백제 무령왕릉 석수와 지석의 재질 및 표면손상 특성

박준형 | 이찬희¹ | 최기은*
공주대학교 문화재보존과학과, *국립공주박물관

Characteristics of Surface Deterioration and Materials for Stone Guardian and Stone Memorial Tablets from Muryeong Royal Tomb of Baekje Kingdom in Ancient Korea

Jun Hyoung Park | Chan Hee Lee¹ | Gi Eun Choi*

Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju, 32588, Korea
*Gongju National Museum, Gongju, 32535, Korea

¹Corresponding Author: chanlee@kongju.ac.kr, +82-41-850-8543

초록 무령왕릉 석수와 지석은 같은 암종으로 심성화성암에 속하는 각섬석암(hornblendite)이다. 이 암석은 녹회색에 중립의 등립질 입상조직을 보이며, 주요 조암광물은 각섬석과 사장석이다. 석수의 전암대자율은 $0.15 \sim 0.63$ (평균 0.42×10^{-3} SI unit), 왕의 지석은 $0.11 \sim 0.38$ (평균 0.24×10^{-3} SI unit), 왕비의 지석은 $0.10 \sim 0.33$ (평균 0.18×10^{-3} SI unit)으로 거의 동일한 낮은 값을 보였다. 이 암석은 공주 부근에서 대규모 산출지를 찾기가 어려우나 암맥상으로 여러 곳에서 확인된다. 그러나 산출상태와 암상으로 보아 석수와 지석의 암석은 맥암과는 달리 심성암의 특징을 보인다. 석수와 지석의 표면에 분포하는 적갈색 및 담갈색 오염물의 분석 결과, 적갈색 오염물은 Fe에 의한 산화물로, 담갈색 오염물은 Ca의 용출에 의한 것으로 나타났다. 적갈색 오염물은 암석 내부 기원과 철제 부장품의 산화가 모두 작용하였으며, 담갈색 오염물은 왕릉에 사용된 석회질에서 유입되어 약간의 철산화물이 더해진 것으로 판단된다. 석수와 지석은 균열, 탈락과 같은 물리적 요인과 화학적 오염이 복합적으로 작용하여 손상이 진행되었다. 그러나 모두 물리적 손상은 극히 적으며, 석수 일부분과 왕비 지석 앞면을 제외하고는 화학적 풍화에도 안정한 상태이다.

중심어: 석수, 지석, 각섬석암, 표면오염물

ABSTRACT The Stone Guardian and Memorial Tablets from the Muryeong Royal Tomb are composed of the same kind of plutonic igneous rocks, the so-called hornblendite. Color of the rocks show greenish gray, and both of them occurred with medium-grained granular texture. The rock-forming minerals composed mainly of amphibole and plagioclase. Magnetic susceptibility of the Stone Guardian is 0.15 to 0.63 (mean 0.42×10^{-3} SI unit), the King's Stone Memorial Tablet is 0.11 to 0.38 (mean 0.24×10^{-3} SI unit) and the Queen's Stone Memorial Tablet ranges from 0.10 to 0.33 (mean 0.18×10^{-3} SI unit). The rocks of the artifacts are hard to find in the Gongju area. Large scaled out crop of hornblendite is not distributed, but found in many places that the form of dike. The lithology and occurrences indicate that the artifacts are made of plutonic rock rather than dike. Reddish brown and pale brown contaminants, are also distributed on the surface of the Stone Guardian and Memorial Tablets. The reddish brown color is due to Fe oxide, and the pale brown color occurs due to the elution of Ca. The reddish brown contaminants are influenced by the internal components of the rock and oxidation of burial

iron accessories. In contrast, the pale brown contaminants are considered to have flown from the carbonate materials used in the Royal Tomb, with a little added Fe oxide. Physical and chemical deterioration operate intricately in the Stone Guardian and Memorial Tablets. Physical deterioration is extremely rare and chemical deterioration is stable except for a part of the Stone Guardian and the front of the Queen Stone Memorial Tablet.

Key Words: Stone Guardian, Stone Memorial Tablets, Hornblende, Surface contaminants

1. 서 언

백제 제25대 무령왕의 능은 1971년 송산리 5호분과 6호분 사이 배수로 정비과정에서 발견되었다. 무령왕릉 발견 이전까지 송산리에 분포하는 여러 고분은 도굴되어 유구나 피장자의 신원 및 부장유물들을 확인할 수 없었다. 그러나 무령왕릉은 온전한 상태로 발견되었고, 많은 부장품이 발굴되었다. 특히 암석을 소재로 만든 석수와 지석은 무령왕릉 출토 유물 중에서도 높은 가치를 인정받아 국보로 지정되었으며, 현재 국립공주박물관에 소장되어 있다 (Cultural Heritage Administration, 2017).

석수는 암석으로 만든 동물상으로 궁전이나 무덤 앞에 세워두거나 무덤 안에 놓아두는 것이 일반적이다. 무령왕릉 석수는 발견 당시 통로 중앙에서 밖을 향해 놓여 있었다. 입은 뭉뚝하며 입술에 붉게 칠한 흔적이 있고, 콧구멍 없는 큰 코에 눈과 귀가 있다. 머리 위에는 나뭇가지 형태

의 철제 뿔이 있다. 몸통 좌우, 앞뒤 다리에는 불꽃무늬가 조각되어 있는데 이는 날개를 나타낸 것으로 보인다. 꼬리가 조각되어 있으며 배설구가 있을 정도로 사실적이다. 이 석수는 무덤을 수호하는 진묘수의 관념에서 만들어진 것으로 국내에서는 최초로 발견된 것이다(Figure 1A).

지석은 장례를 지낼 때 땅의 신에게 묘소로 쓸 땅을 사들인다는 문서를 작성하여 그것을 돌에 새겨 넣은 매지권이다. 무령왕릉 지석은 삼국시대 무덤에서 발견된 유일한 매지권으로 피장자의 신원뿐만 아니라, 당시 백제인의 매장풍습까지 담겨져 있는 매우 귀중한 문화유산이다. 무령왕릉에서는 왕의 지석과 함께 왕비의 지석까지 2매가 출토되었다(Figure 1B, 1C).

