

單一粒子再現法을 활용한 고고유물의 진위판별 연구

김명진* | 윤민영** | 홍덕균***,1

*(재)충청문화재연구원 부설 한국고환경연구소

**서울대학교 기초과학공동기원

***¹강원대학교 물리학과

Authentication Test of Archaeological Materials using Single Grain Regenerative Dose Method

Myung-Jin Kim* · Minyoung Youn** · Duk-Geun Hong***,1

*Chungcheong Cultural Properties Research Institute, Gongju, 314-923, Korea

**National Center for Inter-university Research Facilities, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

***Department of Physics, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

¹Corresponding Author : dghong@kangwon.ac.kr, +82-33-250-8473

초 록 이 연구에서는 고고학 유물의 진위여부를 판단하기 위하여 미세시료채취법을 적용하여 시료를 채취한 후 화학적으로 분리된 세립 석영 입자의 고고선량을 산출하였다. 진위판별 연구에 앞서 미세시료채취법의 타당성은 백제 무령왕릉 출토 전(塼)에서 산출된 고고선량 값들로부터 입증되었다. 이를 바탕으로 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 4점의 고고학 유물에 미세시료채취법을 적용하여 극소량의 시료를 채취한 후 단일입자재현법으로 고고선량을 산출하였다. 모든 유물에 대하여 고고선량 값은 0.2Gy 이하로 매우 낮았으며 단일시료재현법으로 산출된 값과 비교한 결과 매우 신뢰도가 높음을 알 수 있었다. 그러므로 유물의 고고학적 상황과 국내에서 고고선량은 평균적으로 1,000년 당 약 3.5Gy 내외의 값을 가진다는 점으로 미루어 판단하건데, 이 유물들은 고구려 시대에 제작된 유물이 아닐 가능성이 매우 높았다.

중심어 : 진위판별, 단일입자재현법, 미세시료채취법, 고구려

ABSTRACT This article aims to turn out the authentication of archaeological materials by using the paleodose measurement to fine sand-size quartz grains obtained by micro sampling technique. We firstly revealed the validity of micro sampling technique from the paleodoses of two bricks related to Muryong Royal Tomb of Baekje Kingdom. For the purpose of authentication test, four archaeological materials were selected, because they have been insisted that they were manufactured in Goguryeo Kingdom era. After obtaining very few quartz grains by micro sampling technique, each paleodose was evaluated by using SGR (single grain regenerative dose method). All values were very low below 0.2Gy and the reliability was found from those values by using SAR (single aliquot regenerative dose method). Considering the archaeological situation and the general paleodose, the burial time for 1,000 years generally corresponds to about 3.5Gy in Korea, it is concluded that these archaeological materials are all modern counterfeits

Key Word : Authentication, Single grain regenerative dose method, Micro sampling technique, Goguryeo Kingdom

1. 서론

현재 진위판별(authentication)은 박물관 등에서 토기 및 도자기, 그림 등의 문화재에 대한 진품과 위조품을 구별해 내기 위해 주로 수행되고 있다. 이들 중 토기 및 도자기와 같은 고고학 유물의 진위판별을 위해서는 그 제작 시점을 판단하는 것이 매우 중요하므로, 미술사적인 감정과 함께 절대연대측정법과 같은 자연과학적 분석이 필수적으로 요구된다.

냉광 연대측정법(luminescence dating)은 고고학 연구에 있어서 광범위하게 활용되는 절대연대측정법 중의 하나이며, 석영과 장석 등의 무기결정을 포함하는 유물 및 유구를 대상으로 한다. 따라서 냉광 연대측정법을 통하여 산출된 연대는 유물 및 유구 자체의 연대를 직접적으로 지시하므로 고고학 연구에 매우 유용하다. 특히 토기 및 도자기와 같은 유물의 경우 냉광 연대측정을 통하여 산출된 연대는 제작 및 이용, 폐기에 관한 시점을 의미하므로, 이러한 종류의 유물에 대한 진위판별에도 매우 효과적이다.¹

냉광 연대측정법에서 연대는 유물 및 유구 등의 시료로부터 냉광을 측정하여 산출되는 고고선량(paleodose)과 시료 주변의 토양에 포함된 ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K, ⁸⁷Rb 등의 방사성동위원소를 측정하여 산출되는 연간선량율(annual dose rate)의 비로 결정되며, 다음 식과 같이 표현된다.

