

박물관 보존과학

제24집. 2020

목 차

대구 달성 55호분 출토 삼엽문이자태도의 재보존처리와 제작기법 연구	1
이희성, 허일권, 노지현, 박승원	
Re-conservation of the Iron Sword with Ring Pommel with Three-Pointed Leaf Decoration Excavated from Tomb No. 55 at the Dalseong Ancient Tomb Complex in Daegu and a Study of Its Production Method	
Lee Huisung, Huh Ilkwon, Ro Jihyun, Park Seungwon	
고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 제작 기법과 보존처리	17
김해솔, 허일권	
Manufacturing Technique and Conservation of Bigyeokjincheolloe Bomb Shells Excavated from the Ancient Local Government Office and Fortress of Mujang-hyeon, Gochang	
Kim Haesol, Huh Ilkwon	
해남 흑천리 마등 4호 토광묘 출토 화천의 보존처리와 고고학적 분석	37
김미도리, 조연태, 이양수	
Conservation and Archaeological Analysis of Huo Quan Coins Excavated from Tomb No. 4 at the Madeung Archeological Site in Heukcheon-ri, Haenam	
Kim Midori, Jo Yeontae, Yi Yangsu	
성덕대왕신종의 3차원 디지털 기록화 의미와 모니터링 기초자료 구축	55
조영훈, 송형록, 이승은	
Significance of Three-Dimensional Digital Documentation and Establishment of Monitoring Basic Data for the Sacred Bell of Great King Seongdeok	
Jo Younghoon, Song Hyeongrok, Lee Sungeun	
엑스선 컴퓨터 단층면 조사를 통한 나전연상 백골의 제작기법 연구	75
박영만, 양석진	
Study of the Production Method of the Framework of Lacquerware Inlaid with Mother-of-pearl Using X-ray Computed Tomography	
Park Youngman, Yang Seokjin	
비파괴 분석을 통한 최치원 진영(崔致遠眞影)의 도상 및 채색재료 연구	81
최현욱, 곽홍인, 신용비	
Nondestructive Analysis of Portrait of Master Gowun at <i>Wunamyongdang Shrine</i> for Investigation of the Original Images and Pigments	
Choi Hyunwook, Gwak Hongin, Shin Yongbi	
분석자료를 기초한 고대 납유리와 녹유의 특성 연구	99
이지희, 김현정	
Characteristic study of Ancient Northeast Asian Lead Glass and Green Glaze Based on Analysis Results	
Lee Jihee, Kim Hyunjeong	
미얀마 바간유적 파야툰주 사원벽화의 채색층 고착처리를 위한 님(Neem) 수지 적용 가능성 연구	117
음소정, 이화수	
A Study on Applicability of Neem Resin as a Fixative on the Painting Layer of Mural Paintings from Payathonzu Temple in Bagan, Myanmar	
Eum Sojeong, Lee Hwasoo	

대구 달성 55호분 출토 삼엽문이자태도의 재보존처리와 제작 기법 연구

Re-conservation of the
Iron Sword with Ring Pommel
with Three-Pointed Leaf
Decoration Excavated from
Tomb No. 55 at the Dalseong
Ancient Tomb Complex in
Daegu and a Study of Its
Production Method

이희성¹, 허일권², 노지현³,
박승원^{1,*}

¹국립대구박물관, ²국립진주박물관,
³국립부여박물관

Lee Huisung¹, Huh Ilkwon²,
Ro Jihyun³, Park Seungwon^{1,*}

¹Daegu National Museum,
²Jinju National Museum,
³Buyeo National Museum

* Corresponding Author:
Park Seungwon

Tel: 82-53-760-8544
E-mail: meides@korea.kr

요약

대구 달성 고분군 중 하나인 55호분에서 발견된 부장품 중 삼엽문이자태도의 재보존처리와 제작 기법에 관한 연구이다. 이자태도는 모도가 2점, 자도가 4점이 부착된 이합도이고 출토된 원형으로는 유일하다. 과거 2회의 보존처리가 실시된 기록이 있으며 이번에 균열부 보강재 교체를 위한 재보존처리와 함께 컴퓨터 단층촬영(CT), XRF분석, 실체현미경 관찰을 통해 유물의 재질, 성분, 제작 기법을 조사하였다. 주 성분은 구리(Cu)이고 금색 부분에서는 금(Au)과 수은(Hg)이 함께 검출된 것으로 보아 구리에 수은 amalgam 금도금을 한 금동으로 추정된다. 제작 기법을 조사한 결과 등근 삼엽문의 환두부와 병부의 연결은 숭배 부분을 만들어 끼웠고 병판만 금속판으로 제작되어 있는 것을 보아 장식으로서의 기능이 높다고 판단할 수 있다. 상부 자도의 결합 방식은 모도와 같고, 하부 자도는 하나의 금속판을 재단하여 만들었다. 검초는 총 2개의 판을 재단하여 만들었고 상부 자도를 검초에 고정하기 위해 자도 도신부의 아래쪽에 지지대를 넣었으며 하부 자도는 검초 일부를 재단하여 안으로 꽂아 넣었다. 표현된 문양은, 환두부는 삼엽문, 병판은 횡주 연호문, 초구금구와 초미금구는 파상형 점열문, 어미형 초미금구는 점열문을 시문하여 제작되었다.

주제어 : 삼엽문이자태도, 이합도, 달성고분, 컴퓨터 단층촬영(CT), XRF, X-ray

Abstract

This paper presents the process of re-conservation and the results of research on the production method of the Iron Sword with Ring Pommel with Three-Pointed Leaf Decoration, one of the excavation findings from Tomb No. 55 in the Dalseong Ancient Tomb Complex in Daegu. This iron sword is a double weapon with two large swords housed within a single sheath. Four smaller swords are attached to the surface of the sheath, two on the upper portion and the other two below. It is the only such two-in-one weapon excavated intact thus far from an ancient Korean tomb. The records show that it underwent conservation treatment twice in the past. In this study, it was subjected to conservation treatment again to replace the stiffener in some cracking areas, and its material, composition, and production method were analyzed by CT, XRF analysis, and stereoscopic microscopy.

The sword is mainly made of copper, but the golden component contains both gold and mercury, which suggests that the copper was plated in gold using mercury amalgamation. The examination of the production methods indicates that it was intended more to demonstrate the authority of its owner rather than to serve any practical use. The two upper small swords on the sheath were made in the same manner as the main swords, and the two small lower swords were cut from a single metal sheet. The sheath was made by cutting two metal sheets. Supports were used to attach the two small swords to the upper portion of the sheath, while the lower portion of the sheath was slit to allow the other two small swords to be inserted into it. The ring pommels of the main swords have a three-pointed leaf decoration. As for the other designs, the handle of the main sword features a series of semicircles, the decorative bands on the sheath have waves in dots, and the fish tail of the sheath shows diagonal lines of dots.

Keywords : Iron Sword with Ring Pommel with Three-Pointed Leaf Decoration, Two-in-one Sword, Dalseong Ancient Tomb Complex, Computed Tomography, XRF, X-ray

투고일: 2020. 9. 21. 심사(수정)일: 2020. 11. 6. 게재확정일: 2020. 11. 13.

1. 머리말

달성 고분군은 대구광역시 서구 비산동과 내당동 일대에 분포하는 고분이다. 55호분의 잔존 봉토는 원형이며 직경이 18m 정도이다. 봉토(封土) 내부의 서쪽에는 1기의 석곽(石槨)이 축조되었다. 장축은 동북-서남방향이다. 발굴 조사한 노모리 켄(野守健)은 37호와 함께 앞트기식돌덧널[횡혈식석곽橫穴式石槨]묘로 판단하였다. 부장품은 경주를 제외한 영남지역 고총 고분 가운데 다양한 금속제품이 부장된 무덤에 속하며 청동합과 이자태도, 등울 등은 출토 사례가 많지 않은 특수한 유물들이다.

삼엽문이자태도는 도신부가 목재인 복합재질의 유물이다. 과거의 처리 기록카드로 기존에 보존처리가 두 번 행해진 것이 확인되었으나 재질의 약화로 인해 손상이 진행 중이었으며 후면 손상부 보강재료로 사용된 거즈로 인해 시각적으로 불편하여 후면 전시가 불가능한 상황이다. 기존에 보존처리 되었던 강화, 복원제를 제거하고 목재의 강화를 실시하여 원형을 유지하도록 재보존처리를 진행하였다.

삼엽문이자태도는 이합도로서 완형으로는 비슷한 것을 찾을 수 없는 특이한 형태이다. 이합도란 하나의 검집에 두 자루의 검이 들어가는 형태를 말한다. 국내에서 완형으로 출토된 이합도로써는 유일하며 금관총에서 이합도의 편이 발굴된 바 있다. 두 번에 걸친 보존처리 동안 제작방법과 재질 등에 대해서 자세히 조사된 적이 없었다. 그렇기에 컴퓨터 단층촬영, XRF분석, 실체 현미경 관찰을 통해 유물의 재질, 성분, 제작 기법을 조사하였다^[1].

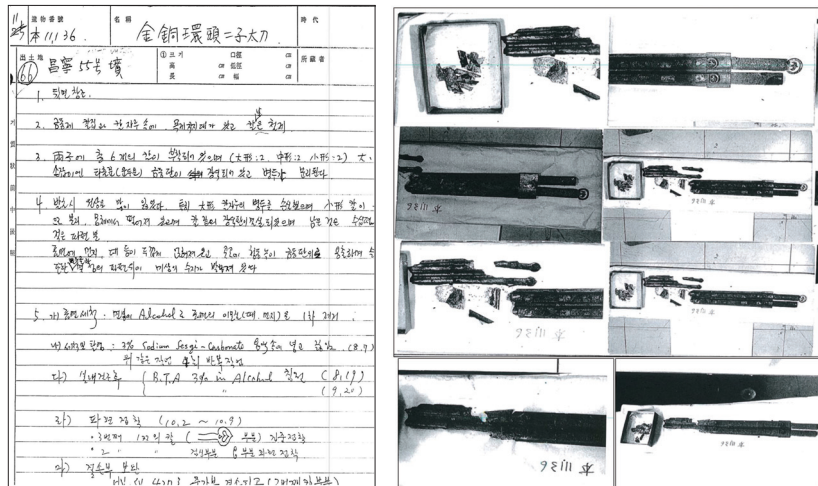
2. 보존처리

2.1. 과거의 보존처리

삼엽문이자태도(이하 ‘이자태도’)는 1984년에 보존처리가 시행된 기록이 있다^[2]. “금동제 칼집과 칼자루 속에 목재 지지대가 있고 칼날은 철제이다. 발굴 시 원형을 많이 잃었으며 특히 모도(母刀)의 병두(柄頭)가 손실되었고 자도(子刀)의 칼이 두 도막으로 분리되어 떨어져 나왔다. 칼끝의 장식 판이 결실되었고 수십 편의 파편이 잔존하였다. 표면에 먼지 등이 두껍게 얹어져 있고 청동녹이 금동판 위로 용출되어 있다. 유물의 파편 위에 미상의 수지가 발려있다.”고 당시의 상태가 자세히 서술되어 있다.

당시의 보존처리는 세척, 탈염, 건조, 방청, 접착, 복원 순이었다. 먼저 면봉에 Ethyl alcohol을 묻혀 표면의 이물질을 제거하는 표면세척을 하였다. 탈염은 3% S.S.C(Sodium sesquicarbonate) 용액 속에 넣고 가열하는 방법을 4회 반복하였다. 실내건조 후 BTA(Benzotriazol) 3wt.%(in Ethyl alcohol)에 침적해주었다. 그 뒤 파편 접합을 하고 복원하였다. 복원은 Epoxy계 수지 HV427과 SV427로 밀의 자도 부

본 결손된 곳을 메우고 Oil color로 채색하였다. 전면 오른쪽의 병두의 환두는 아크릴로 오려서 복원하였으며 채색은 금분에 Acetone과 Cemendine C를 혼합하여 사용하였다. 어미형 초미금구는 1923년(대정 12년) 보고서에 따라 실물비율로 확대하여 복원하였다. 밑판은 FRP(Fiber reinforced plastics)를 사용하였고 표면은 Epoxy계 수지 HV427과 SV427을 사용하여 문양까지 표시하였으며 색은 환두와 동일하게 채색하였다.



도1. 처리 기록카드(1984년)

두 번째 보존처리는 2006년에 실시되었다. 당시 특별전 『대구의 뿌리, 달성』을 기획하던 국립대구박물관에서 어미형 초미금구의 파손된 편을 확인하고 기존의 복원부를 제거 후 원형의 훼손이 없도록 접합부의 표면을 조정하여 복원을 완료하였다⁽⁵²⁾.

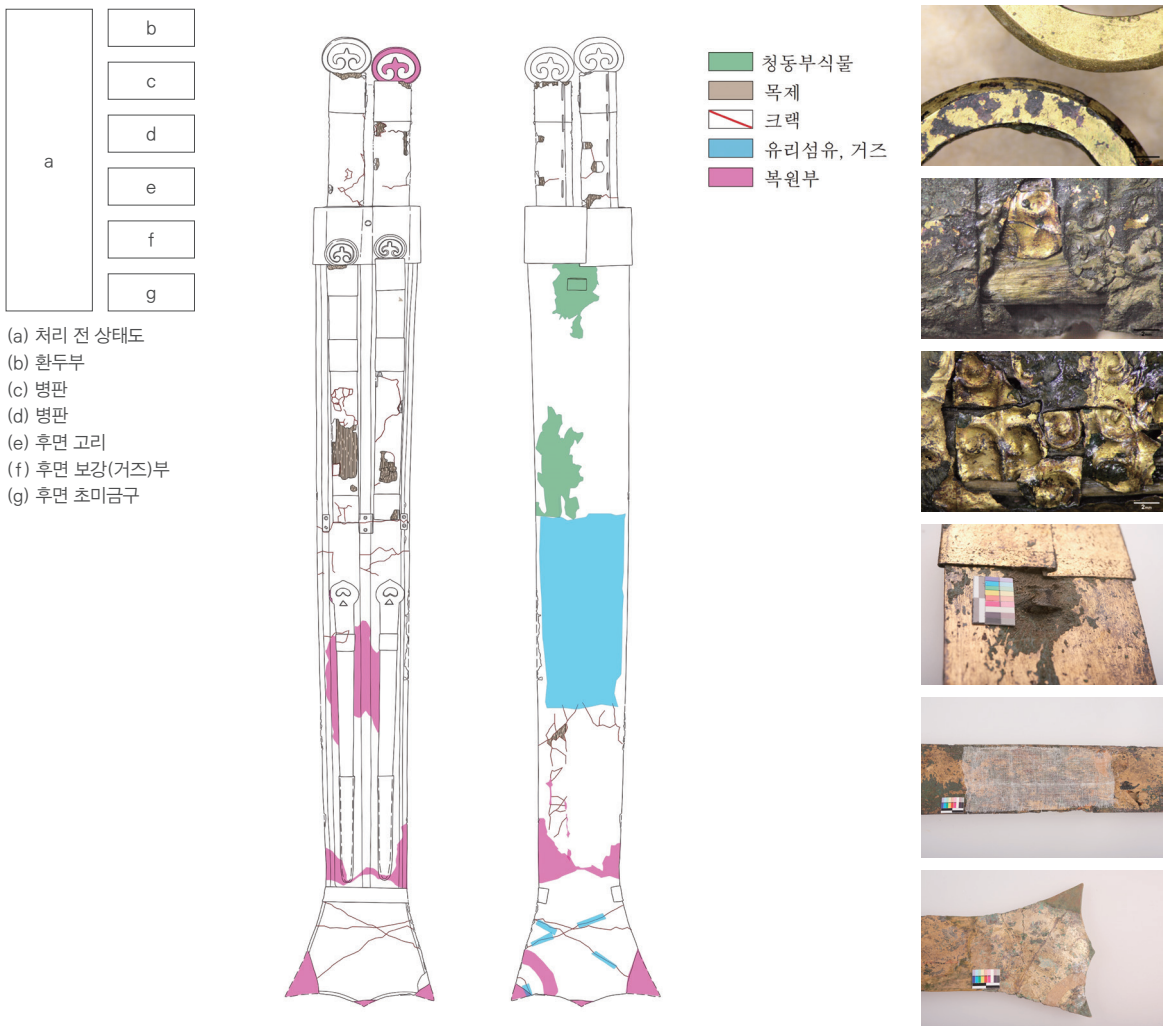


도2. 어미형 초미금구의 보존처리 전과 후

2.2. 재보존처리를 위한 상태 조사

이자태도는 한 검집에 두 개의 칼이 들어있고 각 칼에 다시 두 개의 자도가 달린 특별한 형태의 환두대도이다. 제작 시기는 삼국시대로 추정되며 총 길이 67cm, 최대 넓

이 10cm이다. 모도의 병판의 재질이 전체적으로 약화되어 크랙이 육안으로 관찰되며 녹색 부식물이 생성되어 있다^(㉔3a). 우측 모도의 환두부는 복원된 부분이다^(㉔3b). 전면의 상부 자도는 일부 손실되어 도신부의 목재가 드러나 보인다^(㉔3c-d). 칼집의 뒤판은 고리 부분에 일부 청동녹이 발생하였다. 고리 내부의 녹의 형태가 특이하며 이는 가죽 등의 유기물이 함께 있었기 때문으로 추정된다^(㉔3e). 후면 균열 부분은 거즈로 보강되어 있다^(㉔3f). 거즈는 강화제와 함께 부착되어 있기 때문에 가려진 아랫부분은 육안으로 확인이 힘들다. 칼집은 하부 자도 주변과 초미금구와 칼집을 연결하는 부분, 초미금구의 끝 세 모서리가 복원되어 있다^(㉔3g). 초미금구의 뒤판은 일부 균열에 유리섬유로 보강된 부분이 확인되며 강화제로 추정되는 얇은 피막의 박락이 일어났다.

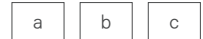
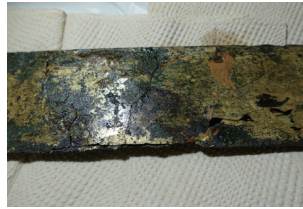
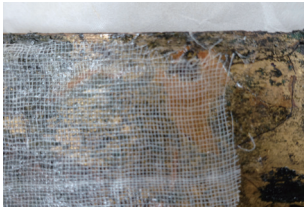


도3. 처리 전 상태와 상태 세부 사진

2.3. 이물질 제거

이물질 제거는 크게 전체적인 세척과 거즈 제거로 나누어 진행하였다. 현미경으로 표면을 관찰하면서 면봉, 붓 등의 소도구와 Ethyl alcohol을 이용하여 원형을 손상하지 않는 범위 내에서 조심스럽게 제거하였다. 기존의 강화제가 피막 형태로 박락되는 것을 고려하여 Acetone으로 기존의 강화제를 제거하였다.

뒷면의 거즈 제거 전^(도4,a)에 검의 구조와 육안으로 보이지 않는 손상 여부를 확인을 위해 컴퓨터 단층촬영 조사하였다. 조사된 결과를 바탕으로 제거시 유물에 영향이 없는 것을 확인한 후 진행하였다. 거즈는 기존의 강화제를 판처럼 만들어 부착되어 있어 Acetone을 사용하는 것이 적합하였으며 원면의 손상을 최소화하기 위해 붓에 발라 조금씩 용해시켜 제거하였다^(도4,b-c).



(a) 후면 거즈 부착 부분
(b) 거즈 제거
(c) 거즈 제거 후 표면
노출 상태

도4. 후면 거즈 제거 전과 후

2.4. 안정화처리와 강화처리

이자태도는 금동과 목재로 이루어져 있어 안정화처리는 이분화하여 진행하였다. 금동제 부분은 부식억제제 BTA 3wt.%(in Ethyl alcohol)용액을 3회 도포한 후 자연상태에서 건조하였다. 강화처리는 아크릴계 수지인 Paraloid B-72 10wt.%(in Xylene)를 도포하였다. 목재부분 내부에 Paraloid B-72 5wt.%(in Xylene)를 주사기를 이용하여 일부 주입시켰다. 거즈를 제거한 뒤판은 균열부에 유리섬유를 부착하였으며 뒷면 복원부 일부를 원형의 높이에 맞게 성형하였다^[2].

3. 제작기법 조사

3.1. 조사방법

육안으로 확인하기 힘든 표면 부분은 실체현미경(M80, Leica, Germany)을 이용하여 조사 및 사진 촬영하였다. 내부구조는 컴퓨터 단층촬영과 과거의 X선 촬영 영상을 활용하였다. 컴퓨터 단층촬영(CT Moduler, YXLON, Germany)은 국립중앙박물관에서 실시하였고, 사용된 X선 전압은 300kV와 전류 2.3mA이다. 유물의 재질을 확인하기 위하여 XRF(Portable μ XRF Spectrometer, ArtTAX, Bruker Nano GmbH,

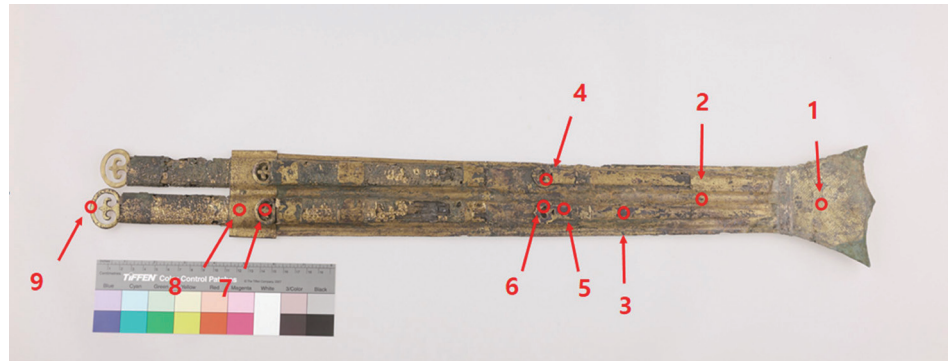
Germany)를 이용하여 분석하였다. 사용 기기의 분석 조건은 <표1>과 같다.

표1. 분석 조건

분석 기기	분석 조건				
XRF	전압	전류	시간	콜리메이터	
	50kV	600 μ A	200s	0.65mm	
CT	X선발생장치			영상출력장치	
	전압	전류	초점크기	크기	단층영상개수
	300kV	2.3mA	small	409.6 \times 409.6mm ²	5,760
실체현미경	8:1 줌, 7.5X~60X				

3.2. XRF분석 결과

소장품 표면 부식층에 대한 비파괴성분 분석이므로 결과는 원 소지의 성분(함유량 wt.%)과는 차이를 보일 수 있으며, 성분 분석 위치는 <도5>, 분석 결과는 <표2>와 같다. 성분 분석결과, 이자태도의 주성분은 구리(Cu)이고 금색 부분에서는 금(Au)과 수은(Hg)이 함께 검출된 것으로 보아 구리에 수은 아말감 금도금을 한 것으로 추정된다.



도5. 성분 분석 위치

표2. 성분 분석 결과

(단위: wt.%)

분석 위치		검출 원소												추정 재질
		Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Au	Hg	Pb	
1	도금	0.00	0.03	0.01	76.68	0.01	0.01	0.33	0.01	0.03	19.80	3.08	0.01	구리에 수은 아말감 금도금
2	도금	0.00	1.41	0.01	82.91	0.01	0.12	0.63	0.02	0.02	12.41	2.11	0.35	
4	도금	0.01	0.10	0.01	53.09	0.00	0.00	0.30	0.03	0.22	39.81	6.36	0.08	
7	도금	0.01	0.02	0.01	59.19	0.00	0.02	0.22	0.00	0.24	33.92	6.28	0.08	
8	도금	0.00	0.08	0.01	70.57	0.01	0.00	0.23	0.00	0.00	25.26	3.85	0.00	
9	도금	0.02	0.03	0.04	27.69	0.09	0.00	0.19	0.00	0.18	58.60	13.15	0.00	
3	소지	0.00	0.03	0.01	98.46	0.01	0.14	0.20	0.05	0.37	0.08	0.00	0.66	
5	소지	0.00	0.03	0.02	98.88	0.01	0.08	0.18	0.03	0.24	0.09	0.00	0.45	
6	소지	0.00	0.01	0.01	98.90	0.01	0.08	0.20	0.05	0.24	0.08	0.00	0.41	

3.3. 제작 기법

이자태도는 모도가 2점, 자도가 4점이 부착된 이합도이며 각 세부명칭은 <도6>과 같다. 분석결과를 바탕으로 각 부의 특징과 제작 기법을 설명하면 다음과 같다^[3].