이들 석제유물에 대한 역사적 및 고고학적 연구는 다수 수행되었으나, 암석의 종류와 원산지 및 보존의 중요한 단서가 될 수 있는 재질특성과 손상도 등의 보존과학적 연구

Figure 1. Photographs of Stone Guardian (A), King and Queen Stone Memorial Tablets (B and C) from Muryeong Royal Tomb. (D) Photograph showing situation of Stone Guardian and Stone Memorial Tablets in those days of excavation(Cultural Heritage Administration, 1973) from Muryeong Royal Tomb, (E) State of coin bunch on the Stone Memorial Tablets(Cultural Heritage Administration, 1973), (F) Conditions of broken back right leg of Stone Guardian(Cultural Heritage Administration, 1973).

는 수행한 바 없다. 이 연구에서는 무령왕릉 석수와 지석에 대한 암석학적 특성을 규명하고자 암상을 정밀 관찰하고, 암석의 종류 및 동질성을 검토하였다. 또한 제한적인 범위에서 이 석조유물의 일반적 손상도를 함께 고찰하였다. 이 연구는 육안관찰에 의존한 것으로서 자료의 정밀성과 다양한 해석에 한계가 있다. 그러나 이 결과는 향후 석수와 지석에 대한 과학적 연구와 보존을 위한 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

고대의 무덤은 시대와 지역 그리고 신분에 따라 구조와 형태가 매우 다양하다. 특히 신분에 따라 불리는 용어가 다를 정도로 구조나 출토 유물에서 차이가 확연히 드러나나, 주인공이 누구인지 알 수 없는 것들이 많다. 무령왕릉은 주인공과 연대를 정확히 알 수 있을 뿐만 아니라, 삼국시대의 능에서 발견한 유일한 매지권이 있어 백제인들의 장묘문화, 남조와의 교류를 보여주는 귀중한 사료로 평가되고 있다(Jang, 2011).

무령왕릉 발굴 당시의 기록을 보면, 폐색부의 벽돌을 2~3열 들어내었을 때 연도 내부가 들여다보였고, 입을 벌리고 서있는 석수와 명문이 뚜렷한 지석이 보였다고 한다(Figure 1D). 지석은 2매가 발견되었으며 서쪽에 왕비, 동쪽에 왕의 지석이 놓여 있었다. 그 위에는 오수전 문치가 있었는데, 이는 매지권 위에 지가를 지불하는 의미에서 놓아둔 것으로 전해진다(Figure 1E). 석수는 지석 2매의 접선 정중앙에 오도록 놓여 있으며 동벽으로부터 59 cm, 서벽으로부터 45 cm 떨어져 서벽에 약간 가깝게 있었다(Cultural Heritage Administration, 1973).

왕의 지석은 중앙 약간 위쪽에 구멍이 있는데, 왕비의 것은 아래쪽에 구멍이 있다. 이는 왕비지석 뒷면이 매지권인 것으로 보아 원래 매지권 면이 표면이며 구멍이 역시 위쪽에 있었던 것을 왕비의 장례식 때 뒤집어 비의 지석으로 사용한 것이라고 전해진다(Cultural Heritage Administration, 1973). 석수의 우측 뒷다리 부분은 이미 이 당시부터 손상되어 있었다(Figure 1F).

무령왕릉은 백제문화를 고스란히 담고 있는 세기적 발견으로 평가받고 있으며, 국내 고고학계에서는 이 무덤과 발굴 유물에 관한 많은 연구를 진행하였다. 이에 반하여 발

굴 유물에 대한 과학적 분석은 미진한 상태이다. 석수와 지석에 대한 재질특성은 1973년 무령왕릉 발굴조사보고서에도 기록되어 있으나, 육안관찰에 의해 암석의 종류를 검토하였고 표면오염물도 간략히 다루었다. 이후 석수와 지석의 과학적 연구는 없었으며, 2005년 무령왕릉 출토 유물 분석 보고서에는 석수를 비롯한 채색 및 감장 안료에 대한 분석 결과가 보고되었다(Yu, 2005). 그러나 지석은 발굴조사보고 이후 과학적 연구는 수행된 바 없다.

2.2. 보존현황

무령왕릉 석수는 높이 30.0 cm, 길이 47.3 cm, 너비 22.0 cm 크기의 동물형 조각상이다(Cultural Heritage Administration, 1973). 석수의 구성암석은 전반적으로 녹회색을 띠며, 수 mm 내외로 암편이 탈락된 부분에서는 암회색 내지 암록색을 보이기도 한다. 이와 같은 미세탈락은 인위적인 손상이 아니라 조각할 당시의 흔적으로 보이며, 주로 돌출된 부분의 모서리에 밀집되어 있다. 특히 전면의 턱 하단부에서 두드러지게 관찰된다(Figure 2A). 석수의 좌측면 중앙에는 길고 검은 마찰흔이 있으며, 우측 뒷다리는 떨어져 다시 보수한 흔적이 남아있으나, 이 외의 물리적 손상은 관찰되지 않는다(Figure 2B, 2C, 2D).

전체적으로 채색 안료의 박락과 퇴화로 인하여 심한 풍화상태를 갖는 것으로 보이나, 암질 자체는 비교적 양호한 상태를 유지하고 있다. 또한 부분적으로 이차적인 표면오염물을 확인할 수 있다. 머리에 달려있는 철제 뿔 주변부는 녹으로 붉게 변색되어 있다. 전면과 후면의 적갈색 안료로 채색된 부분에서는 안료의 풍화잔류물이 암석의 광물조직 사이에서 관찰된다. 이러한 오염물은 입술과 양 다리, 좌측면 복부의 채색부분과 주위에서도 관찰된다.

지석은 2매로, 모두 가로 41.5 cm, 세로 35.0 cm, 두께 약 5.0 cm로 크기는 거의 같다(Cultural Heritage Administration, 1973). 지석도 석수와 마찬가지로 전체적으로 녹회색을 띤다. 그러나 탈락한 부위가 매우 적은데다 이미 표면과 같은 상태의 변질 및 풍화를 받아 신선한 부분은 찾을 수 없다. 두 지석의 표면은 모두 담갈색 및 적갈색 오염물에 의하여 대부분 피복되어 있다(Figure 2E, 2F).