$$\text{연대(yr)} = \frac{\text{고고선량(Gy)}}{\text{연간선량율(Gy/yr)}} \quad (\text{식 1})$$

일반적인 고고학 유물과 달리 진위판별을 목적으로 하는 토기 및 도자기와 같은 유물에 냉광 연대측정법을 적용할 경우 대부분 유물이 매장되어 있던 주변토양을 채취할 수 없기 때문에 연간선량율의 정확한 산출이 현실적으로 불가능하다. 하지만 토기와 도자기와 같은 고고학 유물의 진위판별은 단지 진품과 위조품을 구분하는데 목적이 있으며, 이러한 유물의 위조품은 최근 100년 이내 또는 500년 이내에 만들어지기 시작했다는 점,^{1,2} 또한 매

장기간과 비례하여 고고선량의 값이 선형적으로 증가한다는 점, 진위판별 연구에서 고고선량의 정확도가 정밀도보다 중요한 점,² 국내에서 수행된 냉광 연대측정 연구 중 세립 석영(fine sand-size quartz)을 이용한 연구 결과를 살펴보면, 고고선량은 평균적으로 1,000년 당 약 3.5Gy 내외의 값을 갖는다는 점³⁻⁹ 등을 고려하면 유물에서 측정된 고고선량 값만을 근거로 유물의 진위여부에 대한 판단이 가능하다.

기존의 열발광(TL, thermoluminescence)을 이용한 연대측정법의 경우 고고선량 산출을 위하여 많은 양의 시료가 필요하였으나, 광자극 냉광(OSL, optically stimulated luminescence)을 이용한 연대측정법을 적용할 경우 단일시료재현법(單一試料再現法; SAR, single aliquot regenerative dose method)에 의해 하나의 시료 디스크¹⁰ 만으로도 정확하고 정밀한 고고선량 값의 산출이 가능해졌다.^{10,11} 또한 최근 소개된 단일입자재현법(單一粒子再現法; SGR, single grain regenerative dose method)은 시료에서 추출된 하나의 석영 입자에 대해서도 고고선량을 산출할 수 있는 방법으로써, 단일시료재현법보다 극히 적은 양의 시료를 이용하여 정확하고 정밀한 고고선량을 산출할 수 있고 시료의 절대영년(absolute zeroing)을 직관적으로 파악할 수 있다는 장점이 있다.^{7,12} 특히 단일입자재현법은 대상 유물이 진품일 가능성과 시료채취 후 원형 복원까지도 고려하는 진위판별 연구에 매우 효과적이다.

이 연구에서는 백제 무령왕릉 출토 전(轉)과 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 고고학 유물에 대한 진위판별을 수행하였다. 먼저 백제 무령왕릉 출토 전을 대상으로 이 연구에서 적용한 미세시료채취법(micro sampling technique)의 타당성을 판단하였다. 이를 근거로 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 유물에 미세시료채취법을 적용하여 극소량의 시료를 채취하고 광자극 냉광을 이용한 단일입자재현법을 적용하여 고고선량을 산출하였다. 산출된 고고선량의 신뢰도를 단일시료재현법으로 산출된 고고선량과 비교하여 검증한 후, 최종적으로 유물의 진위 여부를 추론하였다.

1) 시료디스크(aliquot)는 냉광 측정을 위하여 10㎍ 경의 스테인레스 스틸 디스크에 실리콘 스프레이를 도포한 후 수천~수백 개에 해당하는 세립 석영 입자를 단일층(single layer)으로 정착하여 만든다.

2. 시료 및 실험기기

2.1. 시료

고고학 유물의 진위판별을 위하여 총 6점의 유물이 연구에 이용되었다. 이들 중 백제 무령왕릉 출토 전은 감쇄기법을 활용하여 연대가 AD 530±50 yrs (1σ SD)로 산출된 유물¹²로써, 이 연구에서 적용한 미세시료채취법의 타당성을 입증하기 위하여 선택하였다. 이와 함께 고구려 시대에 제작된 것으로 주장되는 총 4점의 유물을 대상으로 진위여부를 판단하였다. 각 유물에 대하여 무령왕릉 출토 726-7 전은 AT-1, 726-8 전은 AT-2 시료로 명명하였다. 또한 고구려 시대에 제작된 것으로 주장되는 태부향기(太府享器)는 AT-3, 주작(朱雀) 형상의 전은 AT-4, 불상좌대는 AT-5, 명문 전은 AT-6 시료로 각각 명명하였다. 이 연구에 이용된 시료의 목록을 Table 1에 정리하였다.