도6. 세부 명칭

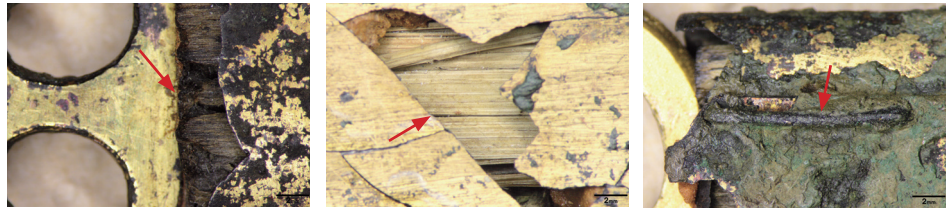
3.3.1. 모도

모도의 신부는 목재로 이루어져 있으며 2점이다. 도신부가 목재로 제작된 것은 이자태도 외에도 금령총(金鈴塚) 은장 목도와 금관총(金冠塚) 금동장삼환두목도(金銅裝三環頭木刀) 등이 있다. 모도 병부의 목재와 검초 내 신부의 목재는 다른 종류로 확인된다^[57,a-b]. 환두부는 외환이 둥글고 환두장식은 삼엽문이다. 우측의 환두부는 복원한 것이다. 주 소재는 구리이고 그 위에 수은 아말감 금도금하여 제작되었다.

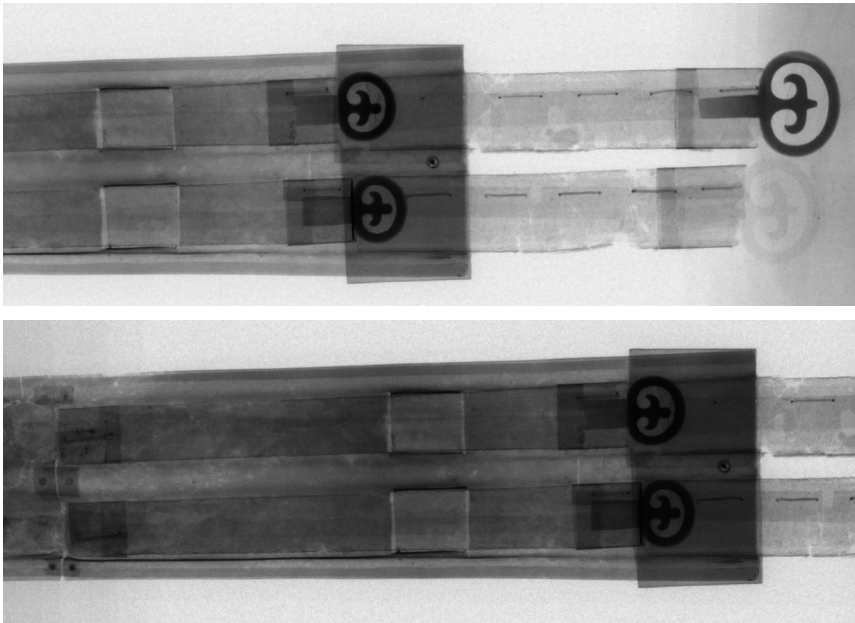
환두부를 병부와 연결하기 위하여 환두에 직사각형의 스톱 부분을 만들어 병목을

끼워 연결하였다. 병두금구는 병목 위에 얇은 판을 덧대어 감아 π 자형 못을 박아서 고정하였으며 별도의 문양이 없다^(도7, c). 병목을 감싸는 병판은 도금된 청동판을 감싸서 겹쳐진 후면 부분에 약 12mm의 π 자형 못을 일정한 간격으로 3mm 깊이로 도신부의 목재와 함께 박아서 고정하였다^(도8, a). 도신부의 목재는 환두로부터 대략 40cm까지는 형태가 확인되나 그 이후로는 파손된 편들로 잔존하여 명확한 형태를 알 수 없다^(도8, b-c).

- | | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
|---|---|---|
- (a) 병부 목재
(b) 신부 목재
(c) π 자형 못



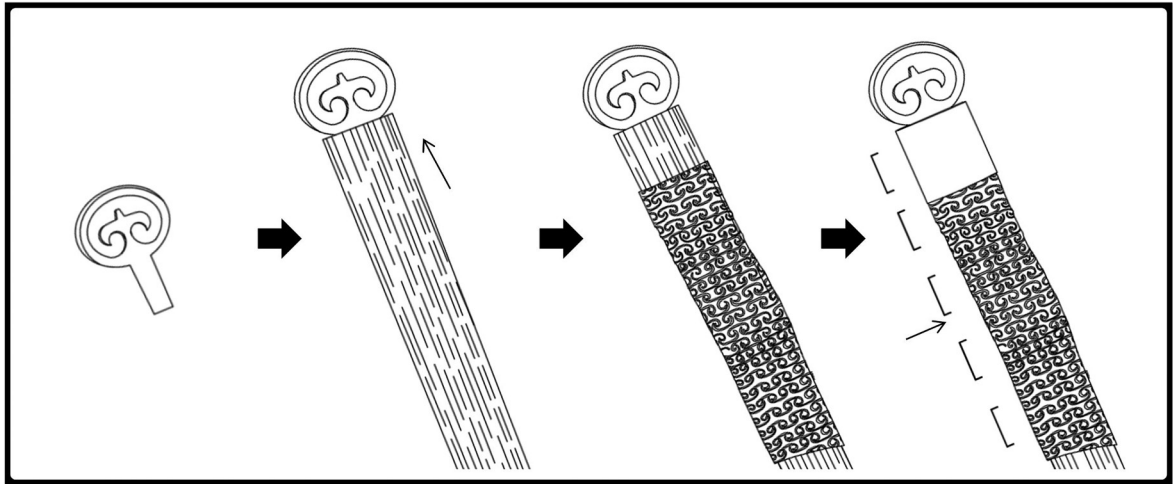
도7. 모도 현미경 조사



- | | |
|---|---|
| a | c |
| b | |
- (a) 병부 CT 2D
(b) 목재부 CT 2D
(c) 목재부 단면 CT

도8. 모도 X선 컴퓨터 단층촬영

조사 내용을 바탕으로 추정한 모도의 제작 과정은 <도9>와 같다. 칼집 안으로 들어 있는 병판의 끝부분은 정돈되지 않고 불규칙하게 잘려있는데 이를 통해 본 이자태도가 무기로서는 실효성이 떨어지는 위세품인 것을 알 수 있다.



도9. 모도 제작 과정 모식도.

3.3.2. 자도

이자태도는 총 4개의 자도가 있으며 상부의 자도와 하부의 자도는 형태가 다르다.

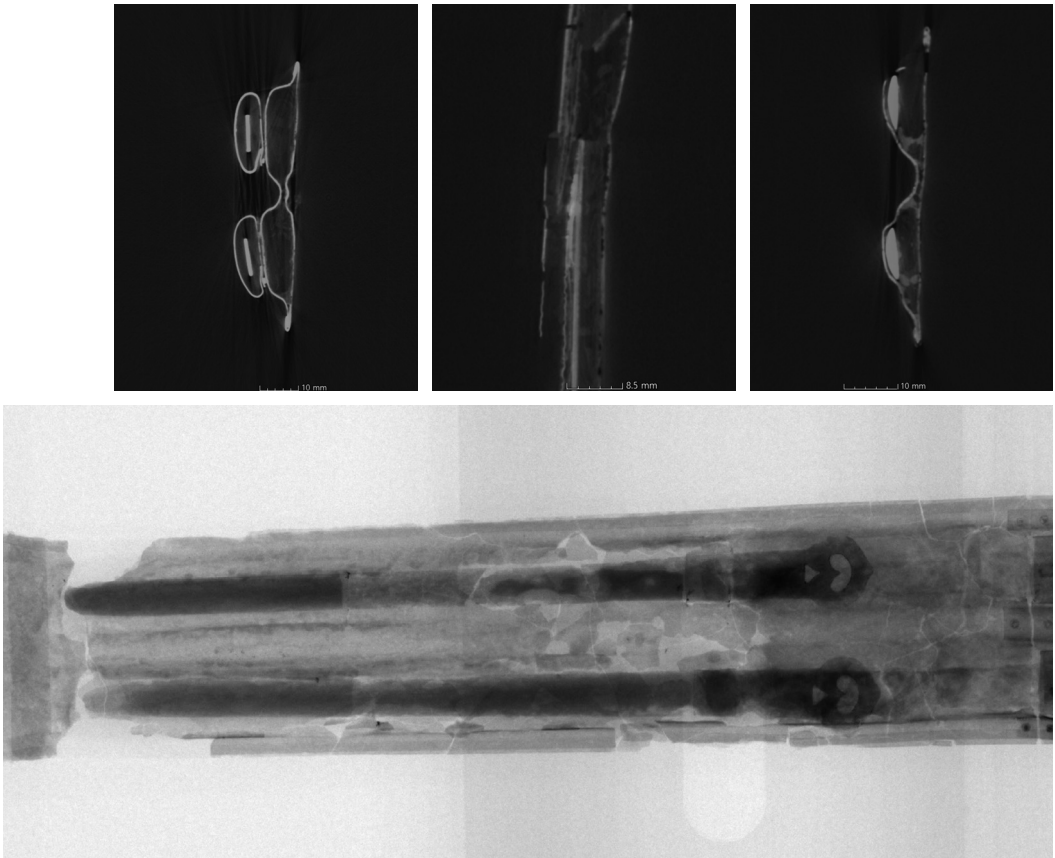
상부 자도는 환두부가 삼엽문의 형태를 이루고 있으며 결합방식이 모도와 같다(도10.a). 상부 자도의 도신부는 목재이다(도10.b). 목재 위에 횡주연호문이 타출된 금속판이 감싸고 있다, 상부 자도의 병두부와 미부는 금속판을 덧대어 n자형 못을 후면에 감아서 고정하였으나 중간 금속판은 칼집의 상판이 재단된 판으로 자도를 고정하고 있다. 목재의 미부 중간에 소재가 불명한 지지대를 꽂은 뒤 검집 안으로 넣어 고정시킨 것을 알 수 있다(도11.b-c).

하부 자도는 하나의 금속판을 재단하여 만든 것이다(도10.c). 환두부는 역삼엽형이다. 초미금구의 장식띠에서 8cm 위쪽의 검초신부에 1.2cm 정도의 칼집을 내어 자도의 하위 전체를 끼우는 형태로 고정하였다(도11.c-d).



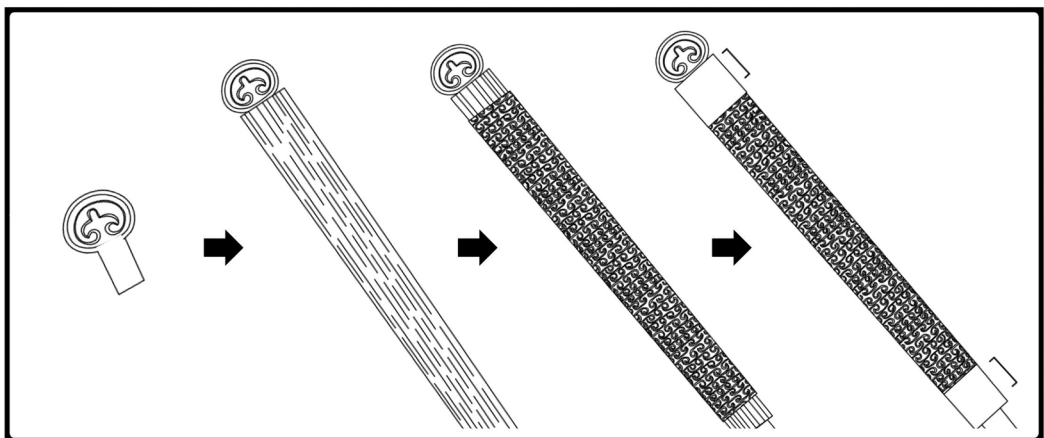
(a) 상부 자도 결합부
(b) 상부 자도 도신부
(c) 하부 자도 결합부

도10. 자도 현미경 조사



도11. 자도 컴퓨터 단층촬영

조사 내용을 바탕으로 추정한 모도의 제작 과정은 <도12>와 같다.



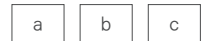
도12. 자도 제작 과정 모식도.

3.3.3. 검초

구리에 아말감도금을 한 것으로 상판과 하판을 별도로 제작하여 연결한 것으로 보인다. 모도를 넣은 뒤 장식띠를 두르고 그 뒤에 자도를 끼워서 제작한 것으로 판단된다. 상판의 가장자리 끝부분을 하판을 말아서 고정하였기 때문에 하판은 상판보다 3~5mm 더 크게 만들었을 것으로 추정된다. 후면은 편평하며 전면은 모도가 들어갈 수 있도록 형태를 만들었다. 초구금구는 별개의 금속판을 덧대어 제작하였다.

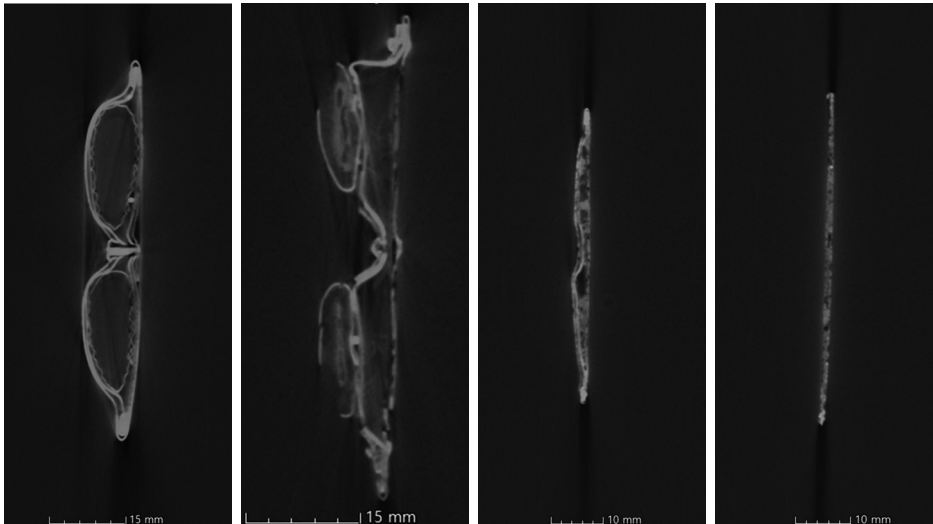
중간에 원두정을 박아 검초와 함께 고정시켰으며^(도13.a) 초구금구의 후면에서는 보이지 않는다^(도14.a). 후면 초구금구는 Z자로 접혀 겹쳐져 있다^(도13.c). 그 밑의 고리는 후면의 금속판을 재단하여 바깥으로 빼내어 제작하였다. 검초 중앙부의 좌측, 중앙, 우측에 각 2개씩 6개의 원두정이 박혀있다^(도13.b). 얇은 금속판을 덧대어 후면까지 박혀 있다^(도14.b). 이는 검초의 지지를 위한 것으로 보인다.

초미금구는 어미형으로 특이한 형태이다. 상판과 하판을 두드려 겹쳐서 끝을 맡았다^(도14.c-d) [4][5].



- (a) 원두정
(b) 신부 원두정
(c) 초구금구 후면

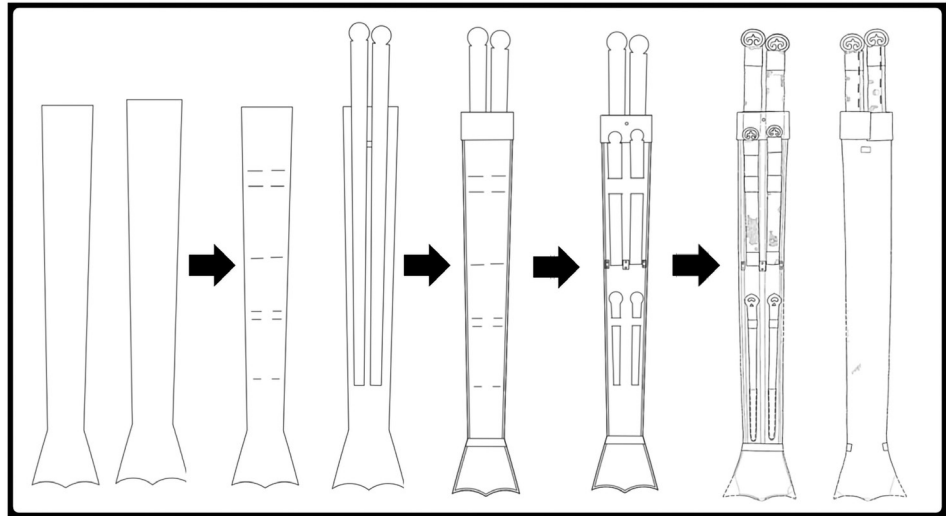
도 13. 검초 현미경 조사



- (a) 원두정 단면
(b) 신부 원두정 단면
(c) 초미금구 위 단면
(d) 신부 원두정

도 14. 검초 컴퓨터 단층촬영

초미금구와 연결되는 장식띠는 금속판을 재단하여 부착하였으며 전체가 감긴 것이 아니고 전면 전체와 후면 일부를 감싸고 있다. 조사 내용을 바탕으로 추정된 검초의 제작과정은 <도15>와 같다.



도15. 검초 제작과정 모식도

4. 형태적 특성

4.1. 환두부

모도의 외환은 원형이며 환내 장식은 삼엽문이다(도16.a-b). 상부의 자도는 모도와 형태가 비슷하다. 하부의 자도는 하나의 판을 재단하여 만든 것으로 역삼엽형의 형태이다(도16.c)[5].



(a) 모도
(b) 상부 자도
(c) 하부 자도



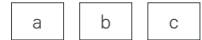
도16. 환두부 현미경 조사

4.2. 병부

병부는 하나의 판을 일정하지 않게 재단하여 감아서 제작되었다. 표면 문양의 표현 방법은 구리판을 두드리는 반복 타출기법으로 시문하였으며 호문이 위아래로 방

향을 바꾸며 길게 연결된 횡주 연호문이다. 모도 2점과 상부 자도 2점 모두 동일한 방식으로 제작되었다^{(도17)(6)}.

하부 자도는 병판이 없다.

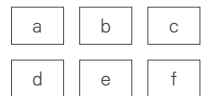
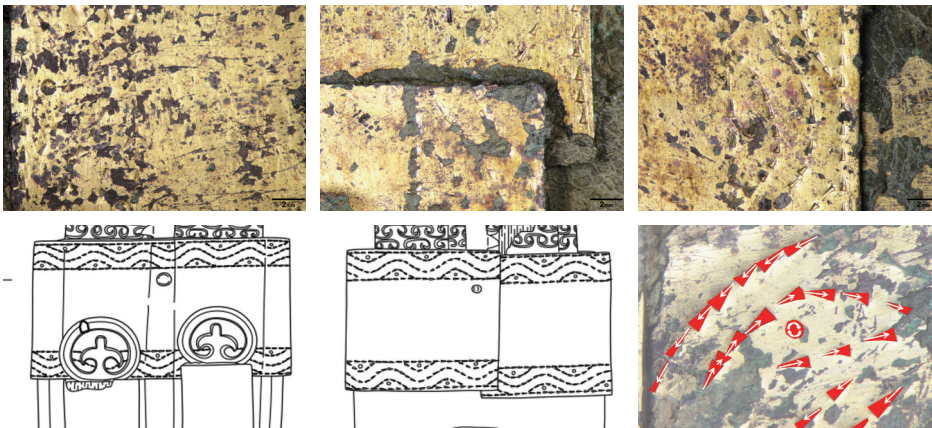


(a) 모도
(b) 모도
(c) 상부 자도

도17. 병판 현미경 조사

4.3. 초구금구

초구금구는 금동판 상·하단 가장자리에 횡방향으로 각각 2줄의 점열문을 축조하고, 그 사이에 파상형 점열문 3줄을 축조하였다. 파상형 점열문 상하에는 직경 0.1cm 정도의 원문을 시문하였다^(도18). 원문은 둥근정을 돌려서 시문하였으며 파상형 점열문은 삼각정의 넓은 곳으로 쳐서 시문하였을 것으로^(도18.f) 추정된다.



(a) 초구금구 전면
(b) 초구금구 후면
(c) 초구금구 후면
(d) 초구금구 전면실측도
(e) 초구금구 후면실측도
(f) 초구금구 타출방향

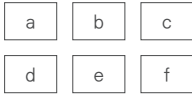
도18. 초구금구 현미경 조사와 실측도

4.4. 초미금구

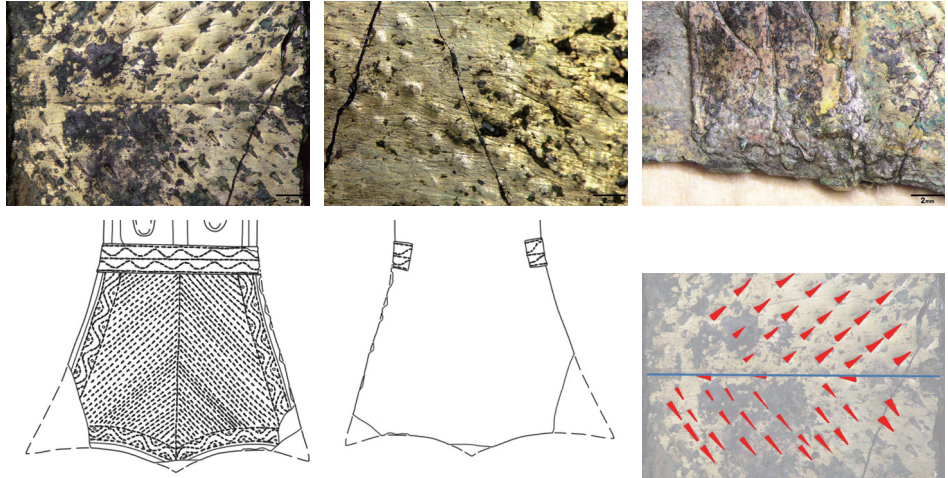
초미금구는 전면 중심부에 기준선을 긋고^(도19.f) 종방향의 점열문 1줄을 축조하여 좌우로 양분하였다. 이를 중심으로 사방향의 점열문 여러 줄을 좌우대칭으로 축조하였다. 뒷면에 타출흔이 남아있다. 초미금구의 가장자리에는 2줄의 점열문을 축조하고, 그 사이에 파상형 점열문 3줄을 축조하였으며 파상문 상하에는 직경 0.1cm

정도의 원문을 시문하였다(도19,a-c).

초미금구 위의 덧대어진 장식판은 횡방향으로 각각 3줄의 점열문을 축조하고 그 사이에 파상형 점열문을 1줄씩 축조하였다(도19,d-e).



- (a) 초미금구 전면
- (b) 초미금구 후면
- (c) 초미금구 위의 장식판
- (d) 초미금구 전면 실측도
- (e) 초미금구 후면 실측도
- (f) 초미금구 타출방향



도19. 초미금구 현미경 조사와 실측도

4.5. 검초

이자태도의 특징은 모도가 2개 자도가 4개이며 초미금구가 어미형이다. 모도의 도신부는 목재인 것으로 추정된다. 병부의 목재와 파손된 검초 내부에 보이는 목재가 다르며 검초 내부의 목재는 대나무로 추정된다.

자도가 붙어있는 단일 대도는 출토 사례가 다수 존재하며 보통 모도와 비슷한 형태를 띤다. 도신부가 목재인 경우 위세품적인 성격을 나타낸다. 어미형 초미금구는 대도에는 동일한 형태가 없으나 신라시대 편원어미형 행엽과 형태가 유사하다.