또한 직경 수 mm 크기의 작은 흠이 표면에 다수 존재하며 일부는 담갈색 오염물과 적갈색 오염물이 채우고 있다. 적갈색 오염물은 왕비의 지석 앞면에 심하게 피복되어 있고, 왕의 지석 모서리 일부 역시 이러한 오염을 확인할 수 있

Figure 2. Photographs of Stone Guardian and Memorial Tablets. (A to D) Front, left, back and right views, respectively, of Stone Guardian, (E and F) Front and back views of King's Stone Memorial Tablet, (G and H) Front and back views of Queen's Stone Memorial Tablet.

다. 암질의 상태는 전반적으로 양호하나 왕비의 지석 앞면은 화학적 오염이 심한 것으로 나타났다(Figure 2G, 2H).

2.3. 연구방법

이 연구를 위해 육안 및 휴대용 실체현미경을 이용하여 무령왕릉 석수와 지석의 표면을 정밀 조사하였다. 정밀관찰을 통해 탈락되거나 오염된 부분을 파악하였고, 육안으로 관찰하기 어려운 조암광물의 조직이나 조성을 더욱 정확하게 동정하기 위해 소형 디지털 실체현미경을 이용하였다. 디지털 실체현미경은 Dino-Lite의 AD7013MZT 모델을 사용하였다. 표면관찰 이외에도 암석의 자화강도를 파악하기 위해 전암대자율을 측정하였다. 대자율 측정은 ZH Instruments 사의 SM30 모델이고, 단위는 10^{-3} SI unit으로 표기하였다.

휴대용 X-선 형광분석기(P-XRF)를 이용하여 표면오염물의 정밀분석을 수행하였다. P-XRF는 Innov-X System사의 Alpha-6000이다. 측정시간은 토양모드와 경원소모드로 각각 45초씩 설정하였다. 또한 석수와 지석의 표면에 대한 색을 정량적으로 나타내기 위해 색도분석을 수행하였다. 분석은 Minolta사의 CM-2600d 모델을 이용하였고, 1회당 3번 측정한 평균값을 적용하였다. 이후 Minolta의 SpectraMagic NX로 자료를 처리하여 분석하였다. 표면의 손상과 유형분류 및 손상지도 작성은 Jo and Lee(2011)가

제시한 방법을 적용하였다.

3. 결과 및 해석

3.1. 재질특성

3.1.1. 암석 및 광물학적 특징

무령왕릉 석수와 지석을 구성하는 암석의 특징을 규명하기 위해 육안으로 암색과 구성광물 및 조직을 관찰하였다. 먼저 석수와 지석의 암석기재적 특징을 살펴보면, 두 석제유물의 암상은 색, 조직 및 조암광물에서 거의 동일한 특징을 갖는 것으로 보아 같은 종류의 암석으로 판단된다(Figure 3). 전반적으로 녹회색을 띠지만 탈락된 부분은 암회색 또는 암록색을 보인다(Figure 3A, 3B). 또한 드물게 유색광물이 반정으로 나타난다(Figure 3C, 3E).

정밀관찰을 위하여 소형 디지털 실체현미경으로 관찰하였다(Figure 3D). 연구대상 석제유물의 조암광물은 거의 등립질 입상조직으로 관찰되며, 입자 크기는 중립질 정도인 것으로 보아 화성암 중에서도 심성암에 해당하는 것으로 분류하였다. 석수와 지석의 암상 대조를 위하여 신선한 부분을 실체현미경으로 촬영하였으며, 유색광물의 반정을 확인하였다. 이 결과, 세 석제유물(석수, 왕 및 왕비 지석) 모두 각섬석과 사장석이 주요 조암광물을 이루는 것으로 나타났다. 또한 소량의 녹니석, 흑운모 및 불투명 광

물 등이 관찰된다(Figure 3D, 3G, 3I).

각섬석은 석수와 지석에서 모두 침주상 또는 섬유상 조직을 보이며 암회색 내지 담녹색을 띤다. 보통 1 mm 정도의 넓이와 3 mm 정도의 길이를 갖는 결정질 집합체로 나타나며 입자의 가장자리를 따라 부분적으로 녹회색으로 변질되어 있는 것으로 보아 녹니석화 작용을 받았다. 사장석은 0.5~1 mm 정도의 등립상 입상조직을 보이며 각섬석과 공존한다. 주로 회백색 내지 유백색을 띠며 입자의 외곽부를 따라 변질대가 나타난다. 이외에 미립의 엽편상 혹은 모가 소량 관찰되며 자철석으로 보이는 미립의 불투명 광물이 선상배열하며 나타난다(Figure 3D, 3G, 3I).

육안 및 실체현미경 관찰 결과를 종합하면, 석수와 지석을 구성하는 암석은 녹회색 내지 암록색을 보이며, 중립의 등립질 각섬석과 사장석을 주요 조암광물로 하는 결정질 화성암으로서, 이는 각섬석암(hornblendite)으로 동정할 수 있다. 또한 석수와 지석을 구성하는 암석의 비교 결과, 차이점을 발견할 수 없는 것으로 보아 동일한 암석으로 판

명되었다. 각섬석암은 대부분 각섬석으로 구성된 심성화성암을 지칭한다.

각섬석암과 동일한 광물조성과 조직을 가지나, 변성작용으로 형성된 경우는 이와 구별을 위하여 변성각섬석암(amphibolite)으로 지칭한다. IUGS(국제지질학연합) 화성암 분류에 따르면 유색광물의 함량이 90% 이상이며, 전체 유색광물 중 각섬석의 비율이 90%를 초과하는 암석을 각섬석암으로 분류한다. 따라서 석수와 지석 2매의 구성암석은 각섬석암으로 동정하는 것이 타당하다. 그러나 육안 및 실체현미경 관찰만 허용되었기 때문에 보다 정량적인 연구와 산지추정을 위한 자료 확보에 한계가 있었다.