유물의 진위판별 연구를 위하여 시료를 채취할 경우 대상 유물이 진품일 가능성과 시료채취 후 원형 복원을 항상 고려해야만 한다. 이를 위하여 각 유물로부터 최소한의 시료만을 채취하고자 치과용 소도구 등을 이용한 미세시료채취법을 수행하였다. 시료채취 지점은 시료채취 후 원형 복원을 고려하여 유물의 뒷면 또는 바닥면 등의 외부에 잘 노출되지 않는 면을 선택하였다. 이후 햇빛에 노출된 결면을 2mm 이상 제거한 다음, 작은 드릴을 이용하여 직경 3mm 정도의 구멍을 열이 발생하지 않도록 매우 천천히 파면서 약 1g 정도의 시료를 채취하였다.

고고선량 측정에 필요한 세립 석영은 다음과 같은 화학처리로 얻어졌다.¹³ 먼저 얻어진 시료를 물로 세척하여 진흙 등을 제거하고 250~125μm 크기의 입자만을 선별

하였다. 시료 내의 석회나 유기물을 제거하기 위해 10% 염산(HCl)과 과산화수소(H₂O₂)로 시료를 처리한 후, 장석에 의한 오염을 차단하기 위하여 48% 불산(HF)으로 약한 시간 정도 처리하였다. 화학처리를 통하여 분리된 석영 내 장석의 잔존여부를 확인하기 위하여 약간의 시료를 임의로 채취하여 적외선을 조사한 후 냉광이 검출되지 않음을 통하여 장석의 오염이 없음을 확인하였다.¹⁴

고고선량 산출에 필요한 충분한 양의 석영 입자가 추출되었다고 판단되면 시료채취를 위하여 판 구멍을 유물과 비슷한 성격을 가진 토양으로 충전하여 원상태에 가깝도록 복원하였다.

2.2. 실험기기

모든 광자극 냉광 측정은 (재)충청문화재연구원 부설 한국고환경연구소에 설치된 자동화된 Riso TL/OSL 시스템(Riso TL/OSL-DA-20)에 의해 이루어졌다.¹⁵ 여기광 원으로는 470±20nm의 파장을 가진 청색 발광 다이오드(Nichia type NSPB-500S)가 사용되었으며 광원의 세기는 50mW/cm² 정도이다. 또한 시료의 장석 오염도를 측정하기 위하여 830nm의 파장을 가진 적외선 레이저가 사용되었다. 여기광원과 냉광의 분광을 위하여 GG420 필터가 여기광원의 앞에 부착되었으며 냉광은 Hoya U-340 필터와 결합된 광전자 증배관(EMI 9635QA photomultiplier)으로 검출되었다. 검출기의 전기적 잡음(electric noise) 및 시간에 독립적인 냉광 신호(background signal)는 50counts/s 이하였다. 상온에서 시료에 조사되는 전리성 에너지는 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y 베타선원으로부터 제공되었으며 시료가 받는 흡수선량율은 0.098Gy/s이다.

Table 1. Paleodose obtained from each archaeological materials.

Sample	Description	True era	Insisted era	Paleodose (Gy, 1σ SD)					Comment
				Used grain	SGR	Used aliquot	SAR	Ratio (SGR/SAR)	
AT-1	726-7, Muryoung Royal Tomb	Baekje				2	7.07 ± 0.45		7.46Gy ^d
AT-2	726-8, Muryoung Royal Tomb	Baekje				2	7.50 ± 0.07		7.11Gy ^d
AT-3	Taebuhyanggi	Unknown	Goguryeo	4	0.088 ± 0.092	1	0.15 ± 0.22	0.59 ± 0.73	
AT-4	Red bird brick	Unknown	Goguryeo	12	0.089 ± 0.10	1	0.17 ± 0.20	0.52 ± 0.74	
AT-5	Table of an image of buddha	Unknown	Goguryeo	16	0.12 ± 0.11	1	0.10 ± 0.09	1.20 ± 1.73	
AT-6	Inscription brick	Unknown	Goguryeo	20	0.13 ± 0.14	1	0.24 ± 0.05	0.54 ± 2.66	