이합도의 경우 완형은 아니나 경주(慶州) 금관총(金冠塚)에서 일부 발굴된 바가 있다. 모도 한쪽과 검초일부 편이지만 X선 촬영을 통해 하나의 검집에 두 자루의 검이 있는 이합도임을 알 수 있다. 환두부는 삼환두로 ‘c’자 모양의 고리 세 개가 삼각형의 모양을 이루며 연결된 것으로 추정된다. 청동에 도금을 한 것으로 보인다. 병부는 목재를 은판이 감싸고 있으며 문양은 이자태도와 동일한 횡주연호문이 쓰였고 측면을 ㄱ자형 못으로 고정하였다(도20,a). 검초 내부에 목질흔이 잔존하고 있어 이자태도와 동일하게 도신부가 목재일 가능성이 있다. 검초 외부는 도금된 것으로 보인다. 이자태도와 달리 한판을 사용해서 제작한 것으로 보이며 초구금구의 경계를 나누기 위해 장식띠를 추가한 것으로 보인다.



도20. 금관총 이합도 편



(a) 금관총 이합도 편 전면
(b) 금관총 이합도 편 후면
(c) 금관총 이합도 편 X선
촬영 사진

5. 맺음말

대구 달성고분 55호분은 대구광역시 서구에 위치한 삼국시대 고분으로 경주를 제외한 영남지역 고총 가운데 가장 많은 금속제품이 출토되었다. 출토품 중 삼엽문이 자태도는 모도 2점과 자도 4점으로 구성된 이합도로서 국내에서 완형으로 출토된 유일한 사례이다. 본 연구에서는 재질 약화에 따른 추가 손상부분의 재보존처리와 함께 과학적 분석 조사를 통해 이자태도의 제작방법에 대해 조사하였고 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 재보존처리 전 기준에 진행된 두 번의 보존처리 기록을 숙지하여 안정하고 효율적인 처리가 진행될 수 있게 하였다. 육안으로 확인하기 힘든 표면 부분은 실체현미경 조사, 내부구조는 컴퓨터 단층촬영과 과거의 X선 촬영 영상을 활용하였다. 유물의 재질을 확인하기 위하여 XRF를 이용하여 분석하였다. 분석 조사된 자료를 바탕으로 목재 도신부와 거즈 뒤에 가려진 검초 후면의 균열을 확인, 원면에 손상이 없다는 판단하에 거즈를 제거하고 균열 부분은 유리섬유로 보강하였다.

2. XRF분석 결과, 이자태도의 주성분은 구리(Cu)로 조사되었다. 금색 부분에서는 금(Au)과 수은(Hg)이 함께 검출된 것으로 보아 구리에 수은 아말감 금도금을 한 금동으로 확인된다.
3. 이자태도의 제작기법을 조사한 결과 모도 2점과 자도 4점(상부 자도 2점, 하부 자도 2점)으로 구성되어 있다. 모도의 도신부는 목재로 추정되며 병부와 검초 내 신부의 목재는 종류가 다르다. 동근 삼엽문의 환두부와 병부의 연결은 스페 부분을 만들어 끼웠고 병판만 금속판으로 제작되어 있는 것을 보아 위세품으로서의 기능이 높다고 판단할 수 있다. 상부 자도의 결합 방식은 모도와 같고, 하부 자도는 하나의 금속판을 재단하여 만들었다. 검초는 총 2개의 판을 재단하여 만든 것이며 상부 자도를 검초에 고정하기 위해 자도 도신부의 아래쪽에 지지대를 넣었고 하부 자도는 검초 일부를 재단하여 안으로 꽂아 넣었다.
4. 이자태도에 표현된 문양을 살펴보면, 환두부는 삼엽문이다. 병판은 횡주 연호문이며 초구금구와 초미금구에 각각 파상형 점열문이 있어 유사하게 표현되었다. 어미형 초미금구는 점열문을 좌우대칭으로 시문하여 지느러미를 형상화했다. 횡주연호문은 타출로 점열문은 축조로 제작되었다.
5. 유사한 사례로 경주 금관총에서 발견된 이합도가 있다. 모도 한쪽과 검초일부 편이지만 X선 촬영을 통해 하나의 검집에 두 자루의 검이 있음을 확인하였다. 환두부는 삼환두로 'c'자 모양의 고리 세 개가 삼각형의 모양을 이루며 연결된 것으로 추정되며 청동에 도금을 한 것으로 보인다. 병부는 목재를 은판이 감싸고 있으며 문양은 이자태도와 동일한 횡주연호문이 쓰였고 측면을 n자형 못으로 고정하였다. 이자태도와 달리 한판을 사용하여 제작 후 초구금구의 경계를 나누기 위해 장식띠를 추가한 것으로 보인다.

참고문헌

1. 국립대구박물관, *대구 달성유적 IV -달성고분군 발굴조사보고서 3*, p30-33, 96-99, 국립대구박물관, (2019).
2. 전효수·윤은영, 지산동 29호분장식대도의 보존과 제작기법, *박물관보존과학* 16, p14-31, (2015).
3. 신용비·정수빈, 경주계림로 출토 보물 제 635호 보검의 보존, *보존과학회지* 11, p1-8, (2010).
4. 국립대구박물관, *한국의 칼*, 국립대구박물관, (2007).
5. 전용일, *금속공예기법*, 미술문화, (2006).
6. 구자봉, *삼국시대 환두대도 연구*, 영남대학교 박사학위 논문, (2004).

고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 제작기법과 보존처리

Manufacturing Technique and
Conservation of Bigyeokjincheollae Bomb
Shells Excavated from the Ancient Local
Government Office and Fortress of
Mujang-hyeon, Gochang

김해솔*, 허일권
국립진주박물관 학예연구실

Kim Haesol*, Huh Ilkwon
Curatorial Affairs Office, Jinju National
Museum

요약

본 연구는 2018년 고창 무장현 관아와 읍성에서 발굴된 비격진천뢰 11점의 보존처리 과정과, 컴퓨터단층촬영(CT)과 감마선(γ -ray)투과조사·금속 조직 분석을 통한 제작기법을 수록하였다. 보존처리는 2019년 국립진주박물관에서 진행된 특별전 ‘비격진천뢰’(07.16.~08.25.) 전시를 위한 1차 보존처리 과정인 이물질제거와 강화처리를 진행 하였고, 이 과정에서 비격진천뢰 뚜껑(개철, 蓋鐵)을 최초로 확인 할 수 있었다. 제작기법의 경우 11점의 CT와 γ -ray촬영 결과 본체 내부에 많은 기공과 측면에 형틀받침쇠(chaplet, 掣持)가 사용되었음을 확인하였으며, 기벽의 두께는 위아래에 비해 측면이 비교적 얇게 설계되었다. 또한 아래 부분 중앙에 쇳물주입구 흔적이 관찰되어 본체를 뒤집은 상태에서 쇳물이 주입되었음을 확인하였다. 금속 조직 분석은 본체 2점과 뚜껑 1점의 분석을 실시하였다. 분석 결과 본체는 시멘타이트(cementite)조직과 펄라이트(pearlite)조직이 관찰되어 주조로 만들어졌고, 뚜껑은 페라이트(ferrite) 조직에 일부 펄라이트가 끼어있으며 비금속 개재물이 일직선으로 관찰되어 단조로 만들었다는 것을 확인하였다.

주제어 : 비격진천뢰, 컴퓨터단층촬영(CT), 감마선(γ -ray)투과조사, 금속 조직 분석

Abstract

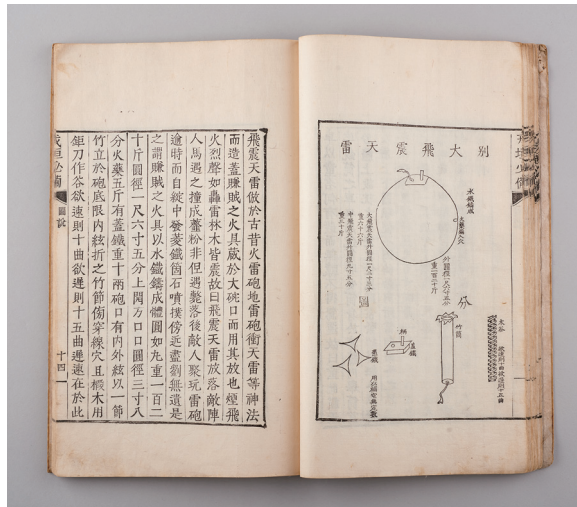
This paper describes the consevation treatment of eleven bigyeokjincheollae bomb shells that were excavated from the Joseon-period local government office and fortress of Mujang-hyeon (present-day Mujang-myeon) in Gochang in 2018. It also provides information on the production method of the shells revealed through CT scanning, gamma-ray transmission imaging, and metallographic analysis. In preparation for the special exhibition “Bigyeokjincheollae” at the Jinju National Museum in 2019 (July 16 to August 25), contaminants were removed from the shells and their surface was reinforced during the first phase of conservation treatment. Furthermore, the closures for the shells were identified for the first time. Regarding the production of the shells, the CT scanning and gamma-ray transmission imaging identified many blowholes in the interior of the body and the use of a chaplet on the side of one shell. The side of the body proved to be relatively thinner than the top and bottom. The traces of a hole for pouring molten metal into the center of the bottom indicates that molten metal was indeed emptied into the inverted body. In the metallographic analysis of two of the bodies and one lid, cementite and pearlite structures were identified on the body, indicating that it was made by casting. The presence of the ferrite structure with a partial distribution of the pearlite along with non-metallic inclusion in the lid suggested that the lid was made by forging.

Keywords : *Bigyeokjincheollae*, Computed Tomography, Gamma-ray Transmission Imaging, Metallographic Analysis

* Corresponding Author:
Kim Haesol

1. 서론

비격진천뢰는 조선시대 화약무기의 일종이며 최초의 시한폭탄으로 볼 수 있다. 1635년 이서가 쓴 『화포식언해』에 형태에 대한 기록이 있으며^[1], 1813년 박종경이 저술한 『용원필비』에는 구체적인 제원과 생김새가 도해로 남아있다^{[도1][2]}. 기록에 따르면 철로 된 구체 속에 폭발시간 조절장치와 화약·췌조각(빙철, 憑鐵)을 채워 넣은 형태로^[도2], 적진에 떨어진 후에 폭발하면 췌조각이 비산(飛散)하여 살상하는 무기이다. 임진왜란 당시 살상효과가 뛰어나고 명(明)과 왜(倭)가 모르는 무기였다는 기록^[3]이 남아있어, ‘비밀병기’, ‘귀신폭탄’ 등으로 불렸다^[4].



도1. 『용원필비』에 표현된 비격진천뢰 모습



도2. 비격진천뢰의 구조와 조립방법

하지만 비격진천뢰는 서울 창경궁에서 전해진 보물 제860호 등 전국적으로 5점만이 확인 되었을 뿐이었다. 그러던 2018년 전북 고창 무장현 관아와 읍성(사적 제346호, 이하 무장읍성)의 군기고(추정) 주변 에서 비격진천뢰 11점이 온전한 상태

로 발굴되었으며, 국립진주박물관은 임진왜란 전문 박물관으로 고창에서 출토된 비격진천뢰의 과학 조사 및 보존처리를 진행하였다.

보존처리는 2019년 국립진주박물관에서 진행한 특별전 ‘비격진천뢰 (07.16.~08.25.)’와 고창군 순회전(10.25.~12.22.) 전시를 위한 1차 보존처리를 우선 진행하였다. 이 과정에서 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography, CT), 감마선(γ -ray)투과조사, 금속 조직 분석을 실시하였으며 비격진천뢰의 제작 과정을 상세히 밝혀낼 수 있었다. 본고에서는 2019년 7월까지 진행된 1차 보존처리 과정과 분석을 통해 확인한 제작기법에 대해 서술하고자 한다.

2. 보존처리 전 상태조사

2.1. 보존처리 전 사전준비

비격진천뢰는 2018년 8월부터 고창군·호남문화재연구원에서 진행한 고창 무장현 관아와 읍성 8차 발굴 과정에서 확인되었다⁽⁵³⁾. 무장읍성 동남부의 군기고로 추정되는 유구에서 발굴되었으며, 상층부 퇴적토의 제토 과정에서 5점이 발굴되었고, 수혈 내부에서 6점이 추가로 발견되었다. 수혈 내부의 6점은 삼각형 구도로 가지런히 위치해 있었다⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁾.



도3. 무장현 관아와 읍성 전경



도4. 비격진천뢰 출토 상태

원형 물체의 정체를 확인하기 위해 한 점의 컴퓨터 단층촬영을 실시하였고, 이를 통해 미상의 물체가 조선시대 무기인 비격진천뢰임을 확인하였다.

국립진주박물관 이관 당시 비격진천뢰는 개별 상자에 담겨있었으며, 습도 변화를 막기 위해 랩으로 쌓인 상태였다⁽⁵⁵⁾. 11점의 비격진천뢰는 각각 20kg 내외로 일반적인 취급 방법으로 다루기에는 부피와 중량 면에서 위험요소가 많을 것으로 판단하였다. 따라서 별도의 작업 공간을 마련하였으며, 공간 전체를 금속유물을 보존·관리하기에 적당한 환경을 조성하였다⁽⁵⁶⁾. 또한 기존의 장비는 비격진천뢰의 크기와 무게를 감당할 수 없는 한계가 있었다. 때문에 보존처리를 위한 작업대를 비격

진천뢰의 무게를 안전하게 지지할 수 있는 작업대로 교체하고, 정밀분사가공기(Air Brasive) 또한 비격진천뢰의 크기와 무게를 감안하여 새로 제작하였다^(도7). 추가로 정밀분사가공기와 보존처리 작업대 모두 위아래로 움직일 수 있도록 설계하여 중량 유물의 이동 과정을 줄이고 안전에 대한 위험요소를 최소화 하고자 하였다.

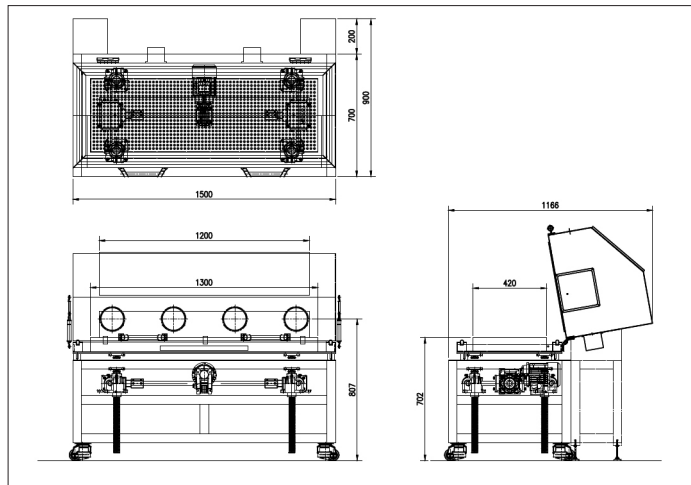


도5. 이관 당시의 비격진천뢰



도6. 비격진천뢰의 보관 환경

- a
b c
(a) 상부
(b) 전면
(c) 측면



도7. 비격진천뢰의 무게와 크기를 고려해 설계한 정밀분사가공기 도면

인수 당시 비격진천뢰 6점(무장음성-1 ~ 무장음성-6)은 흙 등의 이물질로 뒤덮여 형태를 확인할 수 없는 상태였다. 호남문화재연구원에서 외부 이물질을 제거한 5점 또한 이물질과 부식산화물로 인해 뚜껑이 들어가는 자리의 명확한 형태 등을 알 수 없었다^(도8). 부식물 표면이 드러난 5점을 통해 지름이 17~19cm 가량이며 무게는 17~18kg으로 제원이 유사하다는 점만을 확인 할 수 있었다.



무장읍성 - 1



무장읍성 - 2



무장읍성 - 3



무장읍성 - 4



무장읍성 - 5



무장읍성 - 6



무장읍성 - 7



무장읍성 - 8



도8. 비격진천뢰의 보존처리 전 상태

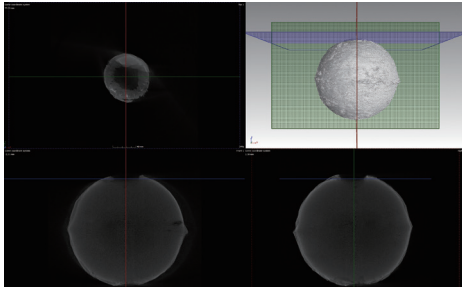
2.2. 내부구조 조사

비격진천뢰의 정확한 형태를 파악하고 부식상태 및 균열 등의 상태를 조사하기 위해 11점에 대한 컴퓨터단층촬영을 실시하였다. 컴퓨터단층촬영이란 X선을 여러 각도에서 피사체에 투영하고 이를 컴퓨터로 재구성하여 피사체 내부 단면의 모습을 화상으로 처리하는 기법이다. 종래의 X선 장치로는 얻을 수 없었던 피사체의 상태를 단층상으로 얻을 수 있게 되어 정확한 상태 파악에 도움이 되는 영상장치의 일종이다^[6].

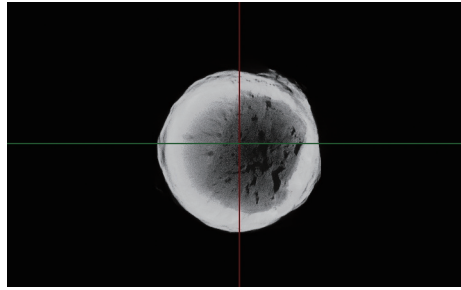
컴퓨터 단층촬영(CT Modular, YXLON, DEU)은 국립중앙박물관에서 진행하였으며, 이후 국립진주박물관에서 영상을 분석하였다. 컴퓨터단층촬영은 600kV, 1.15mA, 690W로 촬영하였으며, 초점 크기는 0.7mm 튜브를 사용하였다. 촬영한 데이터를 바탕으로 유물의 상태에 대한 분석을 실시하였다.

컴퓨터 단층촬영 영상 확인 결과 비격진천뢰의 표층으로부터 내부 1cm 이내의 깊이까지만 확인이 가능하였다^(도9). 원인은 비격진천뢰의 두께와 밀도가 높아 투과상을 만들어 내지 못했기 때문이다. 하지만 고착된 이물질의 두께가 2cm 가량이라는 것을 알 수 있었으며, 유물 표면에서 뚜껑이 들어가는 입구가 한 개 있는 것을 확인

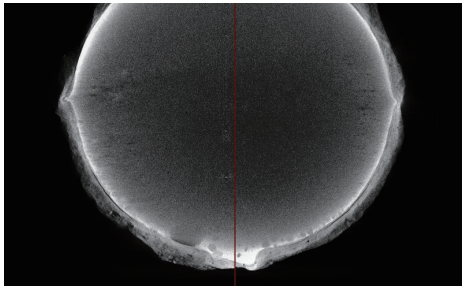
하였다^(도10). 뚜껑이 들어가는 입구의 크기는 긴 방향이 4cm, 짧은 방향이 2cm 가량이며, 입구의 반대방향인 저부는 살짝 융기되어 있는 것을 관찰했다^(도11). 이를 토대로 유물의 상하부를 확인하고 보존처리 과정에서 활용 할 수 있었으며, 측면에는 주조 분할선으로 보이는 흔적과 한 개의 화약투입구를 확인되었다^(도12).



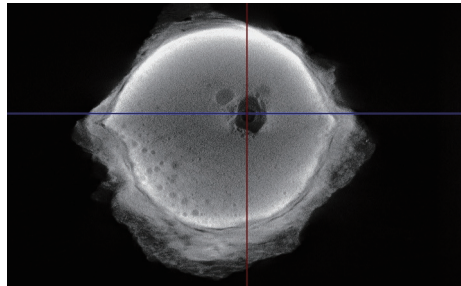
도9. 컴퓨터단층촬영 영상으로 본 비격진천뢰



도10. 컴퓨터단층촬영 영상으로 확인한 본체 입구의 형태



도11. 컴퓨터단층촬영 영상으로 확인한 주조분할선과 저부의 형태



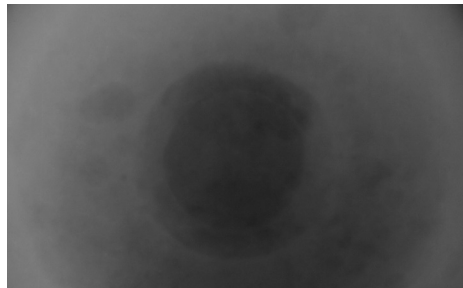
도12. 컴퓨터단층촬영 영상으로 확인한 외부 이물질 층의 두께와 화약투입구

컴퓨터 단층촬영을 통해 확인하지 못한 유물의 두께와 내부 상태·부속품의 장입(裝入) 여부를 확인하기 위해 감마선 투과조사를 추가로 실시하였다.

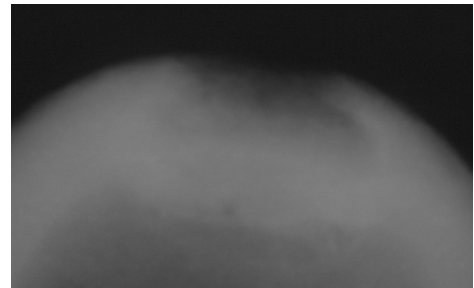
감마선은 방사선의 일종으로 매우 짧은 파장의 전자기파이다. 때문에 X선보다 높은 투과력을 가진다. X선을 사용한 컴퓨터단층촬영보다 강한 선원을 이용해 유물의 내부 상태를 확인하고자 하였다. 본 연구에서는 감마선의 선원으로 Co-60을 사용하였으며 울산광역시 국가산업단지에서 촬영하여 국립진주박물관에서 분석하였다.

감마선투과조사결과 본체 입구 부분의 형태를 보다 구체적으로 확인할 수 있었다. 컴퓨터단층촬영 영상에서 보였던 가장 바깥쪽 직사각형의 구멍 안쪽으로 원형의 홈이 있는 구조임을 확인했다^(도13,14). 또한 무장음성-10 비격진천뢰의 경우 측면상의 입구 부분에서 판형의 물질이 있는 것이 관찰되었다^(도15). 상방에서 촬영한 사진의

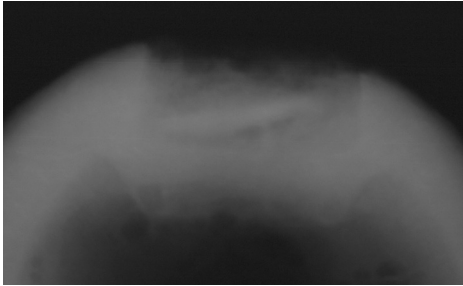
경우 투과되어 나타나지 않아 관형의 물질이 어느 정도 크기인지는 확인할 수 없으므로 보존처리 과정에서는 유의해야 함을 알 수 있었다. 무장읍성-6 비격진천뢰를 비롯한 일부 유물의 경우 상방에서 촬영한 사진의 내부 투과도가 일정하지 않은 것을 확인할 수 있었다^(도16). 이는 비격진천뢰 내부에 어떠한 이물질이 삽입되어 있으나 한쪽 방향에만 쏠려있어 투과도의 차이를 야기한 것으로 추정된다. 또한 유물의 기벽두께가 일정하지 않아 상대적으로 얇은 부분이 존재하고^(도17), 기공이 저부 방향으로 몰려있어^(도18) 상대적으로 파손 우려가 있는 부분을 유추할 수 있었다. 무장읍성-7의 측면상에서는 비격진천뢰의 본체와 분리되어 있으나 비슷한 투과도를 갖는 물체가 측면에 관찰되었다^(도19). 이는 형틀받침쇠로 주조시 내형틀과 외형틀의 간격을 유지하기 위해 사용된다. 형틀받침쇠가 있는 점과 주조분할선의 흔적, 저부방향의 용기된 특징과 기공이 저부방향으로 분포하는 점 등을 통해 비격진천뢰 본체가 주조로 제작되었으며 저부방향으로 주물을 주입하였음을 유추할 수 있었다. 또한 형틀받침쇠의 경우 창녕 화왕산성 비격진천뢰에서도 확인이 가능한 특징으로 고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰에서 3개의 형틀받침쇠를 사용하였을 것으로 보인다^[7]. 조사결과를 토대로 비격진천뢰의 제작 방법을 유추하면(도20)과 같다.



