 또한 회분의 구성성분은 SEM-EDX(Noran SII 1690)로 분석하였다.

$$\text{회분}(\%) = \frac{W}{S} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

여기에서, W : 시료의 전건중량(g),  
 S : 회분의 중량(g)

3. 결과 및 고찰

3.1 매장환경

3.1.1 토양의 구성성분

일반적으로 토양 구성성분은 O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K가 주를 이루며, Ti, P, Mn, S, Cl은 1% 미만이다.<sup>21</sup> 본 실험에 공시된 토양은 Si, Al, Fe의 함량은 높았으며 K, Ca, Ti, Mg, Na의 함량은 낮았다(Figure 3). 토양 성분의 조성은 세척과정 중 특정 성분의 용출 또는 잔류 정도의 확인 및 목재 내에서의 축적을 연구하는데 중요한 기초 자료가 된다.

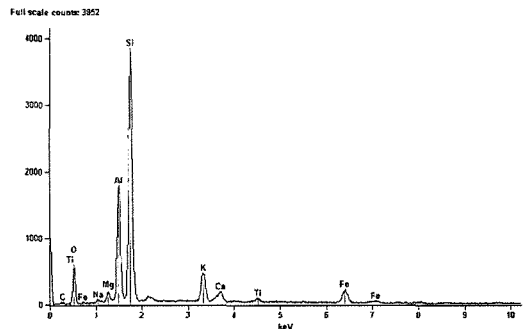


Figure 3. SEM-EDX on the composition of soil after removing of organic compounds.

3.1.2 토양의 입도분석

일반적으로 입도는 sand는 2000~50μm, silt는

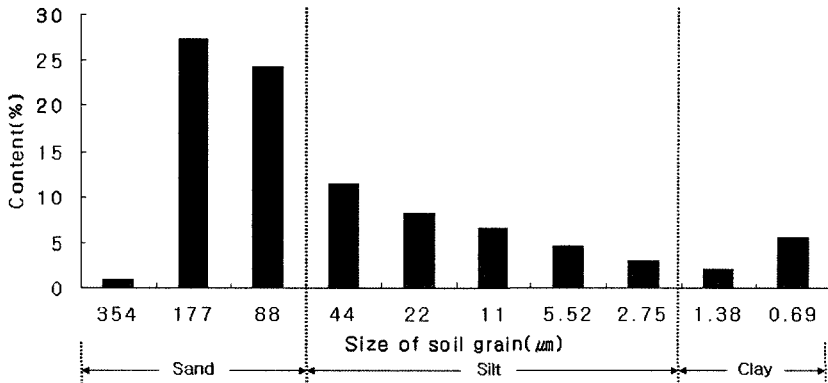


Figure 4. Histogram of the size of soil grain.

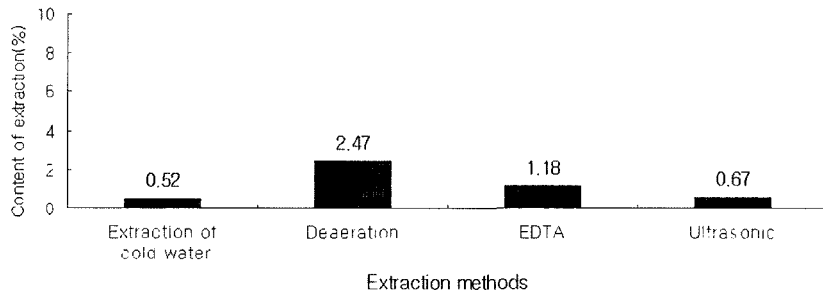


Figure 5. Changes of extractives amount from sound wood after cleaning methods.

50~2μm, clay는 2μm 미만으로 정의되는 바,<sup>21</sup> 공시된 토양은 sand 52.92%, silt 34.24%, clay 12.84%의 함량으로 구성되어 있었으며(Figure 4), 미국농무부 삼각도 표법을 적용한<sup>22</sup> 결과 공시된 토양은 사질식양토(sandy clay loam)로 판정되었다.

토양의 입도는 토양이 목재 내로 침투 가능성 및 침투 깊이에 큰 영향을 미친다. 본 실험에서 사용된 상수리나무의 경우 조재 도판의 직경은 250μm, 목섬유 직경이 20 μm 내외이다.<sup>23</sup> 따라서 대부분의 토양 입자는 상수리나무 안으로 침투가 용이하며 그 중 입자의 직경이 작은 것들은 목재 내부 깊숙이 침투할 수 있는 가능성이 있음을 보여 주었다.