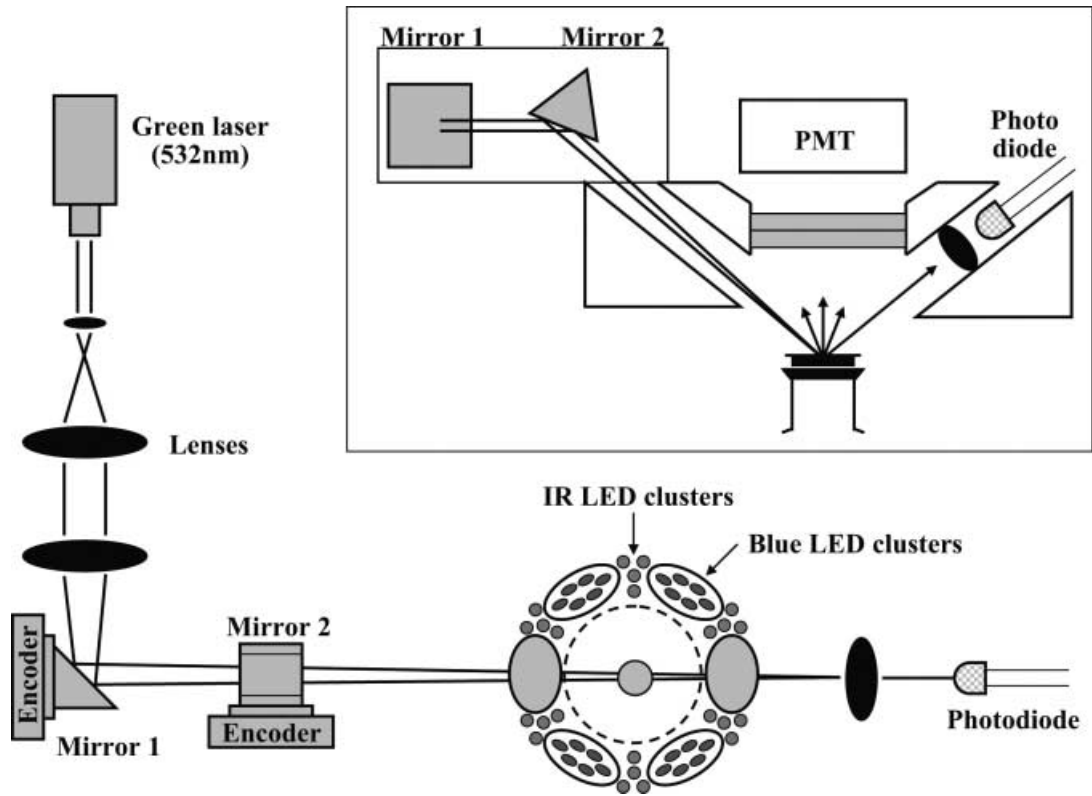


Figure 1. Schematic of the single grain OSL attachment including the 10mW 532nm Nd:YVO4 solid-state diode-pumped laser for stimulation.

단일입자재현법은 Riso TL/OSL시스템에 부착되어 있는 단일입자 레이저 모듈을 이용하여 수행되었다. Figure 1는 단일입자 레이저 모듈의 개념도이다. 여기광원은 532nm의 파장을 갖는 10mW Nd:YVO4 고체 레이저 (solid-state diode-pumped laser)이며, 산화 처리된 알루미늄(anodized aluminium) 시료 디스크에 장착된 100개의 세립 석영 입자들 각각에 대하여 연속적으로 초점이 맞추어진다.

3. 결과

3.1. 백제 무령왕릉 출토 전 (AT-1, 2 시료)

Figure 2에 제시된 백제 무령왕릉 출토 전(AT-1, AT-2 시료)은 기존의 연구를 통하여 이미 진품으로 확인된 유물이다. 진위판별 연구에서는 유물의 훼손을 최소화

도로 낮추어야만 하므로 시료채취 과정은 매우 중요하다. 이 연구에서 적용한 미세시료채취법이 진위판별 연구에 적합한지 평가하기 위하여 백제 무령왕릉 출토 전에서 채취한 극소량의 시료에 단일시료재현법을 적용하여 고고선량을 산출하였다.