3.1.2. 전암대자율 분포

석수와 지석의 미세자기적 특징을 파악하기 위해 전암대자율을 측정하였다. 대자율은 암석의 자기적 특성을 결정하는 상수로 조암광물 중에 불투명 광물로 나타나는 강자성 광물의 함량에 크게 좌우된다. 따라서 대자율을 통한

Figure 3. Representative petrography of Stone Guardian and Memorial Tablets. (A) Detail petrography of Stone Guardian, (B) Greenish grey lithology of falling off part B in Figure 3A, (C) Coarse grained greenish grey lithology of fresh part C in Figure 3A, (D) Microphotograph of fibrous and columnar textured minerals of part C in Figure 3C, (E) Black inclusion bearing greenish grey part D in Figure 3A, (F, G) Photographs of King's Stone Memorial Tablet, (H, I) Photographs of Queen's Stone Memorial Tablet.

분류는 원래 암석 분류체계에서는 고려되지 않은 지질환경을 반영할 수 있다. 이는 암석의 재질을 특징지어 동질성을 파악하는 효과적인 방법으로 국내외 석조문화재의 원산지를 해석하는데 적용되어 문화재의 원형복원에 활용되어 왔다(Uchida *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2007; 2010a; 2010b; Jo *et al.*, 2011).

대자율은 석수(34회), 왕의 지석(44회), 왕비의 지석(44회)을 대상으로 측정하여 분포 특성을 파악하였다(Figure 4). 석수의 대자율은 0.15~0.63(평균 0.42×10^{-3} SI unit)의 분포를 보였다. 왕의 지석 대자율은 0.11~0.38(평균 0.24×10^{-3} SI unit)의 분포를 보이며, 왕비의 지석은 0.10~0.33(평균 0.18×10^{-3} SI unit)이다. 이 결과를 종합하면, 석수와 지석은 모두 $1.00(\times 10^{-3}$ SI unit) 미만의 매우 작은 전암대자율 값을 가지는 동종의 암석이나 석수에서 미세하게 높게 나타났다. 이는 암석자체의 차이보다는 채색 안료의 영향일 수도 있는 것으로 판단된다.

3.1.3. 색도분석

암석의 색은 광물 및 화학조성, 유기물 및 불순물 함량 등 여러 요인에 영향을 받는다. 일반적으로 화성암의 색은 SiO_2 함량이 중요한 기준이며, SiO_2 함량이 낮아질수록 어두운 색을 띠고 Ca, Fe, Mg와 같은 원소들의 함량이 높아

지는 경향을 보인다. 반대로 SiO_2 의 함량이 높아질수록 밝은 색을 띠며 Na, K와 같은 원소들의 비율이 높아진다. 이 연구에서는 석수와 지석의 정량적인 색에 대한 데이터를 제시하기 위하여 색도를 측정하였다(Table 1, Figure 5).

색도 분석은 광학적으로 객관적인 색을 측정하기 위한

Table 1. Chromaticity values of Stone Guardian and Stone Memorial Tablets

Objects	L*	a*	b*
Stone Guardian	60.27	-0.36	10.27
	58.31	-2.17	10.56
	57.52	-0.38	9.93
	56.64	-0.82	12.10
	51.55	1.30	13.45
	58.16	-1.63	9.11
King's Stone Memorial Tablet	61.80	-1.76	9.56
	60.41	-0.06	10.94
	58.27	-1.21	8.72
	53.28	-0.38	10.64
	63.67	0.23	16.44
	59.34	0.36	12.60
Queen's Stone Memorial Tablet	57.39	1.43	12.31
	61.78	-0.12	13.48
	58.28	2.29	13.29
	61.62	-0.92	10.82
	54.44	-1.61	8.67
	53.22	-1.66	7.75
Queen's Stone Memorial Tablet	55.35	-1.96	7.59
	59.48	-0.43	10.18
	51.33	-1.39	7.86
	54.59	-0.19	11.15
	55.56	3.62	14.93

Figure 4. Diagram of magnetic susceptibility of Stone Guardian and Memorial Tablets.

Figure 5. Diagram showing chromaticity values of Stone Guardian and Memorial Tablets.

방법으로 L^* , a^* , b^* 표색계를 선택하여 표시하였다. 이 표색계는 1976년부터 국제조명위원회에서 규격화하여 사용하고 있다. L^* 값은 명도를 나타내며 0~100의 범위에서 50을 기준으로 값이 클수록 백색, 작을수록 검은색을 나타낸다. 또한 채도를 나타내는 a^* 와 b^* 값은 -60~60의 범위를 가지며 a^* 값이 +에서 적색, -에서 녹색을 보인다. b^* 값은 +에서 황색을 -에서는 청색을 의미한다.

석수와 지석 표면에서 비교적 신선한 지점과 탈락된 부분을 대상으로 색도 측정된 결과, L^* 값의 범위는 51.33~63.37이고, 평균은 57.49이다. a^* 값의 범위는 -2.17~3.62이고 평균은 -0.34였다. 또한 b^* 값의 범위는 7.59~16.44이며 평균은 10.97이다(Table 1). 이 측정값은 석수와 지석 모두 거의 차이 없이 아주 유사한 범위에 모여 있는 것으로 나타났으며, L^* 값은 왕비의 지석이 다른 암석에 비하여 낮은 분포를 보였다(Figure 5). 이는 왕비의 지석 표면에 오염물이 가장 많았던 것이 영향을 미쳐 명도가 낮아진 것으로 해석할 수 있다.

3.2. 표면오염물 분석

3.2.1. 오염물 분포

석수와 지석은 물리적 손상에 대해서는 비교적 안정한 상태이나 화학적 손상에 따른 표면오염물이 다량 피복되어 있다. 석수는 주로 갈색 및 적갈색 오염물이 전면에서 관찰된다. 후면의 엉덩이를 중심으로 안료의 풍화잔류물

에 의한 피복이 심하며, 우측면 뒷부분까지 연장되어 있다. 엉덩이 근처를 제외하면, 오염물은 피복 형태보다는 수 mm 정도의 작은 흠에 적갈색 오염물이 분말의 형태로 충전되어 있는 것이 대부분이다(Figure 6A, 6D).