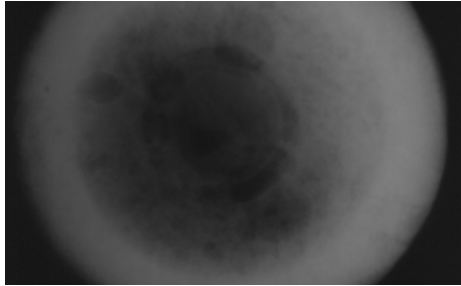
도13. 감마선투과조사를 통해 확인한 입구의 형태: 직사각형의 구멍 뒤로 원형의 띠처럼 홈이 관찰된다



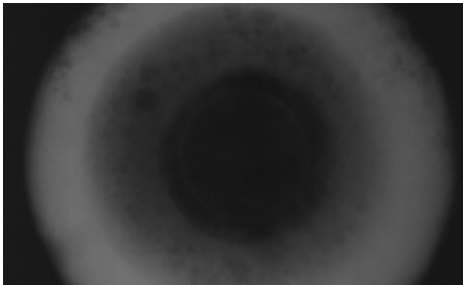
도14. 감마선투과조사를 통해 확인한 입구의 형태: 구멍 안쪽으로 홈이 관찰된다. <도13>과의 비교를 통해 원형의 홈인 것을 알 수 있다.



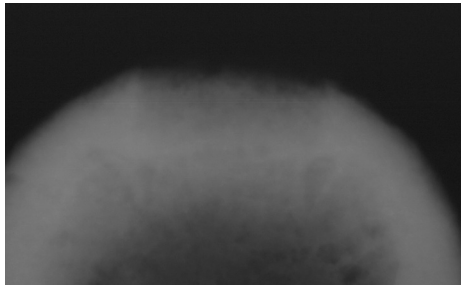
도15. 무장음성-10 비격진천뢰의 측면상: 뚜껑 구멍 안쪽으로 -자의 물체가 관찰된다.



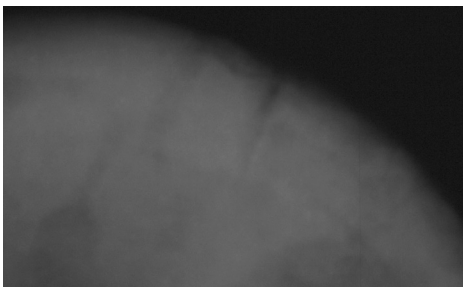
도16. 무장음성-6 비격진천뢰의 상면상: 내부가 반 측면만 투과가 덜 되었다. 내부에 어떤 이물질이 반만 차있는 것으로 유추할 수 있다.



도17. 무장음성-1 비격진천뢰의 상면상: 측면의 기벽 두께가 일정하지 않은 것이 확인된다.



도18. 무장음성-1 비격진천뢰의 측면상: 기공의 분포가 저부 방향에 몰려있는 것을 확인할 수 있다.



도19. 무장음성-7 비격진천뢰의 측면상: 형틀받침쇠가 있는 것이 관찰된다.



도20. 비격진천뢰 제작방법 모식도

3. 보존처리

3.1. 1차 보존처리

비격진천뢰의 보존처리는 처리 전 조사가 완료된 3월부터 2019 조선무기 특별전 ‘비격진천뢰’ 전시를 시작한 7월 까지, 약 4개월간의 1차 보존처리 과정을 거쳤다. 일반적인 금속(철제)유물의 보존처리 과정은 이물질 제거·탈염 처리·방청 및 강화처리·접합 및 보강의 과정을 거친다. 그러나 1차 보존처리의 경우 발굴품의 신속한 공개 차원에서 계획된 전시를 앞두고 있었기 때문에 표면의 부식 요인을 제거하는데 중점을 맞췄다. 흙으로 덮여있던 비격진천뢰의 외부 이물질과 표면의 부식 요인을 제거한 뒤 강화처리를 하여 전시가 가능하도록 하였다. 전시가 종료되는 시점부터 2차 보존처리를 시작했으며, 1차 보존처리과정에서 미완료된 이물질 제거를 진행하였다. 이물질 제거가 완료된 후에는 탈염처리·강화처리 등의 금속(철제)보존처리 과정을 거칠 예정이다.

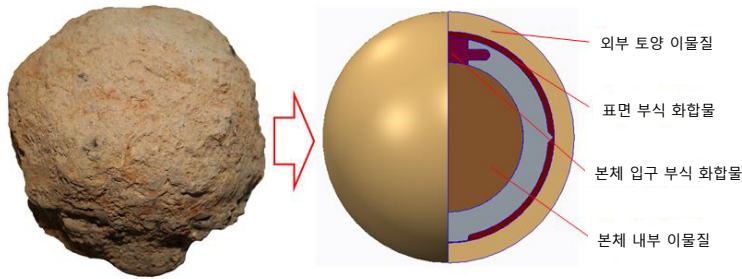
고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 경우 물리적 방법^[8]만을 이용하여 이물질을 제거하였다. 비격진천뢰의 바깥쪽은 발굴 현장의 퇴적으로 판단되는 점성이 없는 흙으로 덮여 있었으며, 유물 표면과 본체 입구방향에는 적갈색의 부식화합물이 관찰되었다^(도21-23).



도21. 비격진천뢰 외부 토양 이물질



도22. 비격진천뢰 표면 부식 화합물



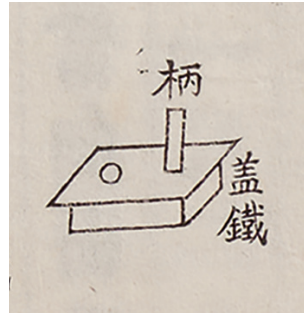
도23. 비격진천뢰 이물질 모식도

이물질제거는 메스와 망치 등의 소도구와 정밀분사가공기를 이용하여 진행하였다. 표면의 안정한 Magnetite층이 나타나기까지 반복 실시하였으며, 이 과정에서 (도15)에서 확인한 무장음성-10의 一자형의 물체가 비격진천뢰 뚜껑임을 확인했다(도24). 입구 내부는 정밀분사가공기를 사용할 경우 유리가루의 제거가 어렵기 때문에 초음파 스케일러(Ultrasonic scaler)를 사용해 이물질을 제거하였다. 감마선투과조사를 통해 확인한 본체 입구 부분의 형태를 참고하여 이물질을 제거했으며, 무장음성-10 비격진천뢰 뚜껑의 경우 소도구를 이용한 이물질 제거를 병행하였다. 그 결과 뚜껑의 형태가 『용원필비』에 기록된 형태(도25)와 다름 확인할 수 있었다. 또한 손잡이가 있었던 것으로 보이는 흔적과 심지 구멍 2개를 발견하였다(도26). 뚜껑의 크기는 본체 내부 홈의 폭과 일치하여 입구를 통해 안으로 넣고 내부 공간에서 돌려서 고정하도록 만들었음을 알 수 있었다. 이러한 고정 방식은 일본 나가사키현 마쓰우라시 다카시마 해저유적 출토 작열탄 철폐(てつほう)와 유사하다(도27,28)(9). 해당 토제 철폐는 13세기 여몽연합군이 사용한 것으로 추정되며 재질은 토제품으로 차이가 있다. 무장음성 출토 비격진천뢰의 뚜껑과 『용원필비』의 기록·다카시마 해저 출토 철폐의 특징을 비교하면 표1과 같다. 문헌의 기록과 실제 유물의 형태가 다른 이유와 여몽연합군이 사용한 토제 철폐와 구조의 유사성을 갖는 이유 등은 향후 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

뚜껑은 본체와 부식 화합물로 고착되어 있어 분리하여 내부 장입물을 확인하고 보존처리하는 것은 파손의 우려가 있으므로 진행하지 않았다.



도24. 이물질 제거과정으로 드러난 비격진천뢰 뚜껑



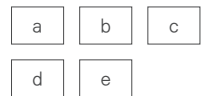
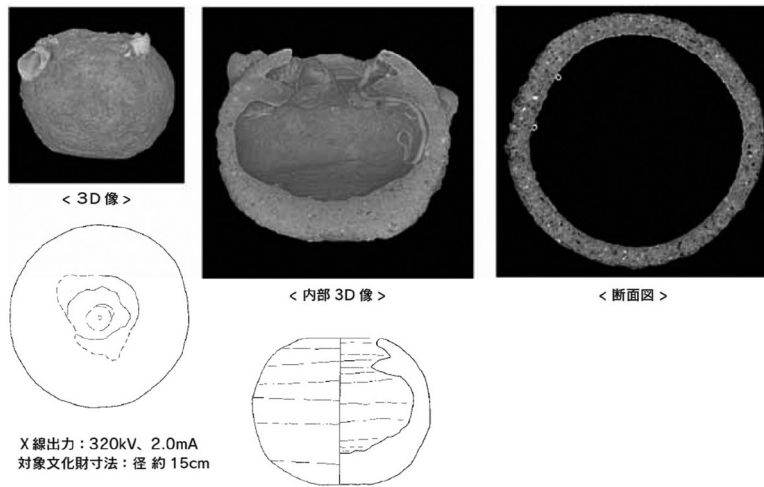
도25. 『용원필비』에 기록된 비격진천뢰 뚜껑의 형태



도26. 초음파 스케일러를 사용해 노출시킨 비격진천뢰 뚜껑




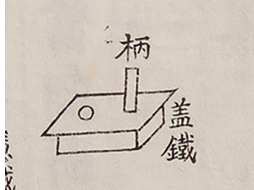
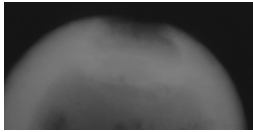
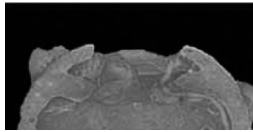
도27. 토제 철포(てつほう), 국립규슈박물관 소장



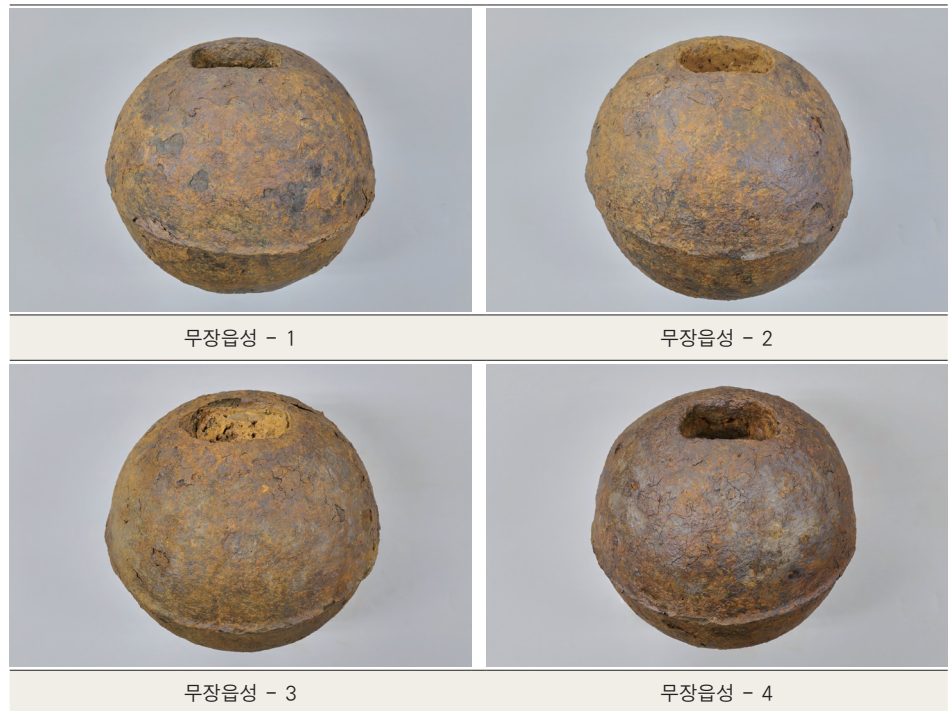
- (a) 3D상
- (b) 내부 3D상
- (c) 입면도
- (d) 상면 실측도
- (e) 측면 실측도

도28. 토제 철포(てつほう, KZK02 1122)의 CT 촬영상과 실측도

표 1. 비격진천뢰 뚜껑의 형태 비교

	무장읍성 출토 비격진천뢰	『응원필비』	다카시마 해저유적 출토 철폭
뚜껑 형태			-
본체 구조		-	

상술하였듯 전시를 위해 2차에 걸쳐 보존처리를 실시해야만 했기 때문에 전시 기간 동안 유물의 안전을 위한 강화처리를 선행하였다. 강화처리는 아크릴(Acrylic)계 강화제인 Paraloid B-72 3wt.%(in Xylene)를 사용해 표면을 코팅하였다. 일반적으로 탈염 처리 등의 부식 요인 제거가 마무리 된 후 실행하는 과정이지만, 전시 기간 동안 표면의 부식이 진행되는 것을 방지하고자 실시하였다. 강화제는 표면의 색상 변화에 유의하며 수회 도포하였다. 2차 보존처리 과정에서 강화제를 제거해야 하므로 본체 입구 내측에는 도포하지 않았다^(도29).





도29. 비격진천뢰의 보존처리 후 상태

추가적으로 전시환경 조성을 하는 데 있어서 습도를 조절하기 위해 제올라이트(Zeolite)를 활용하였다. 제올라이트는 알루미늄 규산염 광물의 일종으로 다량의 Al와 Si를 함유하고 있다. 이는 흡습을 하는 성질을 가지므로 주변 환경의 제습에 효과가 있다^[10]. 또한 백색의 광물이기 때문에 전시장에 이질감을 주지 않을 것으로 판단하여 비격진천뢰의 바닥재로 사용하였다^(도30).



도30. 제올라이트를 활용한 전시 연출

3.2. 금속 조직 분석

고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 금속학적 특성을 확인하기 위해 금속현미경(Metallurgical Microscope, Leica, DM2500D)으로 조직을 분석 하였다.

총 3점의 시편을 획득하여 분석하였으며, 본체 저부 2개와 보존처리 과정에서 발견한 뚜껑에서 1개의 시료를 채취하였다^(표2). 시료를 채취한 위치는 <도31>과 같으며, 무장읍성-10의 경우 철판(뚜껑)의 수직방향으로 단면을 획득하였다. 시료 채취 후 소지금속의 부식을 방지하기 위해 아크릴계 강화제로 별도의 코팅을 실시하였다.

표2. 조사 대상 시료 내용

연번	유물명	채취 위치	채취 수량
1	무장읍성-3	본체 저부	1
2	무장읍성-9	본체 저부	1
3	무장읍성-10	뚜껑	1

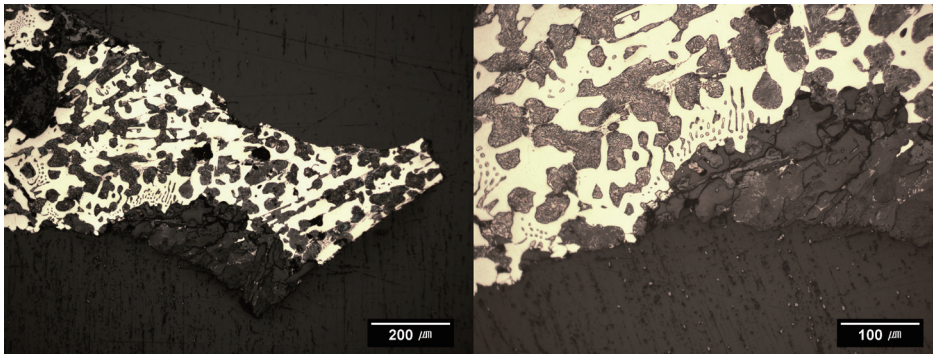


도31. 조사 대상 시료의 채취 지점

미세조직 분석을 위해 시료를 에폭시 수지로 마운팅 했으며, 120, 400, 800, 1200, 2000mesh의 순서로 연마한 후, 연마제(Diamond Suspension $6\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$)로 미세연마 하였다. 연마가 완료된 시료는 Nital(HNO_3 3% + Ethyl Alcohol 97%)로 수 초 Etching하였다.

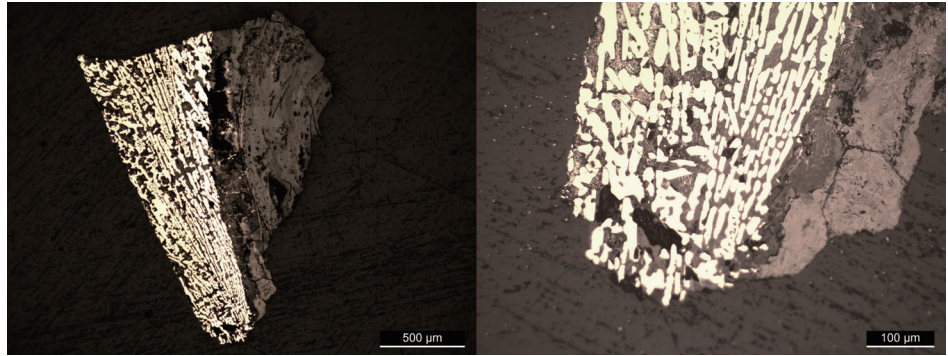
〈도32〉는 무장읍성-3의 본체 저부에서 채취한 시료의 금속현미경 이미지이다. 시멘타이트(cementite)조직과 펄라이트(pearlite)조직이 공존하는 것을 볼 수 있으며 부분적으로 흑연이 정출되어 있다. 따라서 탄소의 함량이 공정조성보다 많은 과공정백주철임을 알 수 있다.

이는 앞서 컴퓨터단층촬영과 감마선투과조사를 통해 확인한 내부 기공 · 형틀받침쇠 · 주조분할선 · 저부의 용기된 특징과 함께 본체가 주조로 제작되었음을 의미한다.



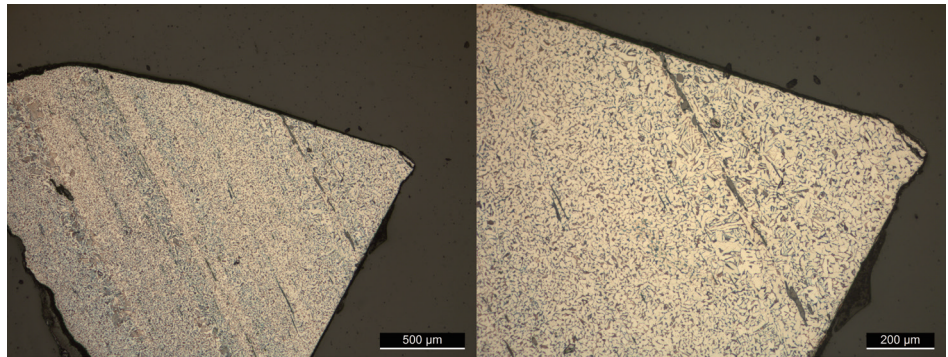
도32. 무장읍성-3의 광학현미경 이미지

〈도33〉은 무장읍성-9의 본체 저부에서 채취한 시료의 금속현미경상으로 무장읍성-3의 분석결과와 동일하게 시멘타이트조직과 펄라이트조직 · 정출된 흑연이 관찰되는 과공정백주철임을 확인하였다. 이를 통해 무장읍성-9 또한 주조로 제작되었음을 알 수 있다.



도33. 무장읍성-9의 광학현미경 이미지

반면 무장읍성-10에서 채취한 뚜껑에서는 페라이트(ferrite)조직이 주를 이루며 일부 펄라이트가 혼재되어있다^(도34). 또한 비금속 개재물이 일직선으로 연신되어 단조로 제작하였음을 확인하였다.



도34. 무장읍성-10의 광학현미경 이미지

4. 결론

2018년 고창 무장현 관아와 읍성 8차 발굴에서 출토된 비격진천뢰 11점은 보존처리와 조사, 전시를 위한 MOU 체결과 함께 2019년 1월 국립진주박물관에 이관되었다. 국립진주박물관은 비격진천뢰 특별전을 앞두고 2019년 1월부터 동년 7월까지 비격진천뢰 11점에 대한 처리 전 조사와 1차 보존처리를 실시하였다. 컴퓨터단층촬영과 감마선투과조사를 이용해 상태 조사를 실시하였으며, 이를 토대로 보존처리 계획을 수립하고 유물의 안전을 위한 각종 장치를 마련하였다.

보존처리는 전시를 기점으로 2차에 걸쳐 진행하며 1차 보존처리 과정에서는 이물질 제거와 표면 강화처리를 하였다. 이물질 제거 과정은 가장 바깥쪽의 토양 이물질과 유물 표면의 부식 화합물, 본체 입구 주변의 부식 화합물 등을 제거하였으며, 각

이물질의 특성과 유물의 상태를 고려하여 방법을 달리하였다. 가장 큰 성과는 이물질 제거 과정에서 최초로 비격진천뢰의 뚜껑을 발견하였다는 점으로, 뚜껑은 직사각형이며 꼭지와 심지를 빼내는 두 개의 구멍이 있는 형태로 『용원필비』에 묘사된 모습과 다름을 확인하였다. 또한 뚜껑의 크기는 본체 내부 홈의 폭과 일치하여 입구를 통해 안으로 넣고 내부 공간에서 돌려서 고정하도록 만들었음을 알 수 있었다. 이러한 고정방식은 일본에서 출토된 토제 철폭과 유사하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

2019 조선무기 특별전 ‘비격진천뢰’ 전시를 위해 유물의 일시적인 강화처리를 실시하였으며, 이는 전시 후 제거하여 추가적인 보존처리를 진행할 수 있도록 조치하였다. 또한 전시환경의 습도조절을 위해 제올라이트를 활용하여 전시연출을 하였으며, 이는 제습효과가 탁월하여 고창군 순회전에도 동일 적용하였다.

또한 비격진천뢰의 제작기법을 파악하기 위해 컴퓨터 단층촬영과 감마선투과조사·금속조직분석을 실시하였다. 컴퓨터 단층촬영 결과, 내부에서 많은 기공이 관찰되었고 측면에 배치한 형틀받침쇠를 사용하여 벽의 두께를 조절하였으며 저부가 융기되어 있는 것이 확인되었다. 형틀받침쇠는 주조 시 외형틀과 내형틀 사이 지지를 위해 배치하기 때문에 이 형틀받침쇠를 이용해 벽의 두께를 조절할 수 있다. 측면 중앙에 위치한 형틀받침쇠는 다른 비격진천뢰에서도 나타나는데 일반적으로 3개를 배치하였고 정삼각형 구도에 가깝다. 비격진천뢰의 경우 형틀받침쇠를 배치한 측면 주변이 상대적으로 얇은 것을 알 수 있었다. 형틀받침쇠의 위치와 기공의 방향 저부의 돌출된 특징 등을 통해 저부를 탕구로 하여 주물을 주입하였음을 유추할 수 있었다. 또한 성분조직 분석을 통해 본체는 주조로 만들었고, 뚜껑은 단조로 만들었다는 것을 확인하였다. 본체는 잘 깨어지는 주조, 상대적으로 얇은 뚜껑은 보다 질기고 강한 단조기법으로 만들었다. 이것은 폭발할 때 뚜껑이 먼저 부서지는 것을 방지하고, 본체가 쪼개지면서 쇳조각이 사방으로 흩어지는 효과를 극대화하기 위한 의도를 반영한 것이다.

참고문헌

1. 『火砲式諺解』
2. 『戎垣必備』
3. 『宣祖修正實錄』 卷 26, 宣祖 25年 9月 1日 丁巳.
4. 『懲毖錄』
5. 노미선, *고창 무장현 관아와 읍성의 발굴성과*, p21, 고창 무장현 관아와 읍성 비격진천뢰(飛擊震天雷)의 발굴과 연구 학술 심포지엄, (2019).
6. 강동원, *컴퓨터단층영상학*, p15-20, 대학서림, (2015).
7. 허일권·김해슬, *고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 제작기법*, p61-62, 고창 무장현 관아와 읍성 비격진천뢰(飛擊震天雷)의 발굴과 연구 학술 심포지엄, (2019).
8. Museums, C. U. & Galleries Commission, *The Science For Conservators Series: Volume 2: Cleaning*, p27, (1992).
9. 長崎県松浦市教育委員会, *松浦市文化財調査報告書 第4集*, p289, 松浦市鷹島海底遺跡 総集編, (2011).
10. 김수진, *광물과학*, p549-551, 우성, (1996).