이 연구에서 사용된 단일시료재현법을 Figure 3에 도식화 하였으며, 세부 과정은 다음과 같다. 먼저 미세시료채취를 통하여 무령왕릉 출토 전에서 얻어진 석영 입자로부터 각각 2개의 시료 디스크를 만들었다. 자연 냉광을 측정하기 위하여 220℃에서 10초간 열 전처리 후, 125℃에서 40초 동안 여기하면서 냉광을 측정하였다. 냉광의 민감도 변화를 보정하기 위하여 같은 시료 디스크에 시험 방사선을 주고 시간적으로 불안정한 트랩(trap)에 포획된 전자의 제거를 위해 220℃까지 가열한 후, 시험 방사선의 조사로 인한 냉광을 측정하였다. 이후 실험실 방사선 조사, 열 전처리 및 냉광 측정을 여러 번 반복하여 성장곡선을 만들고, 시험 방사선 조사로부터 얻어진 보정

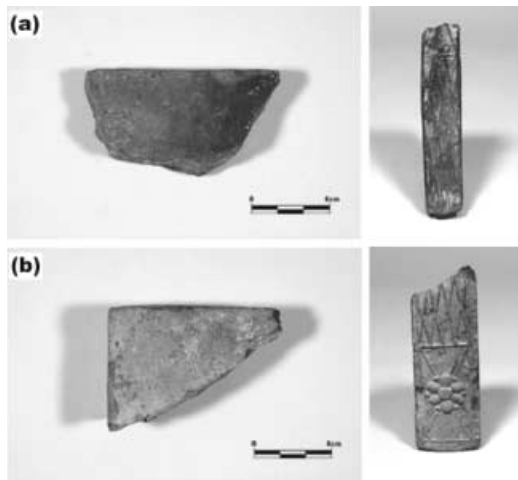


Figure 2. Photographs of two bricks related to Muryoung Royal Tomb of Baekje Kingdom: (a) 726-7 (AT-1), (b) 726-8 (AT-2).

인자로 성장곡선을 보정하였다. 빛에 민감한 냉광만을 고려하기 위하여 0.48초 동안 방출된 냉광을 흡산한 후 이를 성장곡선과 보정에 이용하였다.

단일시료재현법을 통하여 얻어진 무령왕릉 출토 전의 고고선량을 Table 1에 정리하였다. AT-1과 2 시료에서 얻어진 고고선량은 측정된 2개의 시료디스크를 평균한 값으로 각각 $7.07 \pm 0.45\text{Gy}$ (1σ SD), $7.50 \pm 0.07\text{Gy}$ (1σ SD)로 산출되었으며, 기존의 결과와 비교해 보면 매우 유사하고 오차범위 내에서 잘 일치함을 알 수 있었다.

따라서 이 연구에서 적용한 미세시료채취법은 신뢰도 높은 고고선량의 산출이 가능하며 극소량의 시료만을 채

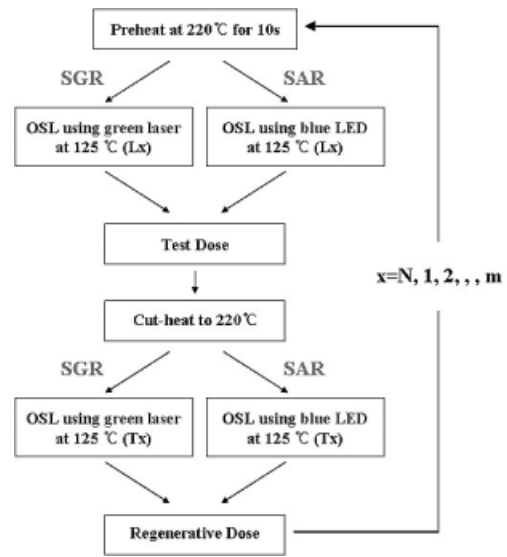


Figure 3. Experimental procedure of SGR (single grain regenerative dose method) and SAR (single aliquot regenerative dose method).

취함으로써 유물의 훼손도를 최소화 할 수 있으므로 고고학 유물의 진위판별 연구에 매우 적합하다고 판단하였다.

3.2. 고구려 시대 추정 유물(AT-3~6 시료)

Figure 4~7에 제시된 유물들은 그 제작 시점이 불분명한 유물로서 고구려 시대(BC 37년~AD 668년)에 제작되었다고 주장되는 유물들이다. 이 연구에서는 이들 유물들의 진위여부를 판단하기 위하여 미세시료채취법을 적용하여 시료를 채취한 후, 단일입자재현법을 사용하여 고고선량을 측정하였다.