왕과 왕비의 지석에서는 담갈색 내지 적갈색 오염물이 표면의 요철부에서 반점의 형태로 관찰된다(Figure 6B, 6C). 특히 왕과 왕비의 지석 앞면에는 조금씩 달리 박층을 이루어 피복한 형태의 오염물이 존재한다(Figure 6E, 6F). 그러나 석수에서는 관찰할 수 없었던 담갈색 및 적갈색 오염물이 전체적으로 분포한다. 형태는 주로 반점상으로 나타나고, 직경은 수 mm에서 큰 것은 수 cm에 이르기까지 다양하며, 이들은 작은 돌기 형태로 돌출되어 있다.

석수와 지석에 분포하는 오염물의 유형은 담갈색 및 적갈색 오염물이 대표적이다. 담갈색 오염물은 지석에서만 관찰되는 것이 특징이며, 규칙성 없이 전체에 산재되어 나타난다. 적갈색 오염물은 분말상으로 관찰되는 경우와 피복의 형태로 나타난다. 석수와 지석 모두 분말상의 적갈색 오염물이 관찰되며, 석수의 엉덩이 부분과 왕비의 지석 앞면에는 적갈색 오염물이 넓게 분포한다.

3.2.2. 오염물 분석

오염물의 정밀분석을 위해 관찰 결과를 토대로 대표적인 오염 부위를 선정하였다. 분석지점의 표기를 위하여 석수는 무령왕릉 발굴조사보고서(Cultural Heritage Administration, 1973)의 실측도면을 이용하였고, 지석은 자체적으로 도면

Figure 6. Photographs showing surface contaminants of Stone Guardian and Memorial Tablets. (A, D) Reddish brown contaminants on the Stone Guardian, (B, E) Pale brown contaminants on the King's Stone Memorial Tablet, (C, F) Reddish brown contaminants on Queen's Stone Memorial Tablet.

을 제작하여 표기하였다(Figure 7). 분석은 석수 7지점, 왕의 지석 앞면 9지점과 뒷면 5지점, 왕비의 지석 앞면 7지점과 뒷면 4지점 등 총 32지점에 대하여 P-XRF로 수행하였다.

분석지점은 신선한 부위, 오염되지 않은 표면, 적갈색 오염물, 담갈색 오염물 등 4가지로 대분하였다. 신선한 부위와 오염되지 않은 표면을 구분한 이유는 석수에서 돌출부가 조금 탈락되어 드러난 신선한 부분과 일반적인 표면을 구분하기 위함이다. 탈락되어 드러난 부분을 가장 신선한 부위로 판단하여 4곳을 측정하였고, 이 값을 기준으로 비

교분석하였다. 각 측정지점의 분석결과는 Table 2와 같다.

적갈색 오염물과 담갈색 오염물에서 획득한 자료와 신선한 부위의 상대적인 함량을 비교한 결과, 오염에 관여한 원소는 Fe와 Ca인 것으로 나타났다. 우선 적갈색 오염물에서 높게 나타난 Fe의 함량은 14번에서 212,580 ppm이며, 13번 지점을 제외하고는 120,000 ppm 전후의 높은 값을 갖는다(Figure 8). 13번 지점은 적갈색 변색부의 면적이 작아 오류가 있었던 것으로 추정된다. 그러나 탈락부의 평균 Fe 함량은 89,968 ppm으로 적갈색 변색부와 비교하였을

Figure 7. Analytical points of P-XRF showing surface contaminants on Stone Guardian (A to C), Front and back side of King's Stone Memorial Tablet (D and E), Front and back side of Queen's Stone Memorial Tablet (F and G).

Table 2. Result of P-XRF analysis (ppm) on the surface contaminants of Stone Guardian and Memorial Tablet. Point numbers are the same as those of Figure 7

No.	Ca	Fe	Ti	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Sr	Pb	Remarks
1	64,476	90,399	6,177	780	581	1,191	399	53	20	245	break out
2	251,082	75,003	5,098	652	<LOD	1,213	196	49	21	172	surface
3	150,008	85,734	8,466	870	729	1,370	140	73	21	40	surface
4	99,863	83,843	<LOD	1,010	565	1,425	119	110	27	675	break out
5	78,258	87,284	5,485	642	871	1,344	162	111	<LOD	456	break out
6	77,910	98,345	5,654	946	841	1,472	<LOD	78	<LOD	234	break out
7	72,504	97,424	9,163	976	495	1,442	131	91	<LOD	1,353	surface
8	46,304	99,910	10,348	1,341	471	1,593	<LOD	71	37	<LOD	surface
9	70,700	83,249	6,389	885	675	1,386	<LOD	68	35	<LOD	surface
10	66,901	94,788	6,281	753	661	1,623	<LOD	81	35	39	surface
11	60,953	88,299	4,349	988	773	1,441	<LOD	72	25	<LOD	surface
12	87,889	82,190	4,933	736	700	1,030	<LOD	66	32	27	surface
13	88,436	89,196	7,228	754	804	1,265	87	84	34	<LOD	red brown
14	23,581	379,027	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	148	<LOD	<LOD	954	red brown
15	71,090	94,042	4,502	944	<LOD	1,065	<LOD	56	22	46	surface
16	434,856	44,612	3,240	367	646	727	94	53	41	116	pale brown
17	52,005	107,287	5,403	1,148	1,407	1,866	102	76	33	35	surface
18	56,469	97,109	5,092	1,078	<LOD	1,594	<LOD	63	22	<LOD	surface
19	52,075	94,644	5,150	855	<LOD	1,668	<LOD	64	32	<LOD	surface
20	581,509	27,822	<LOD	294	346	572	88	36	65	47	pale brown
21	336,503	47,483	<LOD	550	<LOD	653	<LOD	52	48	<LOD	pale brown
22	51,425	104,539	7,533	1,284	596	1,348	<LOD	58	26	<LOD	surface
23	58,680	92,408	<LOD	1,117	495	1,506	<LOD	61	25	<LOD	surface
24	61,675	91,477	4,911	864	648	1,355	<LOD	60	26	<LOD	surface
25	78,397	89,592	10,942	1,167	468	1,355	<LOD	62	35	<LOD	surface
26	52,129	95,767	10,819	865	774	1,457	<LOD	46	30	<LOD	surface
27	54,987	103,039	8,541	1,146	688	1,455	<LOD	90	34	<LOD	red brown
28	336,717	54,378	<LOD	515	400	962	<LOD	52	44	<LOD	pale brown
29	110,859	87,434	10,030	1,052	751	1,344	<LOD	47	29	<LOD	surface
30	90,350	86,845	7,139	907	727	1,351	<LOD	70	28	<LOD	surface
31	44,490	110,060	<LOD	1,115	1,042	1,468	<LOD	86	31	56	red brown
32	494,747	44,882	<LOD	308	470	863	<LOD	63	52	95	pale brown

LOD; limit of detection

때, 최소 30,000 ppm의 차이를 보이는 것으로 보아 적갈색 오염물은 Fe에 의한 산화물로 확인되었다.