### 3.2 세척

#### 3.2.1 세척방법에 따른 시료의 중량변화

건전재 목분(40~60mesh)을 냉수추출, 탈기, EDTA

및 초음파법으로 세척한 후 중량 변화를 조사하였던바 냉수 추출한 목재의 중량감소율은 0.50% 내외였다. 반면 탈기와 EDTA로 처리하였을 경우 중량변화는 각각 2.47%와 1.18%로서 냉수추출의 조건에 비해 각각 5배와 2배에 달했다. 그러나 초음파로 처리하였을 경우는 0.67%로서 큰 차이가 없었다. 이와 같은 결과로부터 냉수추출과 초음파처리하는 목재 내 물질의 추출에 미치는 효과는 적은 것으로 사료된다. 반면 탈기와 EDTA 처리는 목재 내에 존재하는 물질을 상당량 추출하는 것으로 나타났다. 그러나 추출되는 물질이 무엇인지에 대해서는 지속적인 연구가 필요하다.

세척방법에 따른 세척효과는 세척방법에 따라 각각 다르게 나타났다. 즉 독립세척의 경우 도구를 이용한 세척 >초음파세척 >EDTA 처리 및 탈기 순으로 세척량이 많았다(Figure 6). 이와 같은 결과는 발굴 후 시료의 표면에 고착되어 있는 이물질의 제거를 위해서는 각종 붓, 이쑤시개 및 치과용 소도구를 사용하여 수침목재 외층

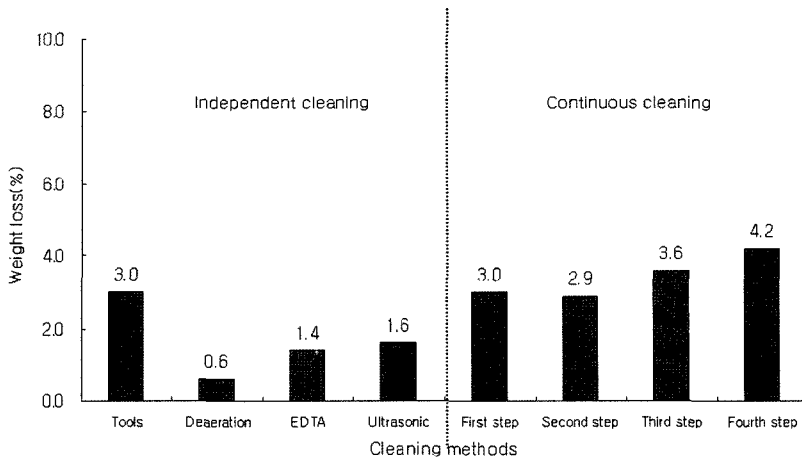


Figure 6. Change of weight loss of wood samples after cleaning methods.

표면에 부착되어 있는 이물질들을 제거하는 것이 효과적임을 시사하였다.

연속적 세척과정에 따른 세척효과는 Figure 6에 나타난 바와 같다. 세척효과가 가장 컸던 도구세척 후에도 2단계, 3단계 및 4단계 세척을 실시할 때마다 세척량이 소량 증가하였다. 이는 세척방법을 달리했을 경우 또 다른 세척효과가 있음을 보여주는 것이라 하겠다. 탈기 시켰을 경우 육안으로 시료의 표면에 이물질이 빠져나오는 것을 확인하였음에도 불구하고 세척량에는 큰 변화가 없었다. 반면 EDTA-2Na 용액에 72시간 동안 시료를 침지해 두었을 경우 시료의 세척량이 약간 증가하였다. EDTA 처리 용액의 색은 처리 중 투명한 색에서 점차 갈색으로 변했다. 이러한 현상은 EDTA-2Na가 목재내의 Fe가 착물을 형성했기 때문으로 해석된다. 초음파세척을 적용한 4단계 세척에서도 세척량이 약간 증가되어 세척 효과가 있음을 보여 줌으로써 1단계, 2단계 및 3단계에서 제거되지 않은 또 다른 물질이 초음파세척에 의해 제거됨을 보여주었다.

연속세척의 경우 세척량의 약 70%가 도구를 이용한 1단계 세척과정에서 세척되었다. 반면 EDTA와 초음파세척에 의한 무기물의 제거는 한계가 있었다. 이와 같은 사실로부터 수침고목재는 초기단계의 세척이 표면에 고착되어 있는 무기물의 제거에 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

### 3.2.2 목재의 색상 변화

세척 후 목재 표면의 색상은 Table 2, 3에 나타난 바와 같다. 명도는 세척 후 증가하였으나 세척 방법에 따라 명도의 변화는 각각 달랐다. 색차( $\Delta E^*_{ab}$ )는 0~0.5는 전문가 식별불가, 0.5~1.5는 전문가 식별가능, 1.5~3.0은 비전문가 식별가능, 3.0~6.0은 현저한 색차로 구분한다. 독립세척의 경우 도구세척과 탈기에 의한 색차는 0.5 미만으로 전문가도 식별 불가능한 수치였으나, 초음파세척은 전문가가 식별 가능한 색차 값을 나타냈다. 특히 EDTA 처리 후 변재의 색차는 2.64로 비전문가도 식별 가능한 범위의 색차였다. 그러나 심재의 경우 0.86으로 변재에 비해 색상 변화가 크지 않았다.