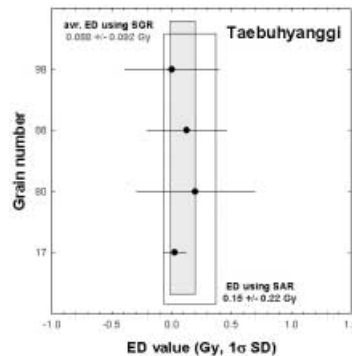
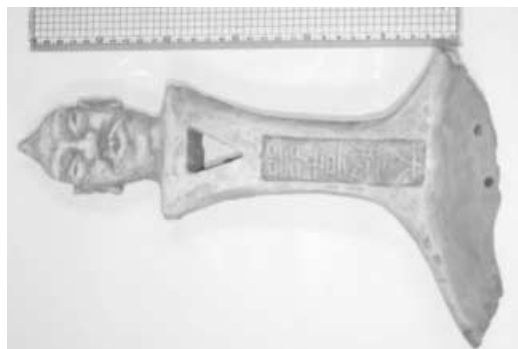


Figure 4. Taebuyanggi (AT-3), insisted on archaeological material in Goguryeo era: (a) photograph, (b) paleodose values obtained by SGR.

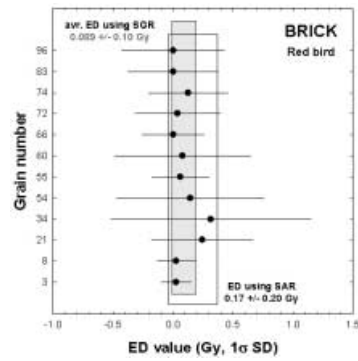
이 연구에서 사용된 단일입자재현법을 Figure 3에 도식화 하였으며, 세부 과정은 다음과 같다. 먼저 100개의 석영 입자가 장착된 산화 처리된 알미늄 시료 디스크를 각각 1개씩 준비하였다. 자연 냉광을 측정하기 위하여 220°C에서 10초간 열 전처리 후, 125°C에서 각각의 석영 입자를 파장이 532nm인 Nd:YVO4 고체 레이저를

사용하여 1초 동안 여기하면서 냉광을 측정하였다. 이후 고고선량 산출과정은 무령왕릉 출토 전에 적용된 단일시료재현법과 동일하게 적용되었다. 성장곡선과 보정에 이용하기 위한 냉광의 세기는 레이저의 안정성을 고려하여 약 0.1초가 지난 후 0.16초 동안 흡산하였다.

단일입자재현법을 통하여 산출된 고고선량의 신뢰도를



(a)

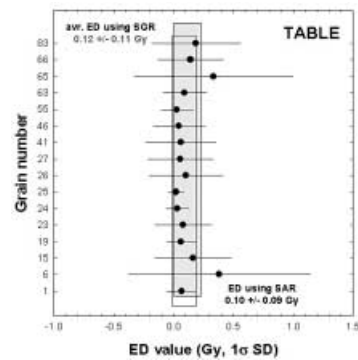


(b)

Figure 5. Red bird brick (AT-4), one of four guardian gods, inscribed on archaeological material in Goguryeo era; (a) photograph, (b) paleodose values obtained by SGR.



(a)

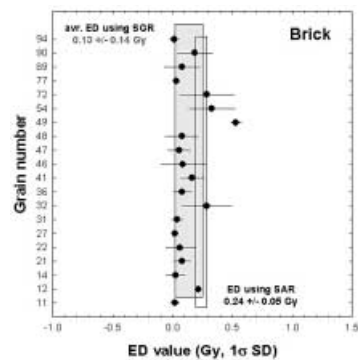


(b)

Figure 6. Table of an image of Buddha (AT-5), inscribed on archaeological material in Goguryeo era; (a) photograph, (b) paleodose values obtained by SGR.



(a)



(b)

Figure 7. Inscription brick (AT-6), inscribed on archaeological material in Goguryeo era; (a) photograph, (b) paleodose values obtained by SGR.

검증하기 위하여 각 유물에 대하여 1개씩 시료 디스크를 추가로 만든 후 단일시료재현법을 적용하였다. 고고선량 산출 과정 또한 무령왕릉 출토 전에 적용한 방법과 동일하게 수행하였다.