담갈색 오염물에서는 Ca의 함량이 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 탈락부의 Ca 평균 함량은 80,127 ppm인데 반하여, 담갈색 오염물은 최소 336,503 ppm에서 최대 581,509 ppm으로 4~6배 높은 수치이다(Figure 8). Ca을 양이온으로 구성하고 있는 대표적인 광물로는 방해석과 석고가 있다. 고분 내부는 보통 습도가 높은 환경으로, 이 담갈색 오염물은 주로 증발에 의하여 형성되는 석고보다는 방해석

계열의 광물일 가능성이 높다.

갈색 오염물의 발생 원인은 크게 두 가지를 들 수 있다. 첫째로 각섬석암은 초염기성암으로 Fe의 함량이 높은 암석이다. 국내외 각섬석암의 화학분석 자료를 보면, 대부분 철 산화물이 전체 조성 중 10%가 넘는 것을 볼 수 있다(Lee *et al.*, 2010a). 문화재관리국(Cultural Heritage Administration, 1973)에서 발행한 무령왕릉 발굴조사보고서에는 각섬석암 내에 자철석이 존재하고, 분말상의 적갈색 오염물은 Fe이 다량 함유된 철질 점토임을 보고하였다. 이러한 암석학

적 특성으로 인하여 일부 철 산화물이 자체적으로 형성되었을 가능성도 있다.

둘째로 같이 매장한 부장품 중 철제 유물에 의한 부식 산화물의 형성이다. 석수의 머리에는 철로 제작한 뿔이 있다. 또한 발굴 당시 석수와 지석 근처에서 철제 못이 발견되었고, 지석위에는 오수전이 올려져 있었다. 실제 왕비의 지석에 형성되어 있는 적갈색 오염물의 형태는 발굴 당시 사진에서 오수전이 놓여있던 형상과 일치함을 볼 수 있다(Figure 9). 이러한 사실들로 미루어 볼 때, 일부 적갈색 오염물은 철제 부장품들의 산화에서 기원한 것으로 판단된다.

담갈색 오염물을 구성하는 광물은 방해석 계열로 판단된다. 이 광물은 석회암이나 대리암을 구성하는 조암광물이다. 보통 화학적 풍화에 약하기 때문에 물에 쉽게 용해되어 이동하며, 안정된 환경에서 쉽게 재결정화 된다. 각섬석 암에서는 거의 관찰되지 않기 때문에 암석 자체에서 기원한 것은 아닌 것으로 판단하였다. 따라서 고분 제작 당시 사용한 강회 중에 석회가 강수에 의해 용해되고, 고분 내로 침투하여 재결정화 되면서 표면을 피복하면서 여기에 철 산화물이 영향을 주어 담갈색을 형성한 것으로 해석할 수

있다.

이 외에도 Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb 등이 검출되었으며, 검출한계 미만에서 수천 ppm의 농도 범위를 보였다. 이 원소들의 대부분은 각섬석암과 같은 염기성 심성암에 미량으로 포함될 수 있는 것들이다. 그러나 Pb는 석수에서 비정상적으로 높게 검출되는 부분이 있는 것으로 보아 안료의 영향을 받았을 것으로 판단된다. 한편 P, S, Cl 및 K도 같이 분석되었으나 거의 모든 지점에서 검출한계 미만으로 나타났다(Table 2).

3.3. 표면 손상도

3.3.1. 손상현황

석조문화재의 손상은 자연적 요인과 인위적 요인이 복합적으로 작용하여 발생한다. 일반적으로 물리적 및 기계적 풍화작용은 온도, 물, 바람 등 외부의 에너지로부터 발생한다. 또한 화학적 손상은 물이나 산소가 필수적이며, 생물학적 손상 역시 주위 환경조건에 영향을 받는다.

무령왕릉 석수와 지석은 빛이 들지 않아 연간 온도의 변

Figure 8. Diagrams showing Fe and Ca concentrations by P-XRF on the surface contaminants of Stone Guardian and Memorial Tablets.

Figure 9. Comparison photographs showing coin bunch (A) in those days of excavation (Cultural Heritage Administration, 1973) and reddish brown contaminants on the surface (B) of Queen's Stone Memorial Tablet.

화가 매우 작고, 공기의 순환도 거의 없는 고분 내부라는 특수한 환경에서 대부분의 시간을 보냈다. 또한 발굴 이후 국립공주박물관에서 관리해왔기 때문에 발견 당시에 부러져 있었던 오른쪽 뒷다리를 제외하면(Figure 10A), 풍화와 훼손으로 인한 물리적 손상은 매우 작은 상황이다. 그러나 이 석조유물 모두 모서리나 돌출부에서 부분적으로 미세 탈락이 발생하였고, 미세한 균열이나 박리가 관찰된다(Figure 10B, 10C, 10D).

화학적 풍화는 고분 내부 환경에서도 강수에 의해 물이 유입될 수 있고, 통기대를 통하여 산소 역시 공급될 수 있기 때문에 쉽게 발생할 수 있으며 주로 변색의 형태로 나타난다. 석수와 지석의 표면에도 부분적으로 철 산화물이 피복되어 있는 것을 관찰할 수 있으며, 지석에는 석회질 물질이 거의 전체를 아주 박층으로 피복하고 있다(Figure 10E, 10F). 이러한 사실로 보아 고분 내에서 화학적 손상이 꾸준히 진행된 것으로 추정된다.