해남 흑천리 마등 4호 토광묘 출토 화천의 보존처리와 고고학적 분석

Conservation and
Archaeological Analysis of
Huo Quan Coins Excavated
from Tomb No. 4 at the
Madeung Archeological Site in
Heukcheon-ri, Haenam

김미도리^{1,*}, 조연태², 이양수³

¹국립중앙박물관 보존과학부.

²국립나주박물관 학예연구실.

³국립진주박물관 학예연구실

Kim Midori^{1,*}, Jo Yeontae²,
Yi yangsu³

¹Conservation Science Division,
National Museum of Korea

²Naju National Museum

³Jinju National Museum

* Corresponding Author:
Kim Midori

Tel: 82-2-2077-9424
E-mail: midori79@korea.kr

요약

본 연구에서는 해남 흑천리 마등 4호 토광묘에서 출토된 청동주화 화천(貨泉)을 보존처리하고 과학적으로 조사한 결과를 고고학적으로 해석하였다. '화천'은 중국 왕망대(王莽代)에 만들어진 동전으로 우리나라의 삼한시대에 사용되었던 화폐이다. 해남 흑천리 마등 유적에서는 조사결과 총 13점이 중첩되어 출토되었는데, 크게 세 묶음으로 구분된다. 이중 B 묶음의 한 점만 육안으로 화천이라는 글자가 확인되며, 나머지는 전혀 글자가 확인되지 않는다. 보존처리 방법은 우선 동전 표면 위에 고착된 이물질 제거하고 취약한 재질을 강화한 후 접합하였다. 다음으로 동전의 정확한 개수와 표면 상태를 확인하기 위해 Nano CT 촬영을 실시하였다. 이를 통해 13점 중 12점에 화천이라는 명문이 있는 것을 확인하였다. 이번 흑천리 출토품 외에 광주 북룡동 무덤에서 다량의 화천이 출토되는 사례로 보아 당시 이 지역에서 화폐경제가 이루어졌을 가능성에 대한 검토가 필요하다.

주제어 : 화천, 왕망전, Nano CT, 화폐 경제

Abstract

This paper presents an archaeological interpretation of the results of conservation treatment and scientific analysis of the ancient Chinese bronze coin known as Huo Quan(貨泉) coins excavated from Tomb No. 4 at the Madeung Archaeological Site in Heukcheon-ri, Haenam. Huo Quan coins were issued in China by Wang Mang(王莽) when he founded the short-lived Xin(新) Dynasty and were used in the Samhan(三韓) period in Korea. A total of thirteen Huo Quan coins were excavated from the Madeung Archeological Site with some coins fused to each other. They were classified as clusters A, B, and C. On a coin from the B cluster the classical Chinese characters “貨泉” are visible to the naked eye, but no characters are visually identifiable in the other coins. For conservation treatment, foreign substances attached to the surfaces of the coins were removed, weak materials were reinforced with protective coatings, and fragments were reattached to the main bodies of the coins. Next, Nano CT scanning was conducted to identify the exact number of coins within the clusters and examine the surface condition of the coins. It revealed the inscription “貨泉” on twelve out of thirteen coins. In addition to these coins excavated from Heukcheon-ri, a number of coins were excavated from a tomb in Bokryong-dong, Gwangju. This necessitates an investigation into the possible development of a monetary economy in this region.

Keywords : Huo Quan Coins, Wang Mang Coins, Nano CT, Monetary Economy

투고일: 2020. 10. 2. 심사(수정)일: 2020. 11. 11. 게재확정일: 2020. 11. 13.

1. 머리말

대한문화재연구원에서 발굴 조사한 해남 흑천리 마등유적은 청동기시대부터 삼국시대에 해당하는 유적으로 특히 마한시기의 4호 토광묘에서 화천이 꾸러미로 출토되어 주목되었다^[1]. 이렇게 동전이 꾸러미로 출토된 점, 함께 출토된 옥의 재질, 토기의 조합 등을 볼 때 이전 조사된 광주 복룡동 2구역 1호 토광묘 출토품^[2]과 유사한 양상을 보인다.

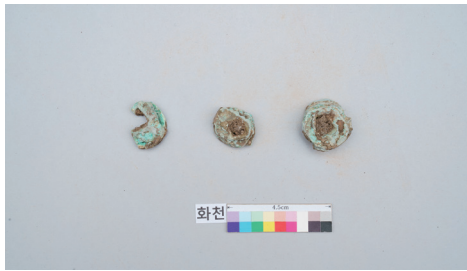
이 글은 이 마등유적 4호 토광묘에서 출토된 화천의 보존처리에 대한 내용과 화천에 대한 Nano CT 촬영, 현미경 분석, 제작지의 추정 등을 바탕으로 당시 한반도 남부 출토의 중국 동전에 대해 논의 해보고자 한다.

2. 보존처리

2.1. 보존처리 전 상태조사

동전의 상태조사를 실시하기 위해 동전의 지름과 내·외곽의 유무와 크기, 천의 크기, 동전의 두께 등을 측정하고 유물의 특징을 기록하였다.

조사대상인 동전은 총 13개로 추정되며 3점, 3점, 7점씩 덩어리져 있다. 편의상 A묶음, B묶음, C묶음으로 표기하였으며, 자세한 동전의 제원은 표 1과 같다. 모두 부식으로 인해 마모가 심한 상태여서 육안조사 및 현미경 조사, X-ray 촬영 결과를 조합하여 측정하였다. A묶음은 동전의 2/3 이상이 결실된 상태로 출토되었으며 표면 마모가 매우 심하여 글자의 유무를 육안으로 관찰 할 수 없었다. 화천의 일부도 결실되어 상세크기 측정이 불가능했다. B묶음은 외곽이 대부분 결실되어 정확한 지름의 크기를 파악하기 어려우나 3점의 동전 중 유일하게 표면에서 ‘화천(貨泉)’이라는 글자가 적혀있는 것을 확인하였다. 동전의 표면에는 흙 등의 이물질과 지푸라기 등이 부착되어 있었으며 동소지는 남아있지 않았다. C묶음은 동전 7점이며 가장 아래쪽 표면에 있는 동전은 파손되어 1/4가량만 남아 있다. 동전의 지름은 20mm 내외이며 두께는 0.8~2.05mm이다.



a

b

(a) 전면 A, B, C류음
(b) 후면 A, B, C류음

도1. 보존처리 전 화천

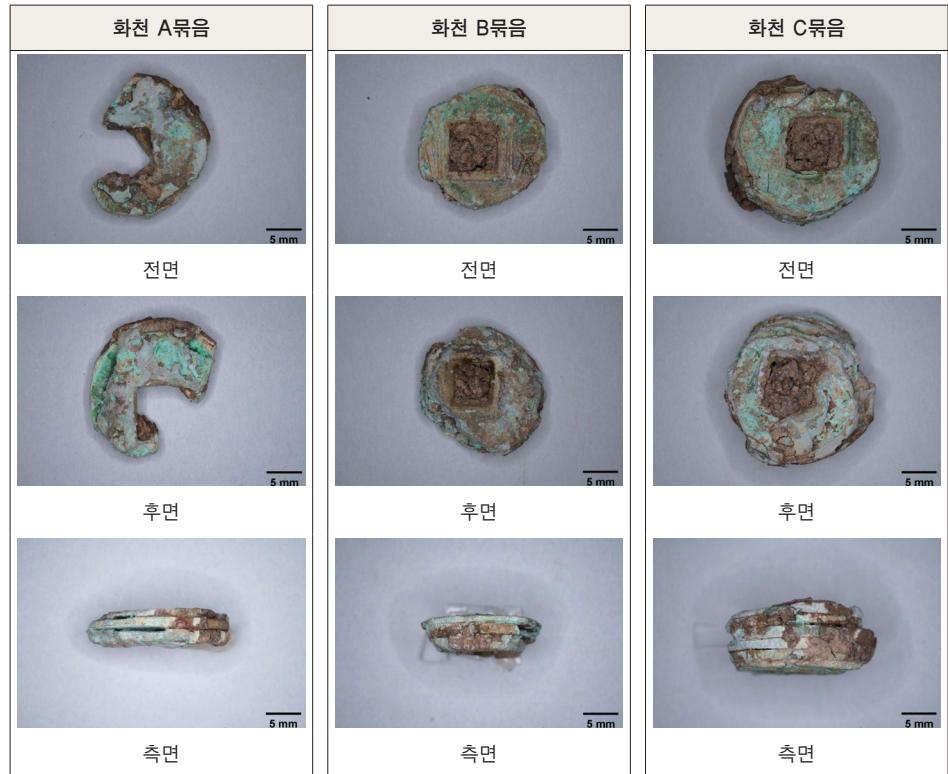
표1. 화천의 세부 제원 (단위: mm)

연번	사진	분류	지름(최대)	두께(최대)	창(크기)	무게(g)	
						처리전	처리후
1		A류음	20.0	1.1	7.7×7.7	1.8	1.7
2			20.0	1.45	-		
3			20.2	1.91	-		
4		B류음	18.6	0.8	5.5×5.5	1.8	1.6
5			18.1	1.73	-		
6			15.4	2.04	-		
7		C류음	20.5	0.9	6.4×6.4	5.4	5.3
8			20.2	1.2	-		
9			20.0	1.6	-		
10			-	1.6	-		
11			-	1.4	-		
12			19.3	1.5	-		
13			10.2	0.8	-		

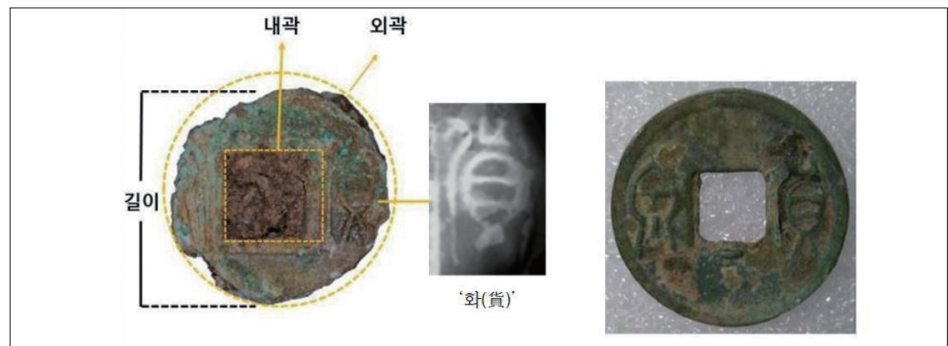
2.1.1. 현미경 조사

동전 표면의 상태, 크랙, 부식정도 등을 파악하기 위해 실체현미경으로 미시적 특성을 조사하고 상태를 관찰하였다.(ZEISS AXIO Zoom, V 16)

동전의 표면은 모두 부식되어 푸석한 상태이며, 광(郭) 내부는 유기물과 흙 등의 이물질이 고착되어 있었기 때문에 동전 표면의 정확한 상태 파악이 어려웠다. 유일하게 화천 B류음에서 표면에 명문을 확인하였다.



도2. 보존처리 전 화천 실체현미경 사진



도3. 화천의 세부 명칭

2.1.2. 이물질제거

실체 현미경으로 표면을 관찰하며 먼저 부드러운 붓을 이용하여 표면에 이물질을 제거한 후, 부드러운 붓과 미세면봉에 Ethyl alcohol을 이용하여 표면 전체를 닦아 흙 등의 이물질을 제거하였다. 동전의 상태가 매우 약하였으므로 원형을 손상하지 않는 범위에서 실시하였으며 겹겹이 뭉쳐진 화천은 억지로 분리하지 않았다. 세

척과정에서 흙과 모래알갱이가 혼합되어 유물 표면과 치밀하게 밀착되어 있는 부분은 Ethyl alcohol에 수분간 담가 두었다가 다시 세척하였다.

2.1.3. 안정화처리와 강화처리

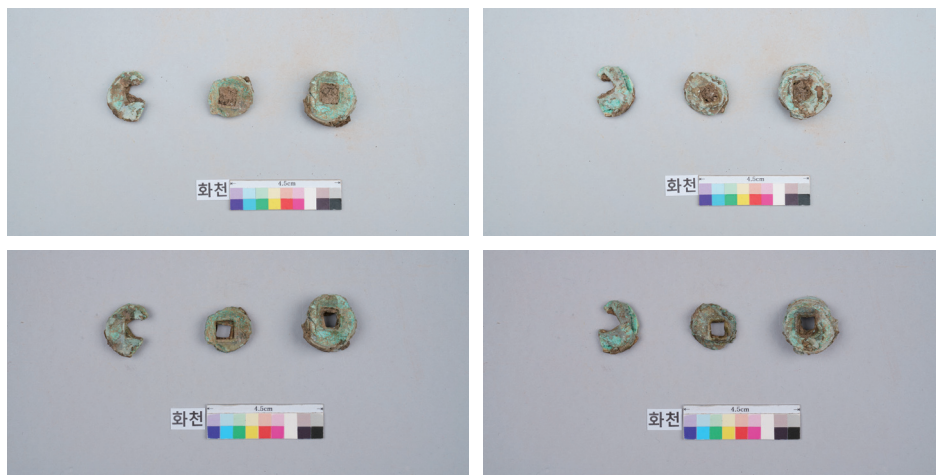
부식억제제인 B.T.A.(Benzotriazol) 3wt.%(in Ethyl alcohol) 용액에 자연 침적한 후 밀봉하여 일주일간 유지하고 꺼내어 후드에서 자연건조 하였다. 강화처리는 아크릴계 수지인 Paraloid B-72 10wt.%(in Acetone : P.M)용액에 자연 침적하여 꺼낸 뒤 자연 건조 하였다. 건조 후 같은 약품을 이용하여 2회 붓으로 도포하여 코팅막을 고르게 형성하였다.

2.1.4. 접합 및 복원

미세 균열부위는 아크릴계 수지인 Paraloid B-72 10wt.%(in Acetone) 용액을 주사기로 주입하였다. 유리섬유를 Paraloid B-72 10wt.%(in Acetone)에 함침시켜 얇은 판 형태로 제작한 유리섬유판을 이용하여 균열 부위를 덧대어 접합하였다. 일부 접합은 순간접착제(Cyanoacrylate)를 이용하여 접합하였다.

2.1.5. 마무리

접합부위와 충전부위는 아크릴 물감으로 주변과 유사하게 채색하여 색맞춤하였다. 보존처리 기록카드에 처리과정, 사용약품, 처리 후 중량 등을 기록하고 사진촬영하여 마무리 하였다. 처리 후 제원은 <표1>과 같다.



도4. 보존처리 전 · 후 화천

3. Nano CT 조사

화천의 내부 상태 및 정확한 구조 등을 파악하기 위해 Nano CT 조사를 실시하였으며 촬영 조건은 <표2>와 같다.

표2. 분석 조건

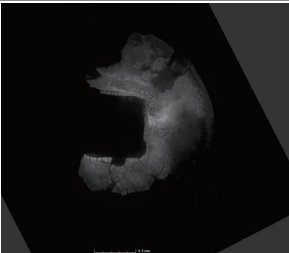
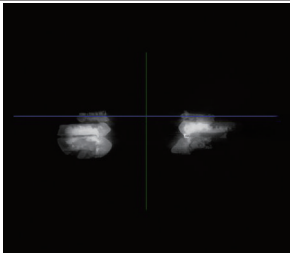
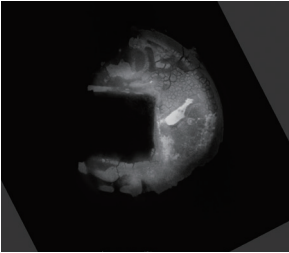
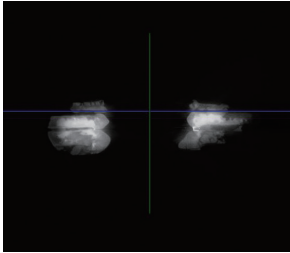
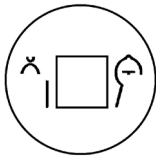

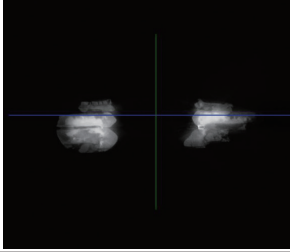
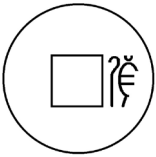
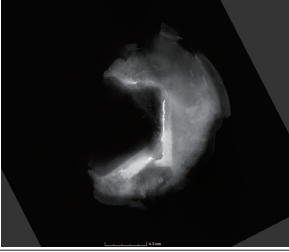
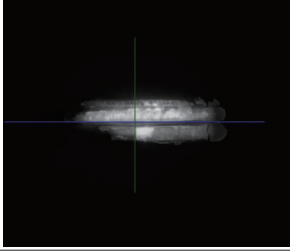
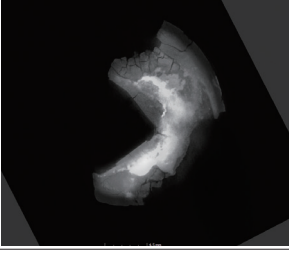
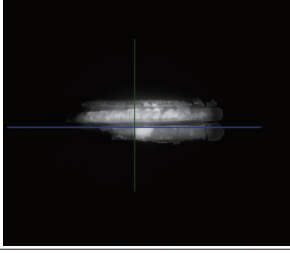
분석 기기	분석 기기명	나노CT 분석 조건							
		전압	전류	회전 각도	회전단계	디텍터	디텍터 크기	픽셀 사이즈	단층영상 개수
나노CT	FF20CT, Yxlon Germany	170kV	39.0μA	360°	0.25°	1,792×2,176 pixel	249×302mm	139μm	1440

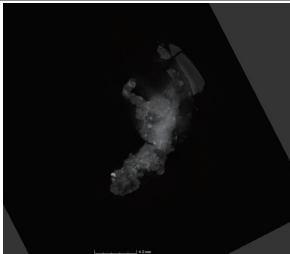
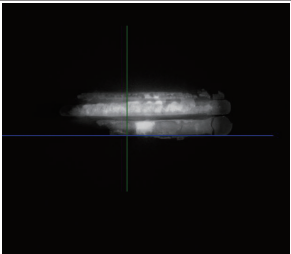
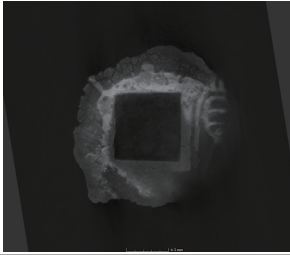
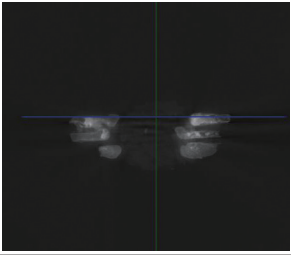
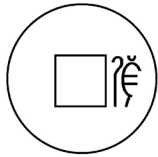
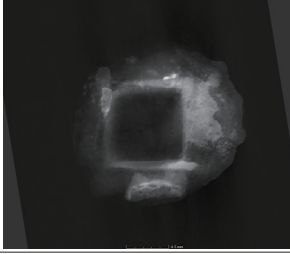
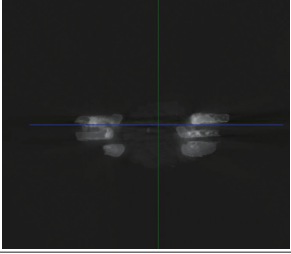
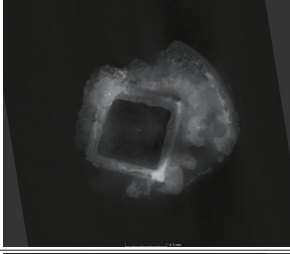
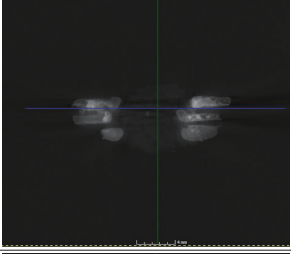
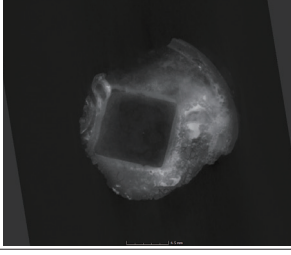
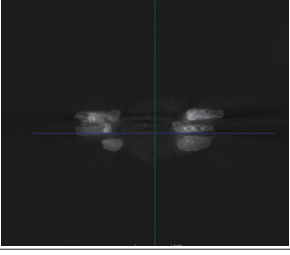
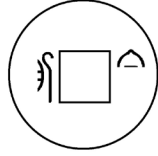
3.1. 조사 내용

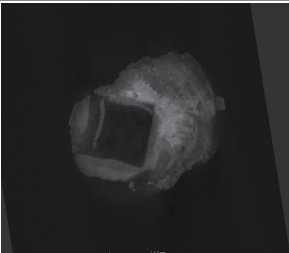
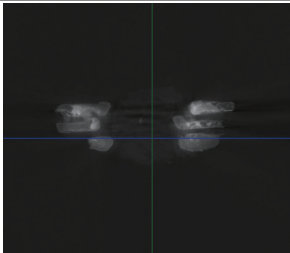
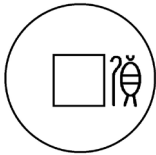
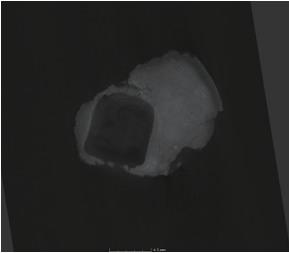
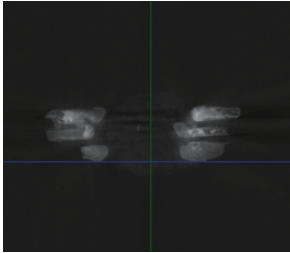
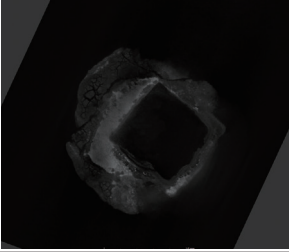
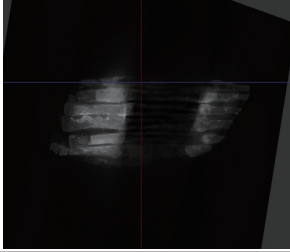
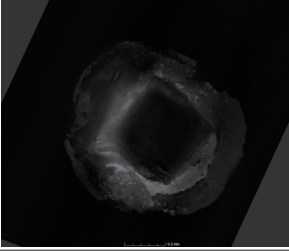
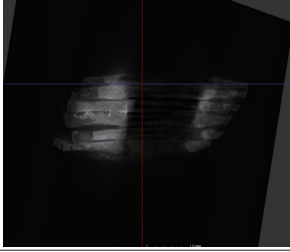
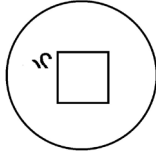
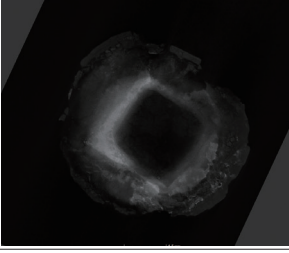
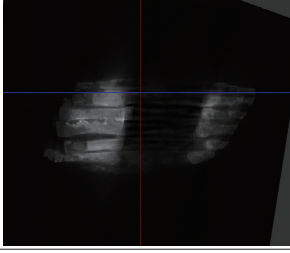
동전은 총 13개이다. 혹시 각 묶음이 접합될 가능성에 대해 사진으로 복원해보았으나, 서로 접합되지는 않았다. 남아 있는 광의 형태로 본다면 서로 접합될 가능성은 적다.