연속세척 후 명도와 적색도는 증가한 반면 황색도는 감소하는 경향을 보였다. 목재 표면의 색변화는 EDTA 처리인 3단계 세척 후에 뚜렷이 밝아진 것을 확인할 수 있었으며, 3단계 세척 후 보다 4단계 세척 후 표면의 색이 더욱 밝아짐을 확인할 수 있었다.

## 3.3 함수율 및 밀도

### 3.3.1 함수율

건전재와 수침고목재의 최대함수율은 Table 4와 같다. 함수율은 위치에 따라 다르게 나타났으나 최외층의 경우 852.3%로 건전재 변재에 비해 최대함수율을 약 9배 정도 높았다. 심재 역시 건전재 함수율에 비해 약 7.7배

Table 2. Changes of color and chrominance on wood surface after independent cleaning.

Cleaning method		Sound wood	Before tools	Tools	Deaeration	EDTA	Ultrasonic
L*	Sapwood	66.3	38.3	38.6	38.5	39.9	38.6
	Heartwood	56.8	37.9	37.9	38.7	39.3	38.0
a*	Sapwood	8.6	0.9	1.2	0.9	2.8	1.0
	Heartwood	7.1	0.5	0.5	0.4	1.0	0.4
b*	Sapwood	10.2	0.5	0.5	0.1	1.7	0.4
	Heartwood	5.5	0.3	0.4	-0.3	0.2	-0.4
$\Delta E^*_{ab}$	Sapwood	-	-	0.39	0.16	2.64	0.85
	Heartwood	-	-	0.05	0.30	0.86	0.13

Table 3. Changes of the color and chrominance on wood surface after continuous cleaning.

Cleaning method		Sound wood	No-cleaning	First step cleaning	Second step cleaning	Third step cleaning	Fourth step cleaning
L*	Sapwood	66.3	38.3	38.6	37.0	38.3	39.5
	Heartwood	56.8	37.9	37.9	36.9	37.5	39.0
a*	Sapwood	8.6	0.9	1.2	1.2	2.8	3.2
	Heartwood	7.1	0.5	0.5	0.4	0.4	1.0
b*	Sapwood	10.2	0.5	0.5	0.8	2.0	1.4
	Heartwood	5.5	0.3	0.4	0.3	0.2	-0.4
$\Delta E^*_{ab}$	Sapwood	-	-	0.39	1.64	2.41	1.37
	Heartwood	-	-	0.05	1.00	0.60	1.62

Table 4. Moisture content of sound wood and waterlogged archaeological wood.

unit : (%)

	Sapwood		Heartwood	
Sound wood	93.8		64.1	
Waterlogged archaeological wood	852.3	725.1	492.7	492.8
			500.4	

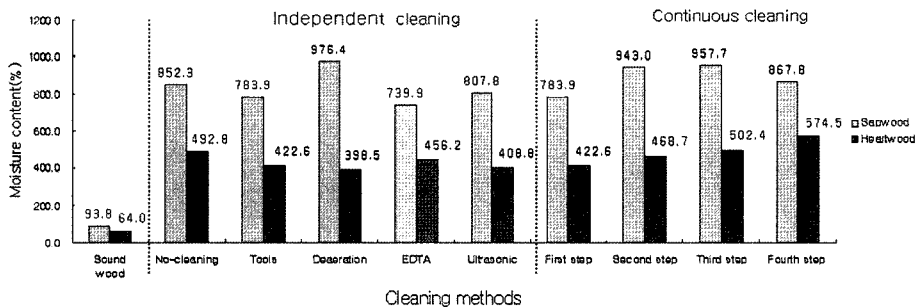


Figure 7. Moisture content of waterlogged archaeological woods after independent and continuous cleaning.

많았다. 이는 수침고목재가 상당히 부후되었음을 나타낸 것이다. 최대함수율로부터 부후 정도는 최외층이 심한 반면, 심재는 부위에 상관없이 부후정도가 비교적 균일

함을 시사하였다.