3.3.2. 표면손상 유형

석조문화재는 손상되기 시작하면 완전한 복원이 어려우며, 보존처리를 수행한다 하더라도 계속해서 동일한 현상이 발생할 수 있다. 따라서 손상과정을 기록하고 가속을 예측하기 위해서는 현상기재 및 제어기술의 일환으로 손상유형에 따른 정밀손상지도 제작이 필수적이다(Jo and

Lee, 2010; Jo *et al.*, 2011).

손상지도는 육안 관찰 이외에도 타진법과 같은 여러 방법으로 정밀한 조사를 통해서도 작성할 수 있다. 그러나 석수와 지석은 유물의 특수성으로 인하여 최소한의 접촉만을 하였기 때문에 손상지도 작성에 있어서 주로 육안 관찰로 획득한 정보만을 이용하였다. 따라서 박리상 균열은 확인되지만 박리의 면적은 확인할 수 없었다.

주로 육안관찰이 가능한 수 cm의 범위에서 일어나는 손상양상을 표현하였고, 손상유형은 각각의 특징에 따라 균열, 탈락, 담갈색 오염물, 적갈색 오염물, 보수물질로 세분하였다. 이와 같이 정의된 손상유형을 근거로 각각의 손상지도를 작성하면 Figure 11과 같다.

균열은 육안으로 관찰할 수 있는 자연적 또는 인위적 불연속면으로 산출상태 및 발생 원인에 따라 미세 균열과 박리상 균열로 분류하였다. 탈락은 일정한 파단면을 가지고 떨어져 나간 것으로 정의하였다. 일반적으로 탈락은 박리로 인하여 발생하는 박락과 구분지어 사용하지만, 석수와 지석은 박락된 부분을 판단하기 어렵고 그 면적이 매우 적어 떨어져 나간 모든 부위를 탈락으로 하였다.

화학적 손상은 크게 색을 기준으로 분류하였다. 적갈색 오염물은 Fe의 산화물에 의한 것으로 암석에 포함되었거나 외부로부터 공급된 Fe이 갈색 또는 적갈색 산화물을 형성하여 피복된 것이다. 담갈색 오염물은 Ca이 용출되어 염

Figure 10. Deterioration status of Stone Guardian and Memorial Tablets. (A) Repair materials coated on the cutting surface of right back leg in Stone Guardian, (B) Microcrack of left side surface in Stone Guardian, (C) Exfoliation cracks of right side surface in Stone Guardian, (D) Small falling off part on the surface of Stone Guardian, (E) White contaminants on the surface of King's Stone Memorial Tablet, (F) Reddish brown contaminants on the surface of Queen's Stone Memorial Tablet.

을 형성한 후에 철산화물의 영향을 받은 것으로 보았다. 마지막으로 인위적 훼손은 자연이 아닌 사람에 의하여 이루어진 손상을 뜻하며, 석수의 우측 뒷다리를 보수하는 과정에서 사용한 보수 물질이 석수 표면에 고착되어 있는 것을 의미한다.

Figure 11에서 보는 바와 같이, 석수는 부분적인 미세탈

락과 오른쪽 뒷다리 부분의 접합흔 및 철제 뿔 주변의 적갈색 변색을 제외하고는 거의 원형을 유지하고 있다. 왕의 지석은 가장자리를 따라 미세탈락이 나타나고, 앞면의 우측과 중앙 일부에 적갈색 및 담갈색 오염물이 있으며, 배면에는 비교적 넓게 담갈색 오염물이 피복되어 있다. 왕비의 지석도 가장자리를 따라 미세탈락이 있으며, 앞면의 오른쪽

Figure 11. Deterioration maps of Stone Guardian (A to C), Front and back side of King's Stone Memorial Tablet (D and E), Front and back side of Queen's Stone Memorial Tablet (F and G).

에는 적갈색 오염물이, 오른쪽 일부를 제외한 전면에는 담갈색 오염물이 산재한다. 배면은 상대적으로 안정하여 일부에서만 적갈색 및 담갈색 오염물이 관찰된다.

4. 보존과학적 고찰

백제 유일의 피장자 신원이 밝혀진 무령왕릉은 많은 연구자들의 호기심을 자극하였다. 발굴 이후 무령왕릉과 출토 유물에 대하여도 많은 연구가 진행되어 왔다. 석수와 지석에 대한 연구 또한 지속되었으며, 주로 고고학적 연구가 다수를 이뤘다. 또한 석수의 채색 안료 분석도 이루어졌다. 그러나 석수와 지석을 구성하는 암석에 대한 연구는 발굴 보고서에 언급된 이후 전혀 진행된 바 없다. 이 연구는 석수와 지석의 암석학적 특성을 밝히는데 목적이 있으며, 이 결과는 무령왕릉 석제유물에 대한 과학적 연구뿐만 아니라 보존에 있어서도 중요한 자료가 될 것이다.

석수와 지석은 동일한 재질로 밝혀졌으며, 암종은 등립의 화성암으로 전반적인 표면색은 녹회색을 띠지만, 탈락부의 신선한 면은 암회색 내지 암록색을 보인다. 광물조성은 각섬석과 사장석이 대부분을 차지하며, 흑운모와 녹니석이 소량 관찰된다. 이러한 특징은 염기성 또는 초염기성 마그마로부터 형성된 심성암 중 각섬석암(hornblendite)에 해당하는 것이다.

한편 석수와 지석을 제작하는데 사용한 각섬석암의 산지를 해석하는 것이 가장 중요한 과제이나 정량분석 자료 없이는 상당한 어려움이 있다. 공주 인근에서는 각섬석암의 대단위 분포지를 확인할 수 없고(Lee and Jo, 2012), 이와 유사한 염기성 암맥이 소규모로 다수 존재할 뿐이다. Um and Lee(1963)는 공주 북서쪽에 위치한 대흥지역의 염기성 암맥 중에 각섬반암의 존재를 보고하였다. 만일 공주 근처에서 석재를 조달하였다면, 이러한 염기성암맥에서 채취하였을 개연성은 있다. 그러나 석수와 지석의 산출상태와 암상으로 보아 원암은 맥암보다는 심성암일 가능성이 훨씬 높은 것으로 나타났다.