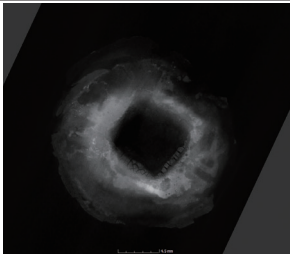
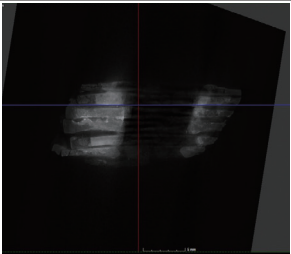
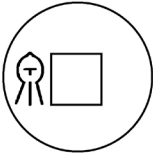
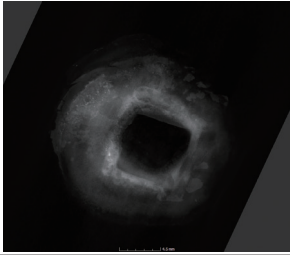
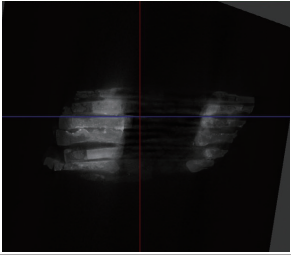
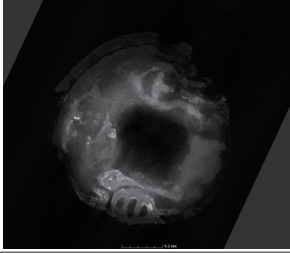
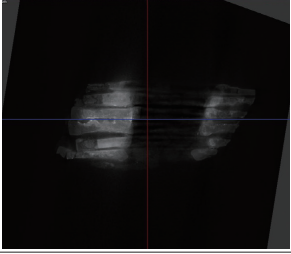
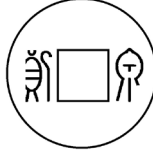
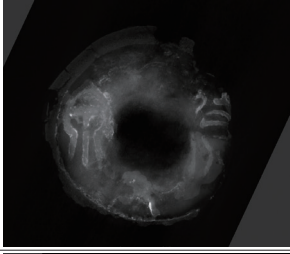
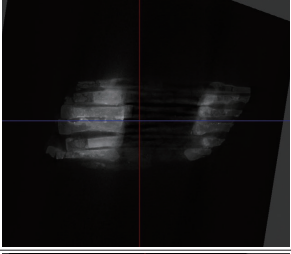
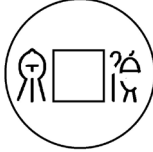
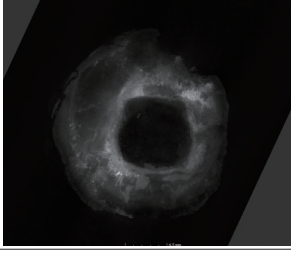
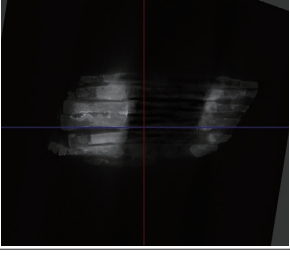
동전은 모두 세 덩어리인데, B묶음에서 ‘화천’이라는 명문이 육안으로 확인되며, 나머지는 서로 붙어있어 육안으로는 명문을 확인할 수 없었다. 또한 상태가 좋지 않고 박리가 심해 전체적인 크기조차 확인이 어려웠기 때문에 모두 화천인지도 명확하지 않은 상태였다.

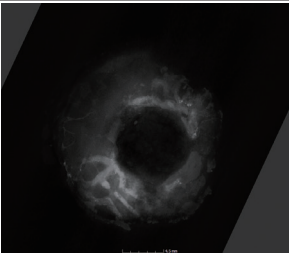
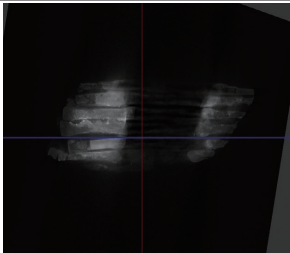
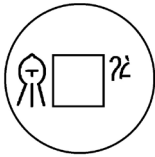
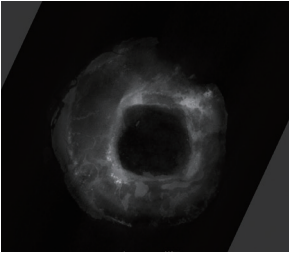
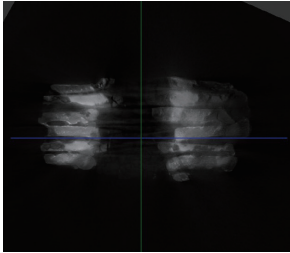
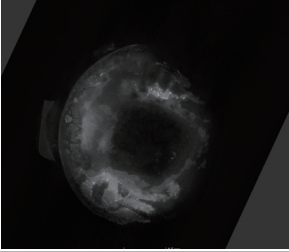
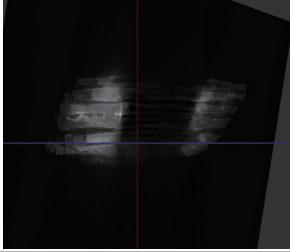
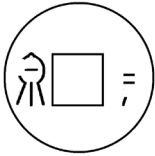
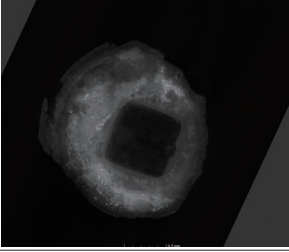
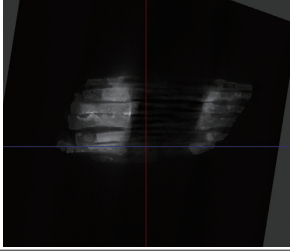
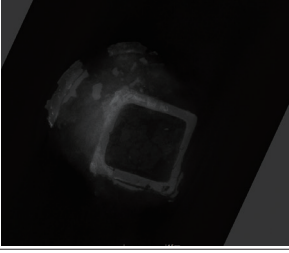
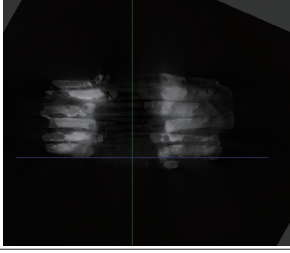
이 동전들의 종류를 확인하기 위하여 Nano CT 촬영을 실시하였는데, 그 결과 총 13점 중에서 12점에서 명문이 확인되었다⁽⁵⁵⁾. 이를 통해 이 동전들은 ‘화천’으로만 이루어진 꾸러미로, 화천이 주조된 기원후 14년에서 그리 떨어지지 않은 시기에 무덤이 만들어지고 거기에 부장되었을 것으로 추측할 수 있다.

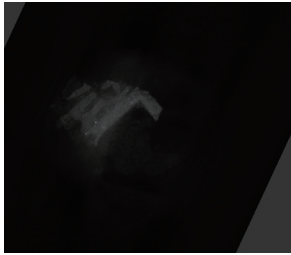
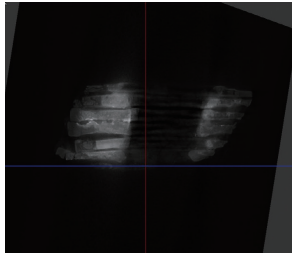
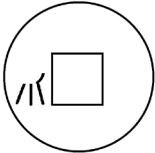
분류	연번	명문	형단면	측면촬영위치	명문 표기
A 류 금	1 상 면	-			
	1 하 면	화 천			
	2 상 면	화			
	2 하 면	-			
	3 상 면	-			

분류	연번	명문	횡단면	측면촬영위치	명문 표기
A 류 금	3 하 면	-			
	1 상 면	화			
	1 하 면	-			
	2 상 면	-			
	2 하 면	화 천			
B 류 금					

분류	연번	명문	형단면	측면촬영위치	명문 표기
B 류 미	3 상 면	화			
	3 하 면	-			
C 류 미	1 상 면	-			
	1 하 면	화			
	2 상 면	-			

분류	연번	명문	횡단면	측면촬영위치	명문 표기
C 묘 부	2	화 하 면			
	3	- 상 면			
	3	화 하 면			
	4	화 상 면			
	4	- 하 면			

분류	연번	명문	형단면	측면촬영위치	명문 표기
C 류 미	5 상 면	화 천			
	5 하 면	-			
	6 상 면	화 천			
	6 하 면	-			
	7 상 면	-			

분 류	연 번	명 문	횡단면	측면촬영위치	명문 표기
C 목록 음	7 하 면	천			

도5. 화천의 단층촬영 영상(Nano CT)

〈도5〉는 Nano CT 촬영 후 한 묶음의 동전을 겹쳐진 순서대로 횡단면을 상면과 하면으로 표기하여 표로 나타낸 것이다. A묶음은 모두 3점이 겹쳐진 것으로 첫 번째 두 번째 동전에서 각 각 ‘화천(貨泉)’과 ‘화(貨)’라는 명문이 확인되었다. 마지막 세 번째 동전에서는 상면과 하면 모두 글자를 확인 할 수 없었다. B묶음 역시 3점이 겹쳐진 것으로 첫 번째 동전의 표면에서 유일하게 육안으로 명문이 관찰되었다. 두 번째 동전의 하면에서 ‘화천(貨泉)’라는 명문이 확인되었고 세 번째 동전에서도 ‘화(貨)’자가 확인되었다. C묶음은 모두 7점의 동전이 겹쳐진 것으로 확인되었으며 마지막 동전은 1/4 정도만 남아있음에도 불구하고 ‘천(泉)’의 상형자 아래 부분이 확인되었다. 13점의 화천은 모두 상태가 좋지 않으며 동소지가 전혀 남아있지 않아서 성분 분석이 어렵지만, 향후 중국과 한반도 각지에서 출토되는 화천의 성분 분석을 통해 한반도 남부에서 중국 동전을 주조하였을 가능성에 대한 검토가 필요하다.

4. 마등유적 출토 화천의 한반도 주조 가능성 검토

4.1. 왕망 전후의 한

화천은 ‘재화가 샘솟는다’라는 의미를 가진 명칭으로 소위 ‘왕망전’이다. 왕망전이란 전한과 후한의 사이, 왕망이 건국한 ‘신’에서 사용하던 동전이기 때문에 붙여진 이름이다. 외척세력으로 성장한 왕망(王莽)은 처음에는 선정을 베풀어 사람들의 신임을 받지만 점차 야심을 키워 평제를 독살하고 어린 아들 영(嬰)을 즉위시켜 황제를 바꾸어버린다. 이를 통해 정권을 독차지하여 ‘가황제(假皇帝)’ 또는 ‘섭황제(攝皇帝)’라고도 불리는데, 기원후 8년 천명을 받아 가황제에서 진황제가 되었으며, 국호를 신(新)으로 정하여 나라를 세운다.

왕망은 즉위하면서 여러 방면에 걸쳐 개혁을 단행하였다. 우선 유가의 경전에 따라 관명을 고치고, 서주 시대의 제도를 부활시켰다. 이런 왕망의 개혁을 ‘탁고개제(托古改制)’한 복고 정치라고도 한다. 정치적으로 봉건 제도를 회복하고 왕전(王田)

제도를 실시하여, 전국의 토지를 국가에 귀속시켰다. 경제적으로 육완(六莞) = 관(管) 제도를 실시하여 소금과 철, 술의 전매는 물론 산이나 연못에서 얻어지는 이익도 모두 국가에 귀속하였다. 또한, 노비를 폐지하여 매매를 금지하는 등 선정을 위한 많은 노력을 하였다. 그러나 그의 개혁은 실질적인 경제 환경을 고려하지 않았고, 준비 없이 옛 것을 회복하는 것이어서, 실패로 돌아간다. 특히 화폐 제도가 복잡하게 여러 번 바뀌면서 경제적 혼란을 가져왔다.

4.2. 왕망의 화폐개혁

이런 왕망의 개혁이 실패한 큰 원인 중의 하나로 잦은 화폐개혁을 꼽는다. 전한 말부터 신대까지 총 4번의 화폐개혁을 실시하였는데 居攝 2(AD 7)년 첫 번째 개혁이 이루어진다. 이전의 통화는 전한 元狩 4(BC 119)年 한무제에 의해 처음 주조된 화폐 오수전으로 통일 되어 있었다. 그렇기 때문에 많은 돈이 필요한 경우, 많은 양의 오수전을 가지고 거래해야하는 불편함이 있었다. 이에 왕망은 우선 고액권을 만들었는데 대천오십(大泉五十), 계도(契刀), 착도(錯刀)라는 세 종류의 새로운 화폐가 그것이다. 이 세 종류의 화폐를 새롭게 주조해서 오수전과 함께 사용하도록 했다. 대천오십은 직경 1촌(寸) 2분(分), 무게 12수(銖)로, 이것을 오수전 50개의 가치를 갖는 것으로 하였다. 대천오십에 칼을 붙인 모양을 한 계도는 길이 2촌으로, 오수전 500개의 가치에 상당했으며, 착도는 이 계도에 다시 황금으로 ‘一刀’라는 문자를 기입한 것으로 오수전 5000개의 가치를 갖는 것이었다.



도6. 대천오십 · 계도 · 착도⁷⁾

그런데 왕망이 황제 자리에 오른 始建國 元(AD 9)년에는 계도와 착도, 오수전을 폐지하고 그 대신 직경 6분, 무게 1수의 소천직일을 주조하고 이것을 1전으로 삼아 대천오십과 함께 통용시켰다. 이에 따라 무제 이후 화폐의 기본이었던 오수전의 사용은 일시 중단되었다.

이 개혁의 이유는 오수전이 이전의 한나라 통화이고, 또 계도와 착도 등 도전(刀錢)의 도(刀)라는 문자가 한왕실의 유(劉)씨 성에 나오는 글자라는 점 때문이었다. 그리고 오수전을 폐지하고 소천직일을 새로 주조하게 된 것은 오수전이 한왕조의 통화였다는 이유 외에 이것과 대천오십과의 실질비가를 맞추려는 것이었는데, 그래도 무게 1수인 소천직일 50개가 무게 12수인 대천오십 하나에 해당하였기 때문에 그 비는 여전히 균형이 맞지 않았다. 그 때문에 소천직일을 녹여 대천오십을 도주하는 자가 속출하여 민간에서 동과 숯의 보유를 금지시켰다.

그리고 시건국 2(AD 10)년 왕망은 더욱 복잡한 화폐 제도의 개혁을 단행하였다. 금, 은, 구갑(龜甲), 조개(貝), 구리(銅)를 재료로 한 6형식 28종류의 화폐를 제정하여 이것과 대천오십, 소천직일을 나란히 사용하였다. 하지만 이는 너무 복잡한 제도였다. 가령 동화(銅貨)의 경우 우선 그 형식은 전(錢)과 포(布)로 나누어져 전에는 무게 1수인 소천직일에서 무게 12수인 대천오십에 이르기까지 6종류가 있고 포에는 다시 10종류가 있었다.



도7. 6전^㉞ (1. 대천오십大泉五十 2. 장천사십壯泉四十 3. 중천삼십中泉三十 4. 유천이십幼泉二十 5. 요천일십玄泉一十 6. 소천직일小泉直一)



도8. 10포^㉞ (1. 소포일백小布一百 2. 요포이백玄布二百 3. 유포삼백幼布三百 4. 서포사백序布四百 5. 차포오백差布五百 6. 중포육백中布六百 7. 장포칠백壯布七百 8. 제포팔백弟布八百 9. 차포구백次布九百 10. 대포황천大布黃千)

이렇게 복잡한 여러 형식의 화폐는 실제로 유통되지 않았다. 이 개혁의 결과 유통된 것은 소전과 대전뿐이었고 게다가 민간에서는 금지된 오수전이 여전히 유통되고 있었다.

天鳳 元(AD 14)년에는 이 대천오십과 소천직일도 폐지하고 대신 화포(貨布)와 화천(貨泉)이라는 두 형식의 화폐를 만들었다. 이 화폐는 동근 모양에 네모난 구멍이 동화로 무게는 5수, 표면에는 화천이라는 두 글자가 적혀 있었다. 다시 말해 이것은 오수전의 이름을 바꾸어 다시 만든 것이다. 화포는 전국시대의 포전(布錢)을 모방한 것으로 그 명칭 역시 「주례」의 기사에 따른 것이고, 무게는 25수였다. 화천 25개가 화포 하나에 해당하였지만 실제 무게로는 화천 5개에 해당하기 때문에 화천 5개를 녹여 화포 1개를 몰래 만들어 그것을 다시 화천 25개로 바꾸면 화천 20개의 이익을 얻을 수 있는 문제가 있었다.

이같이 왕망대의 화폐정책은 너무 자주 바뀌었고 내용도 복잡해서 일반에서 제대로 시행되지 못하였다. 물론 왕망은 화폐정책을 강행하기 위해 화폐를 몰래 만드는 자를 사형에 처하고, 위폐사용을 엄격히 금지했으며, 화폐제도를 비난하는 자는 유배를 보내기도 했다. 그래도 위반자는 계속 발생했고 형벌을 완화해서 범죄자를 관노비로 삼는다든가 혹은 강제노동에 충당시키거나, 그 이웃 다섯 집도 같은 죄를 씌우는 등의 방식으로 화폐정책의 유지 했다. 그러나 그의 화폐 정책은 사회에 커다란 불안과 동요를 일으켜 결국 왕망 정권 붕괴의 최대 원인 중 하나가 되었다.

4.3. 한반도 남부 왕망전 출토유적

한반도에서 출토된 왕망전은 화천이 가장 많고, 화포, 대천오십, 대포황천의 순으로 출토가 되고 있다. 제주 산지항에서는 오수전과 동반하여 출토된 사례가 있으나, 나머지는 모두 왕망전만 출토되고 있다.

화천이 출토되는 유적 중 김해 회현리, 제주 종달리, 해남 군곡리 유적에서는 패총에서 1점만 출토되고 있는데, 모두 해안가라는 특징이 있다. 특히 김해 회현리 패총 출토품에는 도끼자국과 같이 찍힌 흔적이 있어 항해의 안전을 위한 의례와 관련된 것일 가능성을 제기한 바 있다⁴⁾. 또한 광주 북룡동과 제주 산지항, 그리고 이번 해남 흑천리에서는 10점이 넘는 화천이 각각 출토되었는데, 특히 광주 북룡동과 해남 흑천리는 무덤에 부장된 것으로 노자돈과 같은 의미를 가지고 있었을 것으로 추정할 수 있을 것이다. 이렇게 무덤에 돈을 부장하는 사례는 중앙아시아의 소그드인들에게서도 확인되는 것인데, 상업과



도9. 한반도 남부 출토 왕망전

교역이 발달한 지역에서 이렇게 돈을 무덤에 부장하거나 얹을 하는 사례가 많다고 한다.

또한 제주 금성리 출토품을 비롯하여 동전에 구멍이 있는 사례가 있는데, 동검이나 소지품에 매달아 장신구로 사용하는 사례가 경산 임당 등지에서 확인된다^[5]. 이것과 관련하여 중국 군현과의 교역 시, 출입증, 허가증 등의 용도로 사용하였다는 기록이 『漢書』 「王莽傳」에 기록되어 있어 주목된다. 거기에는 “吏民出入 持布錢以副符傳 不持者 廚傳勿舍 關津苛留(포와 동전 등을 소지하지 못한 이민은 관진을 출입할 수 없다)”라고 기록되어 있어 동전 등을 가지고 있어야 군현에 출입이 가능하였다는 것을 알 수 있다^[6].

화천의 용도는 다양했지만 가장 중요한 것은 가치의 척도로서 교환에 이용된 것이라 생각한다. 그렇기 때문에 다량의 동전이 부장되는 이번 사례나 광주 복룡동 무덤의 예가 확인된다. 향후 분석을 통해 한반도 남부에서 동전을 주조하였을 가능성에 대해서 조사할 필요가 있을 것이다.

표3. 한반도에서 왕망전이 출토된 유적

연번	유적명	수량	주조연대	유구	공반유물
1	김해 회현리	화천 1	14	패총	토기, 횡통문경,
2	제주 종달리	화천 1	14	패총	점토대토기
3	제주 금성리	화천 2	14	주거지	연질토기, 방추차, 어망추
4	제주 산지항	화천 11, 화포 1, 대천오십 2	7/14	제사	오수전 4, 동경, 검부속구
5	전 제주도	화천5/ 대천오십 5	7/14	-	-
6	해남 군곡리	화천 1	14	패총	점토대토기
7	해남 흑천리	화천 13	14	분묘	토기, 구슬
8	나주 랑동	화천 2	14	기타	고배, 삼족기, 옥
9	광주 복룡동	화천 49 (오수전1?)	14	분묘	연질호, 유리구슬
10	부여 석목리	대천오십 1	7	기타	목간, 도가니, 철촉
11	장흥 평화리	대포황천 1	10	수혈	타날문토기

5. 맺음말

한반도에서 출토된 동전 13점에 대한 검토를 하였다. 육안으로는 화천이라는 명문이 확인되는 것 1점이었지만 Nano CT 촬영을 실시해 화천을 자세히 조사할 수 있었다.

첫째, 단층촬영 영상(Nano CT)을 이용하여 13점 중 12점에서 ‘화천’이라는 명문이 있다는 것을 확인하였다. 그리고 이 동전 꾸러미는 화천으로만 이루어진 것으로 보인다.

둘째, 이 동전 꾸러미는 원래는 하나의 꾸러미로 연결되어 있던 것이 서로 수착되어 3, 3, 7개씩 3묶음으로 이루어져 있다. 꾸러미가 출토되는 사례는 인천 운북동 2호 주거지에서 오수전 20점, 광주 북룡동 2구역 1호 토광묘에서 화천 48점이 있다. 교환의 척도로서 화폐가 사용되었음을 보여주는 사례로 추정된다.

셋째, 화천은 중국의 왕망전으로 기원후 14년 왕망의 제3차 화폐개혁에 의해 새롭게 등장한 동전이다. 또한 왕망의 신은 기원후 23년 멸망하므로 아주 짧은 시기에 사용된 동전이다. 이런 동전이 출토되는 유구는 역시 이러한 역사적 배경에 따라 연대가 주어질 수 있을 것이다.

넷째, 이번 조사에서 밝히지 못한 부분으로 화천의 조성성분이 있다. 부식이 심하고 금속심이 남아있지 않아 성분분석을 실시하지 못하였으나 향 후 동지역의 화천 출토 사례를 면밀히 검토하여 한반도 남부에서 동전을 주조하였을 가능성에 대해서 조사할 필요가 있다.

단층촬영 장비를 이용한 조사 결과를 바탕으로 고고학적인 해석을 더하였다. 향 후 이러한 학문 간의 협업을 통해 많은 새로운 자료들이 빛을 보기를 기대한다.

참고문헌

1. 대한문화재 연구원, *해남 흑천리 마등유적 조사보고*, (2019).
2. 동북아지식묘연구소, 광주 월전동 하선·복룡동·하산동유적, *학술총서* 46, (2018).
3. 정수빈, 박학수, 하남시 춘공동 출토 청동현향로(靑銅縣香爐)의 제작기술과 보존처리, *박물관 보존과학* 16, (2015).
4. 국립김해박물관, 김해 회현리 패총, *일제강점기자료조사 보고* 9, (2014).
5. 이영훈·이양수, 한반도 남부 출토 오수전에 대하여, 영천 용전리 유적, *국립경주박물관 학술조사보고* 19, (2007).
6. 권옥택, 한반도 남부·일본열도 출토 漢代화폐와 용도·오수전·왕망전을 중심으로-, *영남고고학* 84, 영남고고학회, (2019).
7. 漫話中國錢幣之王莽錢9, 每日頭條 2017.9.7. <https://kknews.cc/culture/oogrn25.html>.