세척방법에 따른 최대함수율은 비슷하게 나타났으나 탈기 후 최대함수율이 증가하였다(Figure 7). 이는 부후

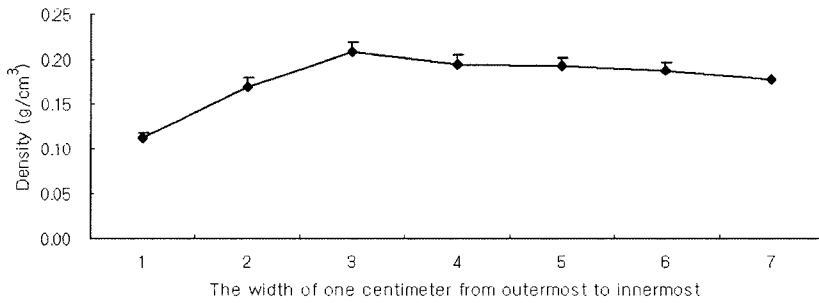


Figure 8. Density of waterlogged archaeological wood from outer part to inner part.

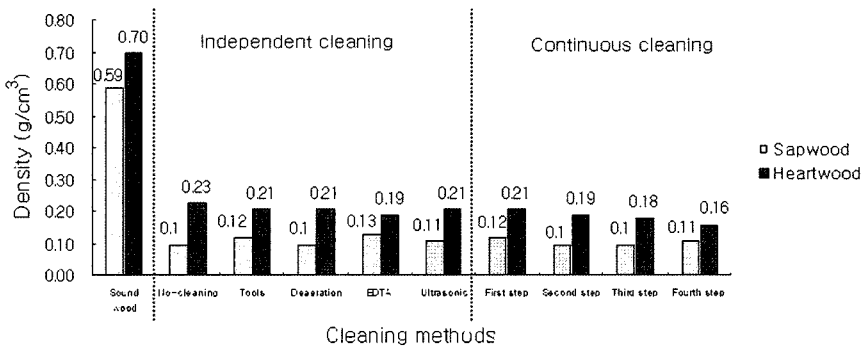


Figure 9. Density of specimen after different cleaning methods.

된 수침고목재에 자리 잡고 있던 air pocket(bubble)이 탈기를 통해 제거되고 그 자리가 물로 대체 되어 최대함수율이 증가한 것으로 목재 내부가 균일화된 것을 시사한다.

### 3.3.2 밀도

수침고목재의 변재와 심재의 밀도는 각각 0.1g/cm<sup>3</sup>, 0.23g/cm<sup>3</sup>였다. 건전재의 변재와 심재의 밀도가 0.59g/cm<sup>3</sup>, 0.70g/cm<sup>3</sup> 측정되었던 바, 공시재료의 밀도는 변재는 83%, 심재는 67% 감소하여 공시 고목재는 크게 부후되어 있음을 보여주었다. 공시재료의 밀도는 최외층이 가장 낮았고 최외층으로부터 3cm 깊이 까지는 밀도가 점차 증가하였으나 3cm 이상에서 밀도는 큰 변화를 보이지 않았다(Figure 8).

독립세척 후 변재와 심재의 밀도 변화는 크지 않았다. 그러나 연속 세척의 경우 변재의 밀도는 동일하였으나 심재의 밀도는 세척이 거듭될수록 미소하나마 감소하였다(Figure 9).

### 3.4 무기물 분석

수침고목재내 회분은 건전재에 비해 변재는 20배, 심재는 7배 많았다(Figure 10). 이러한 결과는 다른 수침고목재의 선행 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다.<sup>24</sup> 건전재의 회분함량이 0.5% 미만인 것과 비교하여 볼 때, 수침고목재의 회분함량의 증가는 매장되어 있던 토양에서 유입된 것으로 해석된다.

수침고목재의 회분량은 세척방법에 따라 차이가 있었다. 독립세척의 경우 EDTA처리를 했을 때 회분의 함량이 가장 적게 나타났다. 이는 EDTA처리가 목재 내의 무기물 제거에 효과적인 방법 중 하나임을 시사하는 것이라 하겠다. 초음파 세척 후 수침고목재의 회분 함량은 다른 세척 방법에 비해 상대적으로 높게 나타났으나, 초음파 세척 하나만으로는 무기물 제거에 한계가 있음을 보여주었다.