공주와 가장 가까운 거리에서 심성암의 암주상으로 각섬석암이 산출되는 지역은 전라북도 장수와 아영 일대이다. 장수에서는 각섬석암을 ‘장수곶돌’이라 부르며, 돌솔과 같은 식기와 구이용 불판 및 비석 등으로 가공한 상품들을 지역 토산품으로 활용할 정도로 각섬석암의 대규모 산지이다. 공주에서 장수까지는 약 110 km 정도로 가까운 거리는 아니지만, 대단위의 각섬석암 산지이므로 이 가능성을 배제할 수 없다. 이 지역은 완주 갈동 유적 용범의 원산

지로도 검토된바 있다(Lee *et al.*, 2010a).

석수와 지석에서 관찰되는 표면오염물은 적갈색 오염물과 담갈색 오염물이 주를 이룬다. 적갈색 오염물의 원인은 Fe의 산화물이며, Fe의 기원은 암석 내부와 외부 유입이 공존하는 것으로 해석하였다. 각섬석암은 Fe을 다량 함유한 암석으로 자체적인 반응에 의하여 일부 Fe 산화물이 형성될 수 있다. 또한 고분 내부에서 쇳물, 오수전 등 철제 유물들이 발견되었는데, 이러한 철제 부장품들의 산화가 크게 기여하였을 것이다. 담갈색 오염원은 Ca으로 암석 내부에서 유리되었을 가능성은 거의 없다. 이는 왕릉의 공사 과정에서 사용된 탄산염 물질에서 비롯되었을 것으로 판단되며, 부장품으로 사용된 철제유물의 산화에 영향을 받았을 것으로 해석하였다.

5. 결 언

1. 무령왕릉 석수와 지석의 육안 및 현미경 관찰 결과, 두 석제품을 구성하는 암석은 동일한 재질로 밝혀졌다. 이 암석은 녹회색을 띠고 등립질에 중립의 입상조직을 보이며, 주요 구성광물은 각섬석과 사장석이다. 이는 심성화성암에 속하는 각섬석암(hornblendite)이다.

2. 석수의 전암대자율은 0.15~0.63(평균 0.42×10^{-3} SI unit)의 분포를 보이며, 왕의 지석은 0.11~0.38(평균 0.24×10^{-3} SI unit)이다. 왕비 지석의 대자율은 0.10~0.33(평균 0.18×10^{-3} SI unit)이다. 석수와 지석은 모두 1.00 미만의 매우 작은 전암대자율 값을 갖는 동종의 암석이다.

3. 석수와 지석에 나타난 표면오염물은 크게 적갈색 오염물과 담갈색 오염물로 나뉜다. 분석 결과, 적갈색 오염물은 Fe에 의한 산화물, 담갈색 오염물은 Ca의 용출에 의한 것으로 추정된다. 적갈색 오염물은 암석 내부적 기원과 철제 부장품의 산화가 모두 작용하였으며, 담갈색 오염물은 왕릉에 사용된 석회물질과 철산화물의 영향으로 해석된다.

4. 석수와 지석은 균열, 탈락 등과 같은 물리적 요인과 화학적 오염이 복합적으로 작용하여 손상이 진행되었다. 그러나 두 석제품 모두 물리적 손상은 극히 적게 나타나며, 석수의 일부분과 왕비의 지석 앞면을 제외하고는 화학적 풍화에도 비교적 안정한 상태이다.

5. 이 암석은 공주 부근에서 대규모 산출지를 찾기 어려우나 암맥상으로는 여러 곳에서 확인되는 암석의 일종이다. 그러나 산출상태와 암상으로 보아 석수와 지석의 암석은 맥암과는 달리 심성암의 특징을 보인다.

REFERENCES

- Cultural Heritage Administration, 1973, Report of excavation survey for Muryeong royal tomb. 1-284. (in Korean)
- Cultural Heritage Administration, 2017, Explanatory text for Korean cultural heritage. <http://www.cha.go.kr/heritage/> (in Korean)
- Jang, S.N., 2011, Origins and acceptance background of the land purchase records of the tomb of king Muryeong. The Paekche Yonku, 54, 84-85. (in Korean with English abstract)
- Jo, Y.H. and Lee, C.H., 2011, Making method of deterioration map and evaluation techniques of surface and three dimensional deterioration rate for stone cultural heritage. Journal of Conservation Science, 27(3), 251-260. (in Korean with English abstract)
- Jo, Y.H., Lee, M.S., Choi, G.E. and Lee, C.H., 2011, Precise deterioration diagnosis and restoration stone suggestion of Jungdong and Banjukdong stone aquariums in Gongju, Korea. MUN HWA JAE, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 44, 92-111. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H. and Jo, Y.H., 2012, Geology around the Songsanri tomb complex (Gongju area). Gongju National Museum, 25, 6-17. (in Korean)
- Lee, C.H., Kim, J. and Kim, M.S., 2010a, Petrography and provenance interpretation of the stone moulds for bronze daggers from the Galdong prehistoric site, Republic of Korea. Archaeometry, 52, 31-44.
- Lee, C.H., Kim, M.Y., Jo, Y.H. and Lee, M.S., 2010b, Conservation treatment based on material characteristics, provenance presumption and deterioration diagnosis of the seven-storied Jungwon Tappyeongri stone pagoda, Chungju, Korea. MUN HWA JAE, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 43, 4-25. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.H., Kim, Y.T., and Lee, M.S., 2007, Provenance presumption for rock properties of the five-storied stone pagoda in the Jeongrimsaji temple site, Buyeo, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 43, 183-196. (in Korean with English abstract)
- Uchida, E., Cunin, O., Suda, C., Ueno, A. and Nakagawa, T., 2007, Consideration on the construction process and the sandstone quarries during the Ankor period based on the magnetic susceptibility. Journal of Archaeological Science, 34, 924-935.
- Um, S.H. and Lee, M.S., 1963, Explanatory text of the geological map of Daeheung sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 1-18. (in Korean with English abstract)
- Yu, H., 2005, Pigment analysis of coloration and inlay decoration: Analytical report of artifact from Muryeong royal tomb I. Gongju National Museum, 17, 8-60. (in Korean)