단일입자재현법과 단일시료재현법을 통하여 얻어진 각 유물의 고고선량을 Table 1에 모두 정리하였다. 단일입자재현법을 적용하였을 때, AT-3 시료의 경우 4개의 세립 석영 입자로부터 고고선량 값이 산출되었다. 또한 AT-4 시료는 12개, AT-5 시료는 16개, AT-6 시료는 20개의 세립 석영 입자에 대하여 고고선량 값이 산출되었다. 이들을 각각 평균하면 AT-3~6 시료에서 얻어진 고고선량은 $0.088 \pm 0.092 \text{Gy}$ (1σ SD), $0.089 \pm 0.10 \text{Gy}$ (1σ SD), $0.12 \pm 0.11 \text{Gy}$ (1σ SD), $0.13 \pm 0.14 \text{Gy}$ (1σ SD)로 매우 작은 값이었다. 이들 값들의 신뢰도를 검증하기 위하여 각 시료의 단일시료재현법 결과들과 비교해 보았는데, 고고선량은 서로 매우 유사하고 오차범위 내에서 잘 일치함을 알 수 있었다.

따라서 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 유물들에 미세시료채취법을 적용하여 극소량의 시료를 채취한 후 단일입자재현법을 적용한 결과 매우 신뢰도 높은 고고선량이 산출되었으며, 모든 유물에 대하여 0.2Gy 이하의 매우 낮은 값이었다.

4. 고찰

이 연구에서는 백제 무령왕릉 출토 전(傳)과 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 고고학 유물에 대한 진위판별을 수행하였다.

먼저 백제 무령왕릉 출토 전(AT-1, 2 시료)을 대상으로 이 연구에서 적용한 미세시료채취법의 타당성을 평가한 결과, 미세시료채취법은 채취된 극소량의 시료로도 신뢰도 높은 고고선량의 산출이 가능하고 유물에 대한 훼손도를 최소화 할 수 있으므로 고고학 유물의 진위판별 연구에 매우 적합하였다.

이를 근거로 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 4점의 고고학 유물(AT-3~6 시료)에 미세시료채취법을 적용하여 극소량의 시료를 채취하고 광자극 냉광을 이용

한 단일입자재현법을 적용하여 고고선량을 산출한 결과, 모든 유물에 대하여 0.2Gy 이하로 매우 낮게 산출되었다. 이 값을 단일시료재현법을 통하여 산출된 고고선량과 비교한 결과 매우 신뢰도 높음을 알 수 있었다.

따라서 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 이들 4점의 유물은 1) 모든 유물의 고고선량이 0.2Gy 이하인 점, 2) 제작시점으로 주장되는 고구려 시대가 BC 37년 ~ AD 668년에 해당한다는 점, 3) 토기 및 도자기와 같은 유물의 위조품이 최근 100년 이내 또는 500년 이내에 만들어지기 시작했다는 점, 4) 국내에서 세립 석영에 대한 고고선량은 평균적으로 1,000년 당 약 3.5Gy 내외의 값을 가진다는 점 등으로 미루어 판단하건데, 고구려 시대에 제작된 유물이 아닐 가능성이 매우 높았다.

토기 및 도자기와 같은 고고학 유물의 진위평가 연구는 유물의 훼손을 최소화 하면서 정확하고 정밀하게 진위 여부를 판단하는 것이 매우 중요하다. 이 연구에서 적용한 미세시료채취법은 유물의 훼손을 최소화 하고 진위판별 이후 원형 복원에 적합한 최선의 방법이다. 또한 진위판별의 근거가 되는 고고선량 산출에 적용한 단일시료재현법은 단지 수십개의 세립 석영 입자만으로도 정확하고 정밀한 고고선량의 산출이 가능하다는 장점이 있다. 그러므로 이 연구에서와 같이 미세시료채취법과 결합된 단일입자재현법은 앞으로 토기 및 도자기와 같은 고고학 유물의 진위판별 연구에 매우 유용하리라 판단된다.

이와는 별도로 고고학 유물의 진위판별에서는 다음과 같은 점을 항상 고려하여야 한다. 즉 토기 및 도자기 같은 고고학 유물은 제작 이후부터 현재에 이르기까지 재가열을 통한 절대연년 뿐만 아니라 위조품 제작에 있어 인위적인 방사선 조사 및 진품의 재활용 등의 가능성이 모두 존재하므로, 유물에서 측정된 고고선량 뿐만 아니라 다양한 자연과학적 분석과 미술사적 감정, 제반 사항 등도 종합적으로 고려하여야만 한다.