연속 세척에 따른 수침고목재내의 무기물 함량은 세척이 진행됨에 따라 점차적으로 감소하는 경향으로 관찰



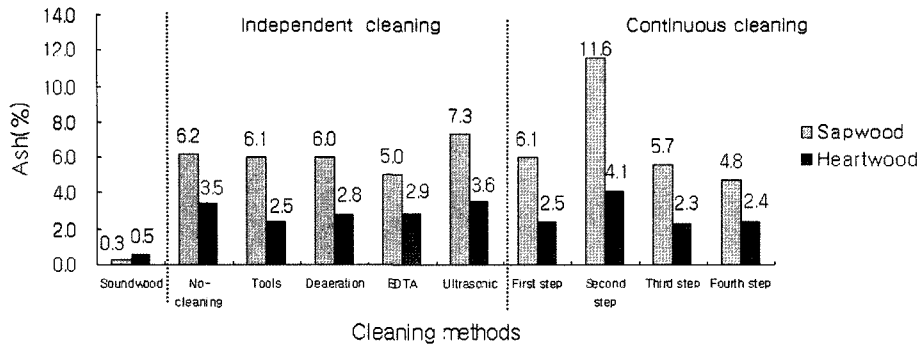


Figure 10. Change in ash content of specimen after different cleaning methods.

되었다. 그러나 2단계 세척 후 무기물 함량이 급격하게 증가되어 나타났는데, 이 같은 현상이 발생한 원인에 대해서는 확실치 않다.

회분의 SEM-EDX 분석결과 건전재의 경우 변재와 심재 관계없이 Ca, Mg이 주성분이었고, 소량의 Mn, Na, Al, Si 등이 관찰되었으며 Fe는 탐색되지 않았다

(Figures 11, 12).

반면 발굴 후 세척되기 직전 수침고목재의 무기물은 Ca, Mn, Fe, Al, S가 주성분 이었다. 이와 같은 경향은 변재와 심재 모두 동일하였다(Figures 13, 14). 따라서 이후에는 심재의 SEM-EDX 데이터를 게재하지 않는다.

세척하기 전의 수침고목재는 건전재에서는 탐색되지

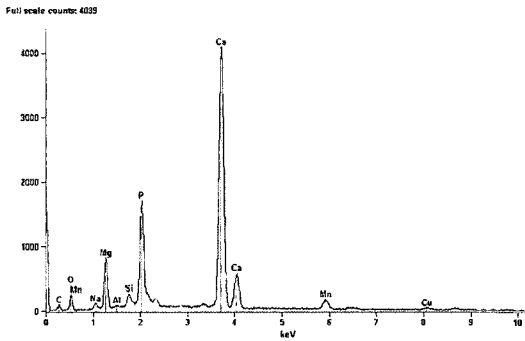


Figure 11. SEM-EDX of sapwood in sound *Quercus* spp.

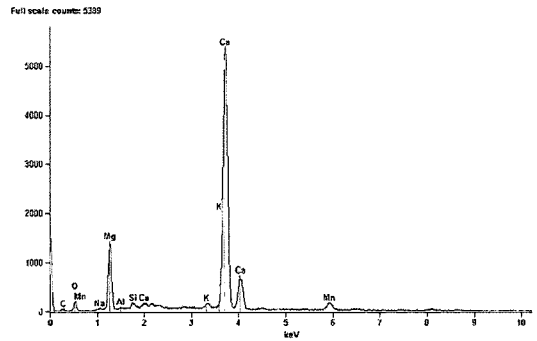


Figure 12. SEM-EDX of heartwood in sound *Quercus* spp.

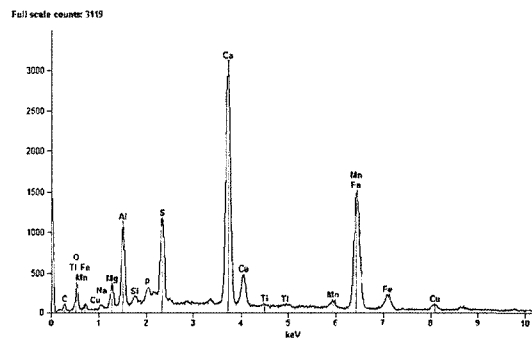


Figure 13. SEM-EDX of sapwood in waterlogged archaeological wood.

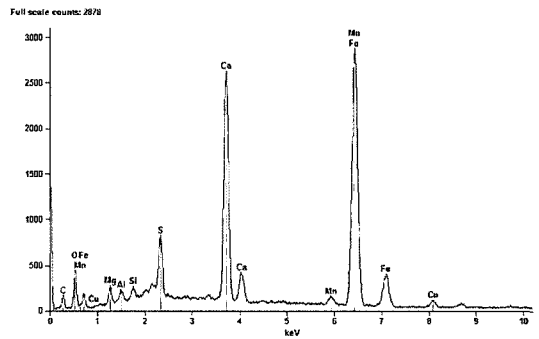


Figure 14. SEM-EDX of heartwood in waterlogged archaeological wood.