성덕대왕신종의 3차원 디지털 기록화 의미와 모니터링 기초자료 구축

Significance of Three-Dimensional Digital Documentation and Establishment of Monitoring Basic Data for the Sacred Bell of Great King Seongdeok

조영훈^{1,*}, 송형록¹, 이승은²

¹국립공주대학교 문화재보존과학과,

²국립경주박물관 학예연구과

JoYounghoon^{1,*}, Song Hyeongrok¹,
Lee Sungeun²

¹Department of Cultural Heritage
Conservation Sciences,

Kongju National University,

²Curatorial Affairs Division,
Gyeongju National Museum

* Corresponding Author:
Jo Younghoon

Tel: 82-41-850-8539

E-mail: joyh@kongju.ac.kr

요약

성덕대왕신종은 현재 표면의 문양과 명문을 중심으로 부식물이 존재하고, 일부 마모 흔적이 관찰되는 만큼 보존상태에 대한 디지털 정밀 기록이 필요한 시점이다. 따라서 이 연구에서는 4종류의 3차원 스캐닝과 무인항공사진측량을 이용하여 성덕대왕신종의 디지털 기록화를 수행하였고, 영상처리를 통해 다양한 형상분석을 실시하였다. 먼저 지상레이저스캐닝과 무인항공사진측량의 융합모델링 결과는 성덕대왕신종과 종각의 상호 공간적 관계를 구축할 수 있어 향후 지진에 의한 구조적 변형을 모니터링하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 선행자료에 비해 4~9배 정도 높은 해상도를 보인 정밀스캐닝 결과는 성덕대왕신종의 문양 및 명문 가시화에 상당히 유용한 정보를 제공했으며, 표면 보존상태 변화를 파악할 수 있는 기초데이터로 매우 적절하였다. 성덕대왕신종의 원형 보존에 3차원 스캐닝 결과를 적극 활용하기 위해서는 단기적으로 추가적인 스캔을 하여 형상변화 시점과 지점을 설정할 필요가 있다. 만약 단기모니터링을 통해 큰 형상 변화가 확인되지 않는다면 중장기모니터링으로 전환할 필요가 있다.

주제어 : 성덕대왕신종, 3차원 스캐닝, 디지털 기록화, 형상분석, 모니터링

Abstract

The Sacred Bell of Great King Seongdeok is required digital precision recording of conservation conditions because of corrosion and partial abrasion of its patterns and inscriptions. Therefore, this study performed digital documentation of the bell using four types of scanning and unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry technologies, and performed the various shape analyses through image processing. The modeling results of terrestrial laser scanning and UAV photogrammetry were merged and utilized as basic material for monitoring earthquake-induced structural deformation because these techniques can construct mutual spatial relationships between the bell and its tower. Additionally, precision scanning at a resolution four to nine times higher than that of the previous study provided highly valuable information, making it possible to visualize the patterns and inscriptions of the bell. Moreover, they are well-suited as basic data for identifying surface conservation conditions. To actively apply three-dimensional scanning results to the conservation of the original bell, the time and position of any changes in shape need to be established by further scans in the short-term. If no change in shape is detected by short-term monitoring, the monitoring should continue in medium- and long-term intervals.

Keywords : Sacred Bell of Great King Seongdeok, Three-dimensional Scanning, Digital Documentation, Shape Analysis, Monitoring

투고일: 2020. 10. 5. 심사(수정)일: 2020. 11. 9. 게재확정일: 2020. 11. 13.

1. 서론

문화유산은 과거와 현재를 이어주고 미래로 계승해야 할 민족적 자산이자 문화 발전의 근간이다. 20세기까지만 해도 문화유산 관련 주요 관심은 역사, 고고, 미술사, 건축사 등 주로 인문학적 분야였다. 그러나 21세기에 들어서면서 첨단기술의 발전과 함께 보존과학이 활성화되었고, 이에 따라 문화유산을 바라보는 시각이 상당히 다양해졌다. 특히 문화유산의 과학적 조사, 분석, 진단, 수리, 복원, 활용이 활발해지면서 기록은 필수적인 과정으로 자리매김되었다.

문화유산은 전통적으로 육안관찰, 실측, 점단위 측량, 사진 등의 직·간접적 기법을 통해 기록되어 왔다. 그러나 최근에는 드론, 3차원 스캐닝, 영상처리 등 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 기반 첨단기술이 문화유산에 적극 활용되고 있다^[1,2,3]. 이로 인해 문화유산적 자원과 정보는 점차 디지털화되고 있고, 디지털로 생산되고 배포되면서 우리들은 언제 어디서나 문화유산에 접근할 수 있는 시대에 살고 있다. 이러한 디지털 접근성은 새로운 지식을 창출하고 상호간 교류 및 공유하는데 큰 강점을 가지고 있다.

유네스코는 현재와 미래 세대를 위해 가치 있는 유산을 대상으로 디지털화하는 것은 보존의 가치로 매우 중요함을 인지하여 2003년 ‘디지털 유산 보존에 관한 헌장’을 선포하였다^[4]. 이 헌장에서 말하는 ‘디지털 유산’은 인간의 지식과 표현으로 만들어진 자원과 정보 중 독특한 유·무형의 유산을 태생적으로 디지털로 창조하거나 기존의 아날로그 자원을 디지털 형태로 변환하는 것을 말한다. 따라서 디지털 기술을 통해 유산을 기록하고 창조하는 과정은 매우 중요하며, 이러한 노력의 일환으로 문화유산의 디지털 기록화 관련 연구는 전 세계적으로 활성화되고 있다^[5,6,7].

연구대상인 성덕대왕신종(국보 제29호)은 771년 신라시대에 제작된 범종으로 우리나라를 대표하는 동종이다. 이러한 뛰어난 역사적 가치 때문에 성덕대왕신종에 대해서는 명문^[8], 형태^[9], 음향적 특성^[10,11,12], 재질특성^[13], 주조기법^[14] 등 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 또한 문화재청과 국립경주박물관은 지금까지 1999년^[15], 2009년^[16], 2017년^[17] 총 세 차례에 걸쳐 디지털 기록화 사업을 진행해 왔다.

그러나 야외 노출된 성덕대왕신종의 전시환경으로 인해 최근 부식과 함께 마모가 진행되고 있음이 보고되었으며^[18], 보존환경에 대한 개선 필요성도 주장되고 있다^[19,20]. 이러한 보존관리 상태를 정밀하게 분석하고 모니터링하기 위해서는 3차원 디지털 자료의 활용은 필수적이다. 그러나 과거 수행된 기록화 프로젝트들은 목적이 다소 상이하고, 3차원 스캐닝 결과의 최적화 과정 및 활용성이 정립되지 않아 성덕대왕신종이 가지고 있는 다양한 형상 정보를 종합적으로 구축하지 못했다.

성덕대왕신종은 현재 표면의 문양과 명문 중심으로 부식물이 존재하고, 일부 마모

흔적이 관찰되는 만큼 보존상태에 대한 정밀 기록이 필요한 시점이다. 따라서 이 연구에서는 선행 디지털 기록화 결과의 의미와 활용성을 살펴보고, 이를 통해 현재 시점의 기록화 방향성을 설정하고 의미를 고찰하였다. 또한 성덕대왕신종의 보존상태를 모니터링할 수 있는 수치데이터 및 디지털 기초자료를 구축하였고, 다양한 영상분석 기술을 활용하여 성덕대왕신종의 문양, 명문, 두께 등의 형상분석을 수행하였다.



도 1. 국보 제29호 성덕대왕신종의 전경

2. 현황 및 방법

2.1. 현황

성덕대왕신종은 불국사 및 석굴암과 함께 8세기 신라 문화를 대표 하는 중요한 유산으로, 신라 성덕왕의 덕을 기리기 위해 경덕왕 때 만들기 시작하여 혜공왕 재위 때 완성되었다. 전체적으로 당좌 2개, 명문 2개, 비천상 4개 등 범종의 주요 문양들이 새겨져 있으며, 현재 내진보강이 완료된 종각에 의해 보호되고 있다^(표1). 제원은 높이 3.66m, 입지름 2.27m, 무게 18.9톤으로, 우리나라에 완형으로 남아 있는 가장 큰 종으로 알려져 있다. 특히 서문 630자와 명(銘) 200자 등으로 구성된 1,000여자의 명문은 문장뿐 아니라 제작기법이 뛰어나며, 범종의 제작 시기 및 의도, 당시 신라인들의 관념과 사상 등 여러 중요 정보가 기록되어 있다.

성덕대왕신종의 재료학적 성분은 포항산업과학연구원과 강형태 외(2004)에 의해 실시된 바 있다. 이 결과를 요약하면, 성덕대왕신종은 구리와 주석의 평균 조성비가 86:13인 구리-주석계 청동이며, 불순물이 매우 적은 정제된 원료로 제작었다^[13]. 다만 종을 주조하기 위한 원료 수급이나 주조 방법 등에 대한 문헌이 남아 있지 않아 이에 대한 다양한 과학적 연구가 추가적으로 필요한 상황이다.

2.2. 3차원 디지털 기록 방법

문화유산의 디지털화에 있어 가장 중요한 것은 대상의 크기, 표현 해상도 및 기록 목적에 적합한 기술을 선택하는 것이다. 이를 위해 여러 실측 및 측량 기술의 특성, 성능, 정밀도, 사용 가능한 자원에 대한 이해가 우선적으로 필요하며^[24], 이 외에도 접근성과 기록 환경을 정확히 이해해야 한다. 일반적으로 하나의 기술만으로 기록이 가능한 경우도 있지만 대부분 다양한 디지털 기술을 보완적으로 사용하여 융합할 때 최적의 결과를 도출할 수 있다. 특히 다양한 크기의 형상이 복합적으로 존재하는 문화유산의 경우 문양, 명문, 미세 손상 등의 실측치에 따라 다양한 스캔 방식을 적용해야 한다.

따라서 이 연구에서는 성덕대왕신종과 종각을 대상으로 지상레이저스캐닝, 무인항공사진측량, 핸드헬드형 중정밀스캐닝, 핸드헬드형 고정밀스캐닝, 고정형 고정밀스캐닝의 5가지 방식을 이용하여 3차원 디지털 기록을 수행하였다^[25]. 먼저 종각과 신종의 전체형상 및 위치정보는 4mm(10m 거리)와 7mm(20m 거리)의 정확도를 갖는 지상레이저스캐너(BLK360, Leica Geosystems)를 이용하였으며, 텍스처 매핑소스는 내부에 장착되어 있는 3대의 내장카메라(15MP)를 통해 획득되었다. 지상레이저스캐너 데이터를 실세계 좌표상으로 위치시키기 위한 지상기준점측량에는 가상기준국(virtual reference station, VRS) 방식의 GNSS 시스템(V100, Hi-Target)이 사용되었다.

지상레이저스캐너는 주로 지면과 수직적 형태에 치중되어 이루어지기 때문에 종각 지붕 상부와 같이 높고 평면적인 영역의 수치데이터를 획득하는데 어려움이 있다. 이를 보완하기 위해 20MP 카메라가 장착된 드론(Phantom 4 Pro, DJI)을 이용한 무인항공사진측량을 실시하였다. 현장에서는 수동으로 약 75%의 중첩도를 유지하면서 사진을 촬영하였고, 모델링에 활용된 스틸사진은 총 228매이다.

성덕대왕신종의 전체 모델링 및 형상분석(크기, 두께 등)에는 핸드헬드형 중정밀스캐너(Eva, Artec3D)이, 문양 및 명문의 디지털화에는 핸드헬드형 고정밀스캐너(Spider, Artec3D)이 활용되었다. 두 스캔 방식은 공통적으로 24bpp의 색상과 1.3MP의 텍스처 해상도를 가지나 최대 해상도(중정밀스캐너 0.5mm, 고정밀스캐너 0.1mm)와 정확도(중정밀스캐너 0.1mm, 고정밀스캐너 0.05mm)에는 차이가 있다. 또한 스캔 거리와 프레임에 따른 초당 취득 데이터의 수 역시 다르다.

성덕대왕신종 문양 및 명문의 보존상태 모니터링과 디지털 가시화 기초자료를 구축하기 위해 고정형 고정밀스캐너(HDI Advance R3X, LMI Technologies)를 수행하였다. 고정밀스캐너는 백색 구조광과 두 대의 스테레오 카메라를 이용한 삼각측량 방식으로, 이 연구에서는 2.8MP의 12mm 렌즈를 이용하여 40 μ m 정확도(200mm 시야각)와 최대 0.124mm의 해상도로 스캔하였다. 이 방식은 성덕대왕신종의 디지털 기록에 사용된 3차원 스캐너 중 가장 높은 해상도와 정확도를 가지고 있다.

표 1. 성덕대왕신종의 디지털 기록에 사용된 사진측량 및 3차원 스캔 방식

스캔 방식					
	사진측량	지상레이저스캔	중정밀스캔	고정밀스캔	고정밀스캔
대상	공간정보	공간정보	전체형상	문양 및 명문	문양 및 명문
목적	종각 지붕 모델링	공간 모니터링	3차원 모델링	3차원 모델링	형상 모니터링
범위	광대역	중대역	저대역	초저대역	초저대역
광원	가시광	레이저	백색 구조광	청색 구조광	백색 구조광
이동성	드론 비행	고정형	핸드헬드형	핸드헬드형	고정형
정확도	cm 내외	4mm	0.1mm	0.05mm	0.04mm

3. 3차원 모델링 결과

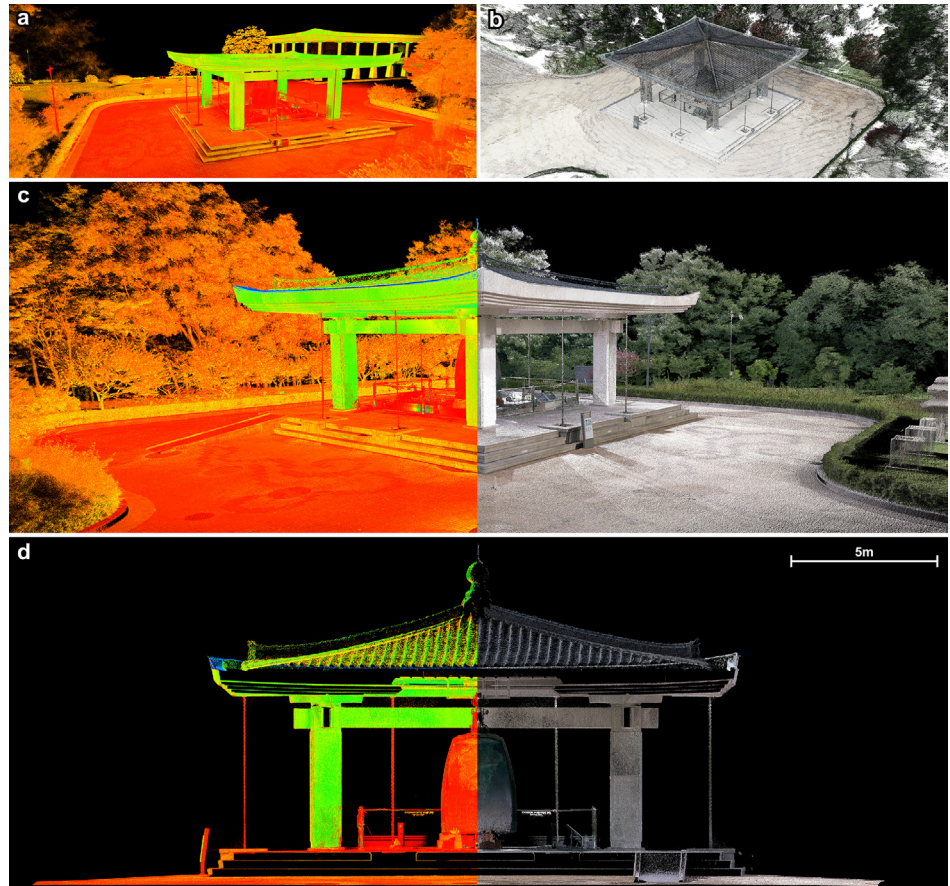
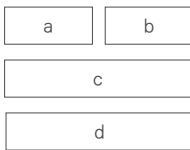
3.1. 공간 모델링

국립경주박물관 내 성대왕신종은 종각으로 보호되고 있고, 주변에는 전시관과 수장고 등 중요 시설이 위치하여 공간적 배치현황이 매우 중요하다. 또한 경주는 역사적으로 지진에 대한 기록이 다수 존재하며^[22], 2016년에는 규모 5.1과 5.8의 지진이 연달아 발생한 곳이다. 따라서 성덕대왕신종의 3차원 원형 자료와 종각 및 주변환경에 대한 디지털 기록이 매우 중요하다. 신종의 공간정보는 지진에 의한 구조적 변형을 모니터링하는데 중요한 기초자료가 될 수 있기 때문이다. 이 연구에서는 중대역 기반의 지상레이저스캐닝을 통해 성덕대왕신종을 중심으로 종각 및 주변환경의 디지털 기록을 수행하였다.

현장 스캔은 총 75지점에 대해 실시하였고, 모델링을 위한 데이터처리는 전용소프트웨어(Cyclone, Leica)를 이용하여 정합, 병합, 필터링, 텍스처매핑 순으로 진행하였다. 데이터처리 과정에 대한 상세 설명은 이미 다양한 연구자들에 의해 보고된 바 있다^[23,24]. <도2a>를 보면, 성덕대왕신종 공간에 대한 입체형상이 잘 구현되었으나, 지상레이저스캐닝의 위치적 한계로 인해 종각 지붕의 상부는 표현되지 않았다. 따라서 이를 보완하기 위해 무인항공사진측량을 수행하였으며, 촬영된 스틸사진의 특징점 추출과 점군데이터 생성을 거쳐 종각 지붕 중심의 3차원 모델을 완성하였다^(도 2b). 이처럼 지상레이저스캐닝은 수직적 기하정보를 취득하는데 유용한 반면 무인항공사진측량은 평면적 기하정보 획득에 강점을 가지고 있다.

따라서 지상레이저스캐닝과 무인항공사진측량을 융합하면 성덕대왕신종의 공간정보뿐만 아니라 종각에 대한 수치정보 파악에 용이하다. 이러한 융합모델링 방법에 대해서는 최근 들어 비교적 많은 연구들이 보고되고 있으며^[25,26], 이 연구에서도 두 기술을 융합하여 3차원 모델을 구축하였다. 이를 위해 종각 주위 임의의 6지점

에 대한 지상기준점측량 결과를 각 모델에 입력하고, 3개의 공통 대응점을 지정하여 형상정합 및 병합을 진행하여 융합모델을 완성하였다^(도2c, 2d). 이 결과를 보면, 종각의 수직 및 평면 형상이 완벽하게 구현되었으며, 지상기준점을 통해 성덕대왕신종 및 종각이 진북 방향의 절대좌표를 갖게 되었음을 알 수 있다.



도2. 지상레이스캐닝을 통한 성덕대왕신종의 공간모델링 결과

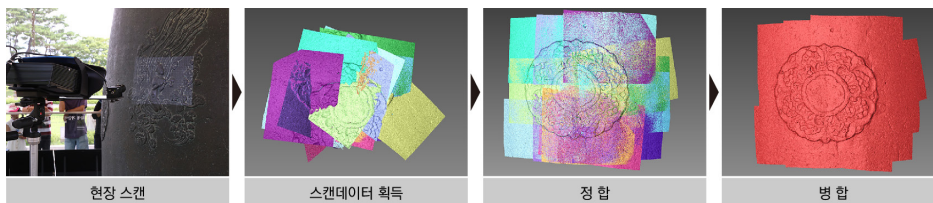
3.2. 성덕대왕신종 모델링

정밀스캐닝은 크게 고정형과 핸드헬드형 방식이 있는데, 이 중 전자는 해상도와 정확도가 높은 장점이 있고, 후자는 이동성과 현장 접근성이 탁월하다. 따라서 성덕대왕신종의 전체 형상은 규모와 접근성을 고려하여 핸드헬드형 중정밀 스캔을 이용하였고, 중요 문양 및 명문은 핸드헬드형 및 고정형 고정밀 스캔을 통해 기록하였다. 이 방식들은 공통적으로 광원으로 사용되는 구조광의 구분이 가능한 환경에서 스캔할 수 있기 때문에 직사광선이 없는 환경조건에서 데이터를 취득하였다.

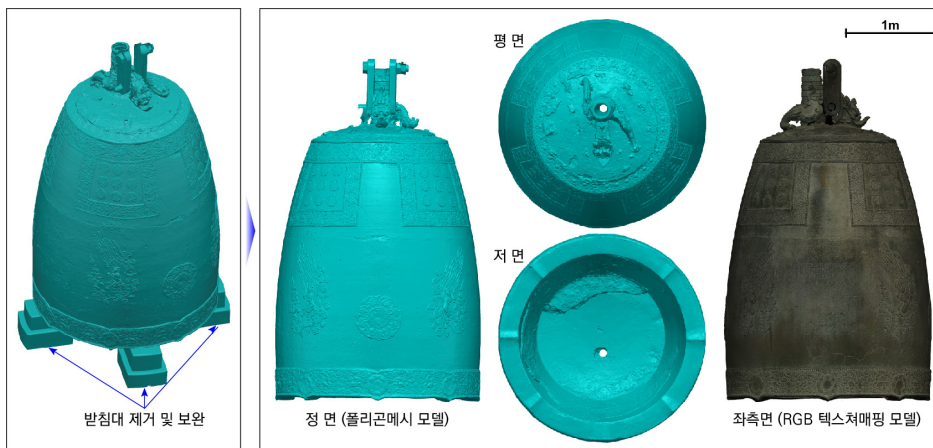
핸드헬드형(Artex Studio, Artec3D) 및 고정형(FlexScan3D, Polyga) 스캔 데이터

처리는 이미 다수의 연구자들에 의해 보고된 바 있다^[27-29]. 이 연구에서는 기본적으로 개별 폴리곤메시의 정합, 병합, 필터링 과정을 거쳐 완료되었다^(도3). 특히 스캔 시 획득한 색상 정보의 밝기와 색도를 조절한 후 최종 폴리곤메시 모델에 RGB 텍스처를 매핑하였다. 이처럼 다양한 방식의 3차원 스캔을 통해 성덕대왕신종에 최적화된 모델링을 완료하였으나, 하부 받침목에 접하는 부분에 미스캔 영역이 발생하였다.

다행히 2009년 3차원 스캐닝 모델에는 받침목이 존재하지 않아 하부 데이터가 존재하였다. 따라서 디지털 상에서 받침대를 제거하고, 여기에 선행 3차원 스캐닝 모델을 융합하여 성덕대왕신종 하부의 형상을 보완하였다^(도4). 성덕대왕신종의 정밀스캐닝 결과는 전체적인 형상을 잘 표현하였으며, 폴리곤메시와 RGB 텍스처매핑 결과 모두 뛰어난 품질을 보였다. 특히 이 스캐닝 결과는 수백~수천만 개의 고해상도 폴리곤을 가지고 있어 신종의 표면질감, 제작기법, 단면구조, 상세문양 등을 확연히 드러냈다.