5. 결론

이 연구에서는 백제 무령왕릉 출토 전(傳)과 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 고고학 유물에 대하여 미세

시료채취법과 단일시료재현법을 적용하여 진위판별을 수행하였다.

미세시료채취법의 타당성은 백제 무령왕릉 출토 전을 대상으로 판단되었으며, 유물의 훼손을 가능한 한 최소로 하면서 채취된 극소량의 시료로도 신뢰도 높은 고고선량이 산출되었기 때문에 고고학 유물의 진위판별 연구에 매우 적합한 방법이었다. 이를 근거로 고구려 시대에 제작되었다고 주장되는 4점의 고고학 유물에 미세시료채취법을 적용하여 극소량의 시료를 채취한 후 광자극 냉광을 이용한 단일입자재현법을 적용하여 고고선량을 산출한 결과, 모든 유물에 대하여 0.2Gy 이하의 매우 낮은 값이었다. 이를 유물의 고고학적 상황과 국내에서 고고선량은 평균적으로 1,000년 당 약 3.5Gy 내외의 값을 가진다는 점 등으로 미루어 판단하건데, 고구려 시대에 제작된 유물이 아닐 가능성이 매우 높았다.

이 연구에서 적용된 미세시료채취법과 단일입자재현법은 앞으로 토기 및 도자기와 같은 고고학 유물의 진위판별 연구에 매우 유용하리라 판단된다.

참고문헌

1. M.J. Aitken, "Thermoluminescence Dating". Academic Press, London, (1998).
2. V.J. Bortolot, "Authentication by Thermoluminescence". *Tribal Arts*, 4, p81-83 (1994).
3. 강형태, 나경임, 서인애, "고고유물의 자연과학 응용(I)". *문화재*, 32, p57-81 (1999).
4. 김명진, 송기웅, 이찬희, 장성윤, Isao Takashima, 홍덕균, "감쇄기법(subtraction method)을 이용한 백제 무령왕릉 관련 전(塹)의 연대결정". *Analytical Science & Technology*, 20(6), p508-515 (2007).
5. 김명진, "극세립 석영(63-125 μ m)을 이용한 천안 청당동 구석기 유적 고토양층의 OSL 연대측정". *鎭江考古*, 3, p189-204 (2006).
6. 김명진, 홍덕균, "Pre-dose effect를 이용한 고고학

시료의 연대측정". *Analytical Science & Technology*, 18(4), p329-337 (2005).

7. 김명진, "단일입자 재현법을 이용한 고고학 시료의 광여기 루미네선스 연대측정". *鎭江考古*, 2, p153-170 (2005).
8. 김명진, 홍덕균, "한국 중부지역 청동기시대 전기 유적의 광여기 루미네선스를 이용한 연대측정". *보존과학회지*, 16, p5-14 (2004).
9. D.G. Hong, R.B. Galloway, M.J. Kim and S.B. Park, "Optical dating of the hydroponic farm at Korea". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 256, p365-368 (2003).
10. D.J. Huntley, D.I. Godfrey-Smith and M.L.W. Thewalt, "Optical dating of sediments". *Nature*, 313, p105-107 (1985).
11. A.S. Murray and A.G. Wintle, "Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol". *Radiation Measurements*, 32, p57-73 (2000).
12. G.A.T. Duller, L. Botter-Jenson and A.S. Murray, "Optical dating of single sand-sized grains of quartz: sources of variability". *Radiation Measurements*, 32, p453-457 (2000).
13. S.J. Fleming, "Thermoluminescence dating: refinement of the quartz inclusion method". *Archaeometry*, 12, p133-147 (1970).
14. N.A. Spooner, M.A. Aitken, B.W. Smith, M. Franks and C. McElroy, "Archaeological dating by infrared stimulated luminescence using a diode array". *Radiation Protection Dosimetry*, 34, p83-86 (1990).
15. L. Botter-Jenson, E. Bulur, G.A.T. Duller and A.S. Murray, "Developments in radiation, stimulation and observation facilities in luminescence measurements". *Radiation Measurements*, 37, p535-541 (2003).