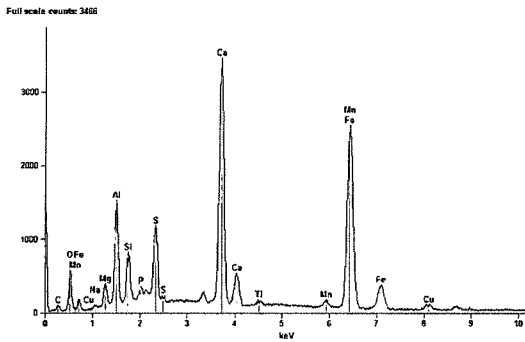


Figure 15. SEM-EDX of sapwood after deaeration cleaning.

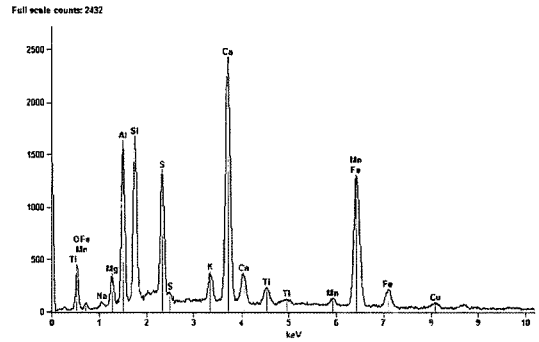


Figure 16. SEM-EDX of sapwood after ultrasonic cleaning.

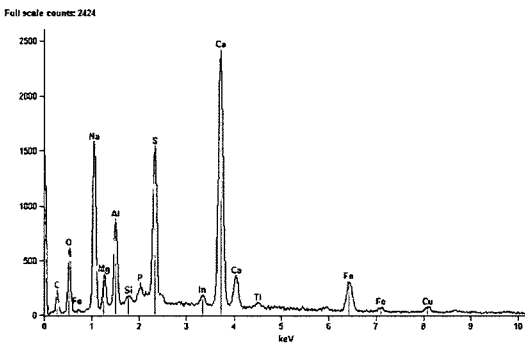


Figure 17. SEM-EDX of sapwood in wood after EDTA cleaning.

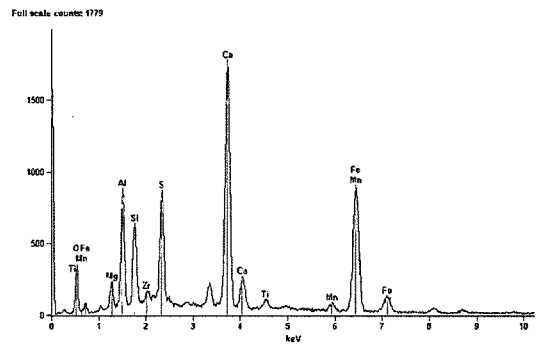


Figure 18. SEM-EDX of sapwood in wood after first step cleaning.

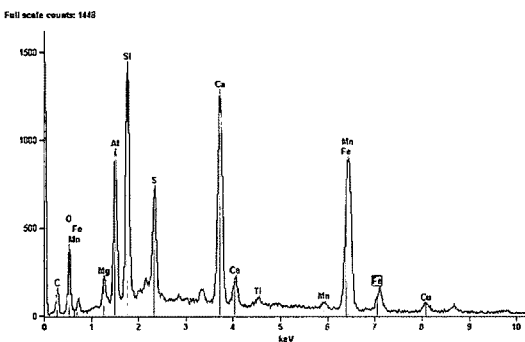


Figure 19. SEM-EDX of sapwood in wood after second step cleaning.

않거나 극히 미량으로 존재했던 Mn, Fe, Al 및 S 성분이 상대적으로 많이 분포하는 것으로 탐색되었다. 공시 토양에서는 Al, Si, Fe가 분포되어 있음은 이미 확인된 바 있다(Figure 3 참고). 따라서 수침고목재에 나타나는 무기 성분들의 대부분은 수침고목재가 매몰된 입지 환경과 깊은 관계가 있음을 보여주었다.

독립적인 세척방법에 의해 수침고목재를 세척할 경우 제거되는 무기 성분은 물리적인 방법과 화학적인 방법에 따라 큰 차이를 보였다. 즉 도구세척(Figure 18), 탈기(Figure 15), 초음파법(Figure 16)에 의한 세척 후 수침고목재 내에 잔존하는 성분은 세척 전 수침고목재에 잔존하는 무기 성분의 비율과 거의 동일하였다(Figures 13, 14).

반면 EDTA로 세척한 경우 앞에서 진술한 물리적인 세척방법보다 Fe의 성분의 분포가 현저히 감소되어 나타났다(Figure 17). 이는 EDTA와 목재 내 철분(Fe)이 킬레이트를 형성함으로써 목재내의 Fe가 제거된 것으로 사료된다. 독립적인 세척은 그 방법이 무엇이든간에 수침고목재 내에 잔존하는 Al, Si, S 성분을 완벽하게 제거시키지 못한 것으로 나타났다.

3단계 EDTA로 처리한 수침고목재의 경우 독립세척에서도 살펴왔듯이 상당량의 Fe가 감소되어 나타났다(Figure 20). EDTA처리 후 수침고목재에 나타나는 Na

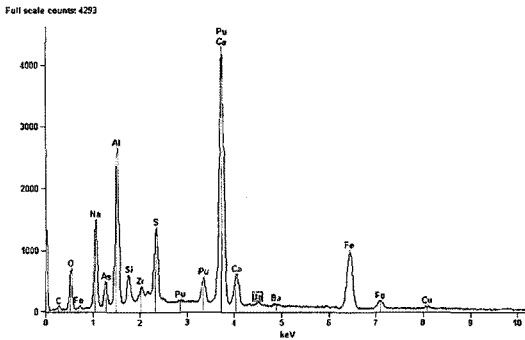


Figure 20. SEM-EDX of sapwood in wood after third step cleaning.

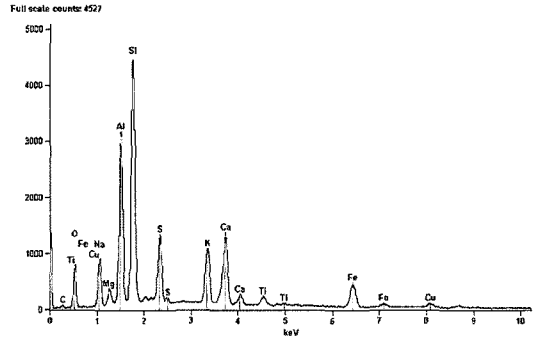


Figure 21. SEM-EDX of sapwood in wood after fourth step cleaning.

는 EDTA처리 용액에서 유래한 것으로 사료된다. 따라서 EDTA로 세척한 경우 충분한 양의 물로 재 세척이 필요함을 시사하였다.

EDTA처리 후 초음파세척을 했을 때 EDTA-2Na의 사용으로부터 유래된 변재 내 Na 제거에 효과가 있었으나, 심재내의 Na 제거에는 효과가 두드러지지 않았다 (Figure 21).

세척에 따른 무기성분의 조성 변화를 보면 Fe는 상당 부분 제거 되었으며 변재의 Ca, K 등도 세척된 반면 S, Si, Al은 거의 제거되지 않고 수침고목재 내에 잔존하고 있음을 보여주었다. 이는 이들 화합물의 입자 크기가 작아 부후된 세포벽의 공극 내에 흡착되어 있어 적용된 세척방법으로는 제거가 잘 되지 않은 것으로 사료된다. 무기물 성분 분석결과 S(유황)이 검출되었는데 유황성분은 토양과 건조재 모두에서 검출되지 않은 성분이었다. 유황 성분이 어디에서 유래한 것인지에 대해서는 앞으로 연구가 필요하겠다. Kim은 신안산에서도 다량의 유황(S)이 있음을 EDXA를 통해 분석한 바 있다.

#### 4. 결론

광주광역시 동림동 저습지에서 출토된 상수리나무를 재료로 하여 수침고목재와 수침고목재가 매장되었던 환경(토양)과의 관계, 수침고목재의 상태, 세척에 따른 수침고목재 내 이물질의 제거 효과 및 이로 인한 수침고목재의 물리·화학적 특성 변화를 파악하였던바 얻어진 결과는 다음과 같다.

공시시료의 최외층은 최대함수율이 852%, 밀도 0.10g/cm였으며 내층의 최대함수율과 밀도는 각각 493%, 0.23g/cm로 최외층과 내층의 부후정도가 달랐다. 수침고목재에 나타나는 무기성분의 대부분은 수침고목재가 매몰된 토양환경의 그것과 거의 동일하였다.

보존처리 현장에서 적용하고 있는 세척방법 즉, 도구법, 탈기법, EDTA법 및 초음파세척법을 적용하여 수침고목재를 세척하였던바 독립세척의 경우 도구를 이용한 세척에서의 표면 이물질 제거 효과와 탈기 후 함수율의 증가 및 EDTA 처리에 의해 색상이 밝아지는 현상이 나타났으나 세척효과는 크지 않았다. 그러나 연속 세척의 경우 처리 단계별로 처리 효과가 나타났다. 1단계 세척은 수침고목재의 표면에 고착된 이물질 제거에 큰 효과가 있었다. 2단계 세척인 탈기법은 수침고목재내에 있는 이물질을 제거하지는 못했다. 탈기법이 무기물의 제거에는 적절하지 않았다하더라도 탈기 후 수침고목재가 균일화되어 치수안정제의 침투를 용이하게 하는 역할은 결코 무시할 수 없을 것으로 사료된다. 3단계 EDTA처리는 수침고목재 내의 Fe을 제거함으로써 수침고목재의 색상이 밝아지는 효과를 얻을 수 있었다. 4단계 세척은 3단계 세척시 목재 내에 잔류한 약품(Na)과 미세 이물질의 제거에 효과적이었다. 그러나 이러한 세척방법에도 불구하고 목재 내 무기물 성분이 완전히 제거되지 않아, 기존의 세척방법을 변형하거나 새로운 세척방법의 적용이 필요하겠다.

## 5. 참고문헌

1. 강애경, 박상진, "수침출토목재에 PEG 4000과 Sucrose처리에 따른 변화", *한국문화재 보존과학회*, 5(2), (1996).
2. Sease, C., *A conservation manual for the field archeologist*, Regent of the University of California, (1994).
3. 양석진, 수침목제유물 보존처리에 관한 연구 - EDTA 처리에 관하여-, *창원대학교 대학원 석사학위논문*, (2005).
4. Smith, C.W., *Archeological conservation using polymers*, Texas A & M University anthropology series: No. 6, (2003).
5. Rodgers, B.A., *The archaeologist's manual for conservation*, Kluwer Academic, New York, (2004).
6. 今津節生, 水浸有機遺物に關する保存科學の研究, *京都工藝纖維大學學位論文*, (1994).
7. 이용희, "저습지 출토 목재유물의 보존과 현황", *한국문화재보존과학회*, 6(2): 126-140, (1997).
8. 안복준, 양석진, 함안 성산산성 출토 목제유물의 보존처리, *보존과학연구* 25, 국립문화재연구소, pp. 155-170, (2004).
9. 김익주, 김병근, 양순석, 정용화, 비안도 해저 출토 도자기 보존처리, *군산 비안도 해저 유적*, pp. 188-191, (2004).
10. 김종오, 정혜윤, "포항 옥성리 가-35분호 출토 투구의 보존처리", *박물관보존과학*, 3: 9-13, (2001).
11. 오광섭, 김미도리, 임지은, 강정무, "김해 대성동 2호분 갑옷(板甲)의 보존처리", *박물관보존과학*, 4: 41-46, (2003).
12. 배순화, 이미식, "출토적물의 세척 방법에 따른 물성 변화", *한국복식학회*, pp. 1-10, (2004).
13. 박윤미, 황은경, 정복남, "宜寧 全義李氏 出土服飾의 세척방법에 관한 연구", *복식문화학회*, 복식문화연구, 11(6): 164-174, (2005).
14. 박병권, 송무영, "한국 영일만 해저퇴적물의 입도 분석", *한국해양학회*, 7(2): 74-85, (1972).
15. 박용안, *해양지질학 및 퇴적학*, 집문당, 서울, (1983).
16. *대한금속재료학회편, 금속공학실험*, (1984).
17. 최진용, 최진혁, 김석운, "퇴적물 입도분석 방식 비교 : 예비결과", *한국해양학회*, 4(2): 246-253, (1999).
18. 한국표준협회, KS A 0063, (2001).
19. Jensen, P. and Gregory, D.J., "Selected physical parameters to characterized the state of preservation of waterlogged archaeological wood: a practical guide for their determination", *Journal of Archaeological Science*, 33: 551-559, (2006).
20. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병목, *목재과학 실험서*, 광일문화사, 서울, (1993).
21. 조성권, *퇴적학*, 우성, 서울, (1995).
22. 조성진, 김문주, 김성조, 김재정, 김현구, 김형욱, 박천서, 양창술, 엄문익, 육창수, 박수길, *토양학*, 향문사, 서울, (2003).
23. 박상진, 이원용, 이화형, *목재조직과 식별*, 향문사, 서울, (1999).
24. 김익주, 해양에서 열화된 수침고목재의 화학적, 미시형태적 변화, *전남대학교 석사학위 논문*, (1990)
25. Kim, Y.S., "Chemical characteristics of waterlogged archaeological wood" *Holzforchung*, 44: 169-172, (1990).
26. Hedges, J.I., *The chemistry of archaeological wood*, In: *Archaeological Wood, Properties, Chemistry, and Preservation*, American Chemical Society, Washington D.C., pp. 111-140, (1990).

## 사사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2003-000-10073-0)의 일환으로 수행되었음.