도3. 고정형 고정밀 스캔데이터 처리과정



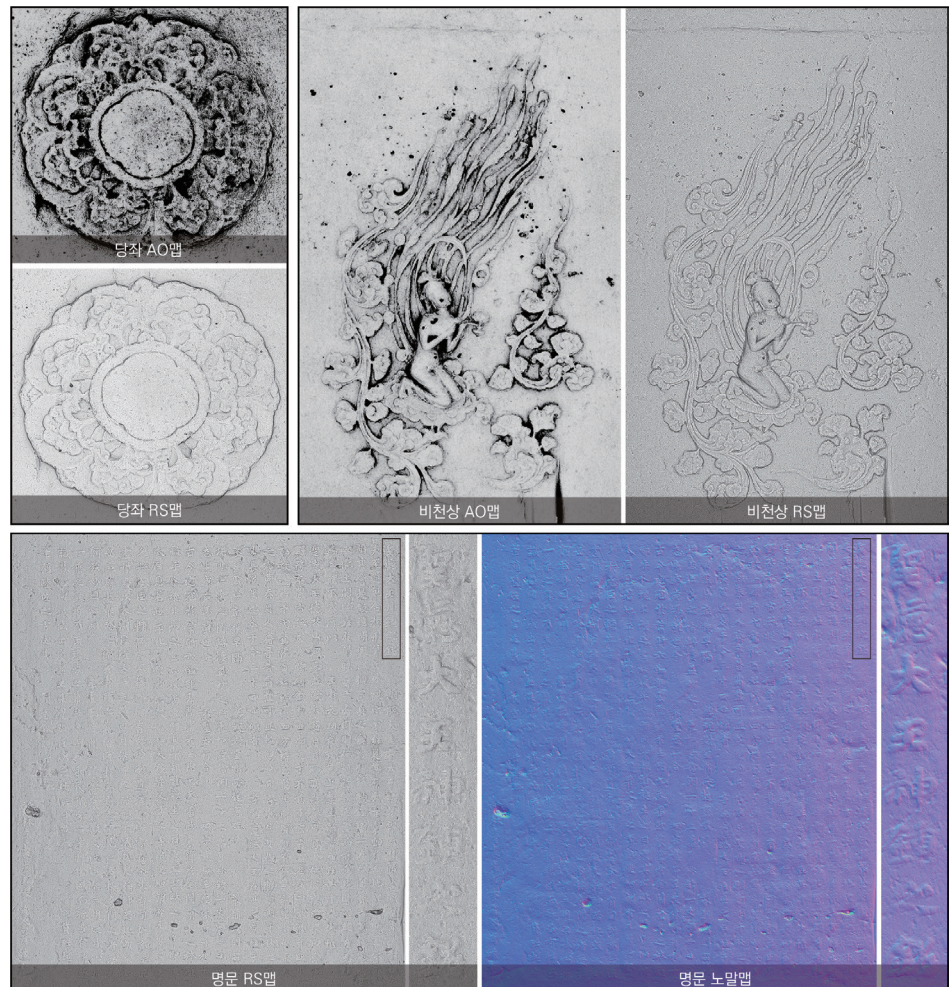
도4. 성덕대왕신종의 3차원 정밀스캐닝 결과

4. 3차원 형상분석

4.1. 디지털 가시화

3차원 스캐닝과 영상분석을 융합한 디지털 가시화는 스캔데이터 자체만으로 보

이지 않는 복잡한 문양이나 글자에 대해 명암, 곡률, 음영 등 여러 가지 특성 중 일부를 강조하여 보여주는 컴퓨터그래픽 기술이다. 이 기술은 최근 들어 금석문 판독과 문양 가시화 연구에 널리 활용되고 있다^[30-36]. 이 연구에서는 입체 정보로 기준으로 빛의 차폐로 인한 감쇠 근사치를 구하는 앰비언트 오클루전(ambient occlusion; 이하 AO맵), 표면 곡률과 재료 특성에 따라 반사광의 강도를 조정하여 표면요철 및 볼록함을 향상시키는 래디언스 스케일링(radiance scaling; 이하 RS맵), 폴리곤의 법선 벡터 값을 사용하여 입체감 및 질감을 구현하는 노말 매핑(normal mapping; 이하 노말맵)을 활용하였다.

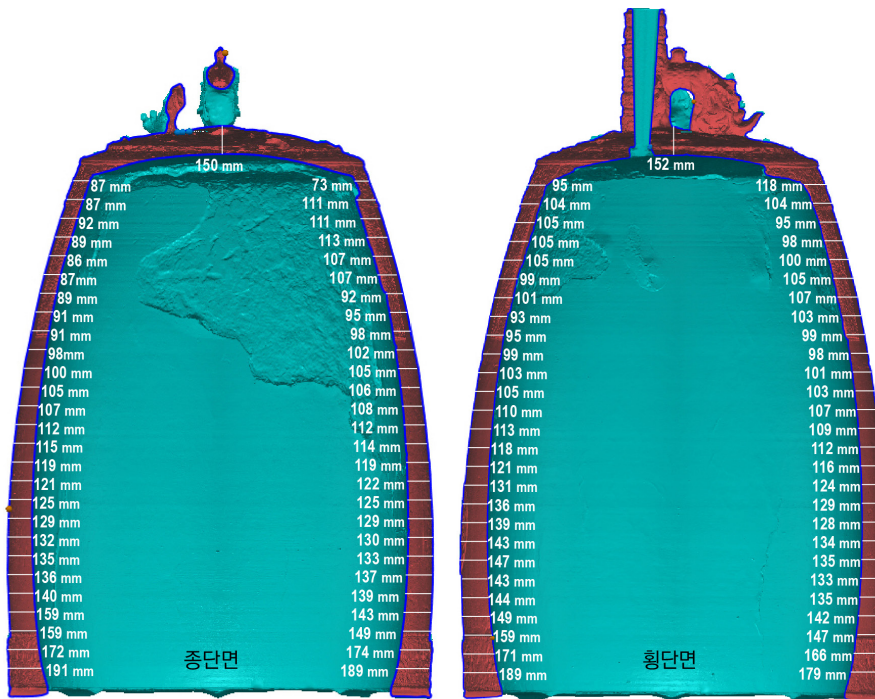


도5. 성덕대왕신종 문양 및 명문의 디지털 가시화 결과

이러한 가시화 기술을 성덕대왕신종의 당좌, 비천상, 명문에 적용한 결과, 문양의 입체감과 형상이 매우 선명하게 드러났으며, 명문의 경우 글자의 마모도와 윤곽이 두드러지게 구분되었다. 또한 부분적으로 주물공과 같은 제작흔들이 가시화되는 등 전반적으로 형상 특성에 따라 명암 및 곡률 대비가 뚜렷하게 나타나 문양과 명문의 보존상태를 이해할 수 있었다^[55]. 이러한 가시화 렌더링 결과들은 성덕대왕신종의 미술사적 특징뿐만 아니라 표면형상의 변화를 모니터링하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 렌더링 기술은 다양한 매개변수에 따라 가시화 결과가 달라질 수 있으므로 모니터링 시 동일한 조건을 재현하는 것이 중요하다.

4.2. 두께 분석

성덕대왕신종은 유난히 길고 장중하면서 맑은 소리가 나는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로는 타종 시 약 64Hz와 168Hz의 음파가 서로 간섭을 일으켜 진폭이 다른 소리를 만들기 때문이다^[37]. 이를 맥놀이 현상이라고 한다. 맥놀이 현상을 야기하는 가장 중요한 원인 중 하나는 바로 성덕대왕신종 두께의 미세한 차이이다^[38]. 따라서 국립경주박물관(1999)은 사진측량 모델을 이용하여 성덕대왕신종의 단면 형상을 획득하였고^[15], 이를 기반으로 두께를 측정하는 바 있다.



도6. 성덕대왕신종의 두께 분석 결과

이 결과에 의하면, 종단면은 75~217mm의 범위에서 평균 127mm의 두께를 보였으며, 횡단면은 95~329mm 범위에서 평균 133mm로 측정되었다. 평균 수치로 볼 때, 종단면과 횡단면은 평균 6mm의 두께 차이를 나타냈다. 이 연구에서는 기존의 사진측량이 아닌 3차원 정밀스캐닝을 통해 성덕대왕신종의 전체형상을 획득하였으며, 이를 기반으로 1999년도 분석과 동일 종단면과 횡단면의 위치 및 간격으로 두께를 측정하였다.

이 결과, 종단면은 93~189mm 범위에서 평균 121mm의 두께를, 횡단면은 73~191mm의 범위에서 평균 117mm를 나타냈다^(도6). 전체적으로 종단면과 횡단면의 평균 두께는 약 4mm의 차이를 보여 방위별로 유사한 두께를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 한 단면에서 최대와 최소 두께 차이가 약 100mm 내외의 큰 차이를 보이는데, 이는 종의 맥놀이 현상과 높은 관련성이 있을 것으로 판단된다.

이 결과를 1999년도 측정된 두께와 비교하면, 2019년도 스캐닝 결과는 약 10mm 정도 얇은 것으로 확인되었다. 이는 단순한 측정 오류 또는 기록 기법 차이에서 기인된 현상으로 추정된다. 이 연구에서는 종단면과 횡단면을 대상으로 선행 위치와 최대한 동일한 위치 및 간격으로 두께를 측정하였지만 두께를 대별하는데 측정 빈도수가 적은 편이다. 향후 영상분석 기법을 통해 픽셀 단위 간격으로 두께를 측정한다면 성덕대왕신종 두께 측정 결과의 대표성이 향상될 것으로 판단된다.

4.3. 형상 변화

성덕대왕신종의 표면 보존상태를 모니터링하기 위해서는 고정밀 스캐닝 기반의 디지털 기록이 필요하다. 다행히 문화재청(2009)은 중요동산문화재 범종기록화사업의 일환으로 성덕대왕신종의 고정밀 스캐닝을 수행한 바 있다^[6]. 이 결과를 보면, 스캐닝 모델의 평균 점간격은 약 1.50mm로 측정되어 형상분석을 수행하기에는 다소 낮은 해상도를 가졌다. 그러나 우측 명문은 평균 0.35mm의 고해상도 점 간격을 보여 표면 마모도와 같은 정밀한 분석이 가능하였다. 따라서 이 연구에서는 성덕대왕신종 우측 명문을 대상으로 RMS 기반의 편차분석을 수행하였다.

일반적으로 편차분석에서 가장 중요한 것은 분석데이터의 신뢰도를 교차검증하는 것이다. 따라서 2019년 핸드헬드형 고정밀 스캔데이터와 고정형 고정밀 스캔데이터의 상호간 편차분석을 선행하였다. 두 스캔 기법의 정확도를 고려하여 $\pm 0.3mm$ 의 공차를 지정하여 분석 결과를 매핑하였다. 이 결과, 두 스캐닝 결과는 최대 $\pm 0.28mm$ 의 범위에서 0.05mm의 RMS를 보였다. 이는 스캔 및 데이터처리 과정에서 오차가 없음을 보여주는 결과로, 모니터링의 기준데이터로서 매우 적절한 것을 의미한다.

한편 2009년 선행 3차원 스캐닝 결과 중 점밀도가 가장 높은 우측 명문을 대상으

로 데이터 검수를 수행한 결과, 스캔 시 주사되는 구조광 패턴이 확인되었다. 또한 일정 간격마다 글자 1/4정도 되는 크기의 스캔 타겟이 나타났으며, 미스캔 영역이 비교적 많이 존재하였다. 이처럼 선행 스캐닝 결과는 정밀 분석에 최적화되어 있지 않으나, 현재로서 유일하게 비교할 수 있는 정밀 자료이기 때문에 2009년 스캐닝 결과를 기준값으로 설정한 후 2019년 스캐닝 결과를 분석하였다. 공차는 교차검증 시 사용한 $\pm 0.3\text{mm}$ 로 동일하게 설정하였다.

분석 결과, 대부분 공차 범위의 편차를 보이지만, 우측 상단과 좌측 하단에 비교적 높은 편차가 나타났다⁽⁵⁷⁾. 최대 편차는 $\pm 8.19\text{mm}$ 이고, RMS는 0.46mm 로 산출되었다. 일반적으로 명문의 표면 마모가 진행되었다면 음의 방향으로, 부식이 발생했다면 양의 방향으로 편차를 보여야 하는데, 대각선 방향으로 양 끝이 올라가는 양의 편차가 존재하였다. 이는 선행데이터의 정합 과정에서 오차가 발생한 것을 의미한다. 성덕대왕신종의 표면 마모 및 부식물의 경우 상당히 미세한 형상 변화가 발생하는 것을 고려할 때 2009년 선행 스캐닝 결과는 보존상태 모니터링의 기준 자료로 설정하는데 다소 아쉬운 점이 보인다. 따라서 현재 시점에서 성덕대왕신종의 표면형상 모니터링은 2019년 고정밀 스캐닝 결과를 기반으로 실시해야 할 것으로 판단된다.



도7. 성덕대왕신종 우측 명문의 3차원 편차분석 결과

5. 고찰 및 제언

5.1. 3차원 디지털 기록화 의미

성덕대왕성덕대왕신종의 최초 3차원 스캐닝은 문화재청의 중요동산문화재 범종 기록화사업(2009년) 일환으로 구축된 결과이다^[6]. 당시 현장 3차원 스캔은 1.4MP 해상도의 고정형 고정밀스캐너(ATOS Triple Scan II, GOM, Germany)를 이용하였고, 명문을 비롯한 문양들과 전체 형상에 대한 기록이 진행되었다. 이 기록화사업을 통해 성덕대왕신종의 정밀도면이 제작되었고, 3차원 스캐닝 및 웹서비스용 모델이 결과물로 만들어졌다. 이 데이터는 현재 문화재청에서 3차원 프린팅 모델로 서비스되고 있으며, 정밀스캐닝을 통해 얻은 문양 및 명문 데이터는 현재와 비교 가능한 중요 자료로 기록되어 있다.

2017년도에 실시한 두 번째 디지털 기록화 사업은 2016년 지진 발생 이후 종각 전체 도면 제작의 일환으로 수행되었으며^[7], 이때 광대역 범위의 지상레이저스캔(ScanStation C10, Leica)을 통해 36,328,541개의 점군데이터를 갖는 3차원 모델을 완성하였다. 광대역 스캐닝 특성상 점밀도에 한계가 있어 세부 분양이나 명문이 2009년 결과보다 정밀하지 못했다. 그러나 성덕대왕신종의 전체 및 세부 형상에 대한 도면을 제작하여 문서화하는데 큰 무리가 없었다. 이 스캐닝 결과는 향후 성덕대왕신종의 거시적인 변위 분석 및 모니터링의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2019년도에는 성덕대왕신종과 종각을 대상으로 지상레이저스캐닝, 무인항공사진 측량, 핸드헬드형 중정밀스캐닝, 핸드헬드형 고정밀스캐닝, 고정형 고정밀스캐닝의 5가지 방식을 이용하여 3차원 디지털 기록을 수행하였다. 기본적으로는 개별 기술만으로 성덕대왕신종의 3차원 모델링을 수행하였지만, 최종 결과물은 상호간 융합 모델링을 통해 완성하였다. 이를 통해 성덕대왕신종의 정밀 수치데이터 및 보존관리에 대한 디지털 기초자료를 구축할 수 있었다.

이상의 내용을 종합하면, 성덕대왕신종은 지금까지 2009년, 2017년, 2019년 총 세 차례에 걸쳐 3차원 스캐닝이 진행되었다. 각 스캐닝은 목적과 적용기술에 차이가 있으나, 기록된 3차원 수치데이터를 분석한다면 기록화 의미를 판단할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 성덕대왕신종의 내·외부(비문양부), 좌·우측 명문, 4개의 비천상, 정·배면의 당좌를 대상으로 해상도를 의미하는 점간격을 비교하였다. 전체적인 분석은 2019년 기록화 결과를 기준으로 선행 스캐닝 모델을 비교하는 방법으로 진행하였다^(표2).

표2. 성덕대왕신종의 점간격(해상도) 비교 결과

대 상	2009년	2017년	2019년			
	FH	TLS	TLS	HM	HH	FH
외부(비문양부)	6.69 mm	2.93 mm	3.15 mm	0.93 mm	-	-
내부(비문양부)	6.29 mm	3.04 mm	2.65 mm	0.92 mm	-	-
정면 당좌	1.28 mm	2.95 mm	3.19 mm	0.93 mm	0.31 mm	0.28 mm
배면 당좌	1.30 mm	2.82 mm	2.86 mm	0.93 mm	0.32 mm	0.27 mm
좌측 명문	1.39 mm	3.04 mm	2.99 mm	0.93 mm	0.32 mm	0.15 mm
우측 명문	0.60 mm	2.70 mm	2.87 mm	0.92 mm	0.31 mm	0.16 mm
비천상 1	1.52 mm	3.00 mm	3.18 mm	0.92 mm	0.31 mm	0.26 mm
비천상 2	1.55 mm	2.96 mm	3.02 mm	0.93 mm	0.32 mm	0.25 mm
비천상 3	1.56 mm	2.99 mm	3.53 mm	0.93 mm	0.32 mm	0.26 mm
비천상 4	1.48 mm	2.99 mm	3.20 mm	0.92 mm	0.31 mm	0.27 mm

FH: 고정형 고정밀스캐닝, TLS: 지상레이저스캐닝, HM: 핸드헬드 중정밀스캐닝, HH: 핸드헬드 고정밀스캐닝

먼저 성덕대왕신종의 전체형상은 2017년도 지상레이저스캐닝(평균 점간격 2.82~3.04 mm)을 통해 이미 선행된 바 있다. 그러나 이때에는 성덕대왕신종의 정밀 실측에 초점을 맞춰 종각에 대한 형상정보는 기록되지 못했다. 그러나 이 연구에서는 향후 지진 등에 의한 구조적 변형을 모니터링하는데 기초자료로 활용될 수 있도록 평균 2.65~3.53 mm 의 해상도로 신종과 종각의 상호 공간적 관계를 구축하였다.

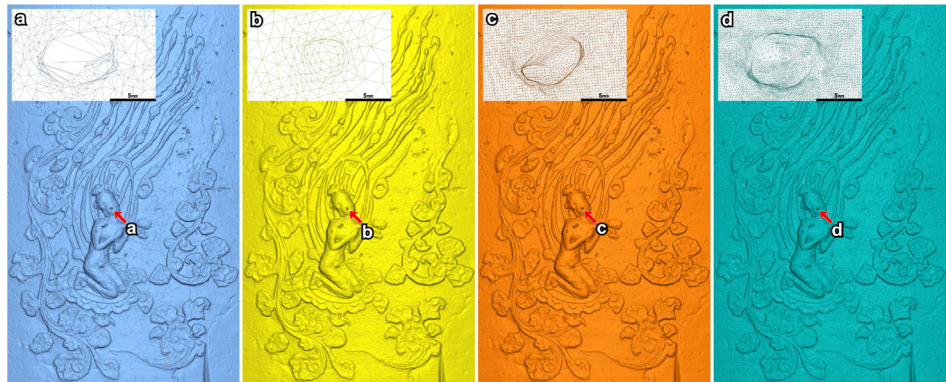
성덕대왕신종의 내·외부(비문양부) 상세 현황은 핸드헬드형 중정밀스캐닝을 통해 평균 0.92~0.93 mm 의 해상도로 기록되었다. 이는 2009년 문화재청 결과(평균 점간격 6.29~6.69 mm)에 비해 7배 정도 높은 해상도이다. 또한 당좌 및 비천상은 고정형 고정밀스캐닝을 통해 평균 0.25~0.28 mm 의 고정밀도를 보였으며, 이는 2009년 결과(평균 점간격 1.28~1.56 mm)보다 약 6배 높은 수치이다. 좌·우측 명문은 전체 스캐닝 결과에서 가장 높은 해상도(평균 점간격 0.15~0.16 mm)로 기록되었으며, 2009년도 결과(평균 점간격 0.60~1.39 mm)와 비교할 때 좌측은 약 9배, 우측은 약 4배 정도 높은 해상도이다.^[58]

기록화란 개인이나 조직, 사회의 활동과 역사를 기록으로 재구성할 수 있도록 기록을 의도적으로 수집 및 생성하는 활동을 의미한다^[39]. 특히 기록을 만들고 이를 정리하여 하나의 관리 단위로 만드는 과정을 기록화라고 정의할 수 있다. 이 연구에서는 다양한 디지털 기술을 이용하여 성덕대왕신종의 공간, 전체형상, 문양, 명문 등을 기록하였고, 이를 기반으로 디지털 가시화, 두께 분석, 형상 변화 등 다양한 기록화 과정을 거쳤다.

따라서 이 연구 결과는 성덕대왕신종의 전체 및 세부 형상의 3차원 모델링뿐만 아니라 표면 보존상태를 모니터링하는데 매우 유용한 수치정보로 판단된다. 특히 지상레이저스캐닝 결과는 환경적 변화에 대한 종각 및 신종의 구조적 변형에 활용될 수 있으며, 정밀스캐닝 결과는 부식 및 마모와 같은 표현형상 변화에 기준점이 될 것으로 판단된다. 이번에 구축한 3차원 디지털 기록 결과들은 향후 다양한 목적에 활용될 수 있기 때문에 지속적인 접근가능성이 요구되며, 이는 기록-기록화-아카이브의 선순환 단계를 통해 새로운 해석을 가능하게 하는데 기여 할 것으로 사료된다.



- (a) 2009년 고정형 고정밀스캐닝
- (b) 2019년 핸드헬드형 중정밀스캐닝
- (c) 2019년 핸드헬드형 고정밀스캐닝
- (d) 2019년 고정형 고정밀스캐닝



도8. 성덕대왕신종 3차원 스캐닝 모델의 점간격(해상도) 비교 결과

5.2. 3차원 형상분석 의미

성덕대왕신종의 형상분석을 위해 가시화 렌더링, 치수 분석, 형상 변화에 대한 분석을 수행하였다. 이 중 가시화 렌더링은 고정밀 스캔데이터를 이용하여 문양 및 명문을 대상으로 진행하였다. 물체 간 인접성 관계를 이용하여 빛의 차폐 특성을 표현하는 AO맵과 표면 곡률과 재료특성에 따른 반사맵을 이용한 RS맵의 기법을 사용하여 당좌 및 비천상을 가시화하였다. 또한 신종 좌·우측의 양각된 명문에는 AO맵의 가시화가 선명하지 않아 법선 벡터값을 이용하여 로우폴리곤 환경으로 만들어주는 노말맵을 추가로 사용하여 렌더링을 수행하였다.

성덕대왕신종의 가시화 렌더링을 통해 당좌 부분에서는 각각의 마모도가 상이하며, 정면이 배면에 비해 마모도가 높은 것으로 나타났다. 또한 주물선과 주물공과 같은 제작기법 및 결합 흔적들이 확연하게 가시화되었다. 명문의 경우, 전체적으로 글자의 마모도와 형상이 잘 기록되어 향후 보존상태 모니터링의 기초자료로서 유의미하게 활용될 것으로 판단된다.

한편 성덕대왕신종의 형상 변화를 분석하기 위해 2009년과 2019년 스캐닝 결과의 명문을 대상으로 RMS 편차분석을 수행하였다. 이 결과, 편차분석의 공차를 0.3mm 로 설정했음에도 불구하고 우측 상부와 좌측 하부에 비교적 높은 편차가 나타났다. 이는 선행 스캐닝 결과에서 스캔 또는 데이터처리 과정의 오차가 발생한 것으로 추정된다. 따라서 현재 시점에서 성덕대왕신종의 표면 보존상태 모니터링의 기초자료는 데이터 교차검증이 완료된 2019년 스캐닝 결과를 이용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

5.3. 제언

성덕대왕신종은 국내 최대 크기의 범종으로 연꽃 무늬의 당좌, 선인을 나타낸 비천문, 제작과정이 기록되어 있는 명문 등 형상학적으로도 보존가치가 매우 높은 문화유산이다. 이 때문에 이미 한 차례의 사진측량과 두 차례의 3차원 스캐닝을 통해 지속적인 기록화가 진행되었다. 이 연구에서는 성덕대왕신종의 보존관리를 목적으로 3차원 스캐닝을 수행하였으며, 이를 위해 지상레이저스캐닝, 무인항공사진측량, 핸드헬드형 중정밀스캐닝, 핸드헬드형 고정밀스캐닝, 고정형 고정밀스캐닝 등 5가지의 디지털 기술을 적용하였다.

이러한 3차원 디지털기록화 기술들은 각 방식별 원리에 따라 정확도가 다르기 때문에 동일한 기준을 적용할 수 없다. 그러나 스캔 기법별 허용 오차를 설정하고, 이를 기반으로 활용 목적을 달리한다면 기록 자료로서의 가치가 높아질 것으로 판단된다. 대표적으로 지상레이저스캐닝과 무인항공사진측량을 통한 융합모델링은 지진이 간헐적으로 발생하는 경주지역을 고려할 때 종각을 포함한 공간정보의 구조적 변형을 모니터링하는데 중요한 기초자료가 될 것으로 판단된다. 또한 핸드헬드형 중정밀스캐닝 결과는 스캔 사각지대인 용뉴 일부분을 제외하고 신종의 전체 형상을 취득했다는 데 상당한 의미가 있었다. 이는 성덕대왕신종의 제작기법과 전체형상을 분석하는데 중요한 연구자료로 활용될 것으로 보인다.

성덕대왕신종은 2018년 몸통에 새긴 명문의 부식으로 인해 환경 개선 필요성이 제기된 바 있다. 따라서 명문 마모도를 분석하기 위해 이번에 구축된 고정밀스캐닝 결과와 2009년 선행 스캐닝 결과를 비교분석하였다. 그러나 선행 스캐닝 결과는 데이터의 점밀도가 떨어지고, 부분적으로 데이터 오류가 존재하여 모니터링의 기준 모델로 사용하기에 다소 한계가 있었다. 따라서 선행 스캐닝 결과를 모니터링의 기초데이터로 활용하기 위해서는 데이터최적화 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

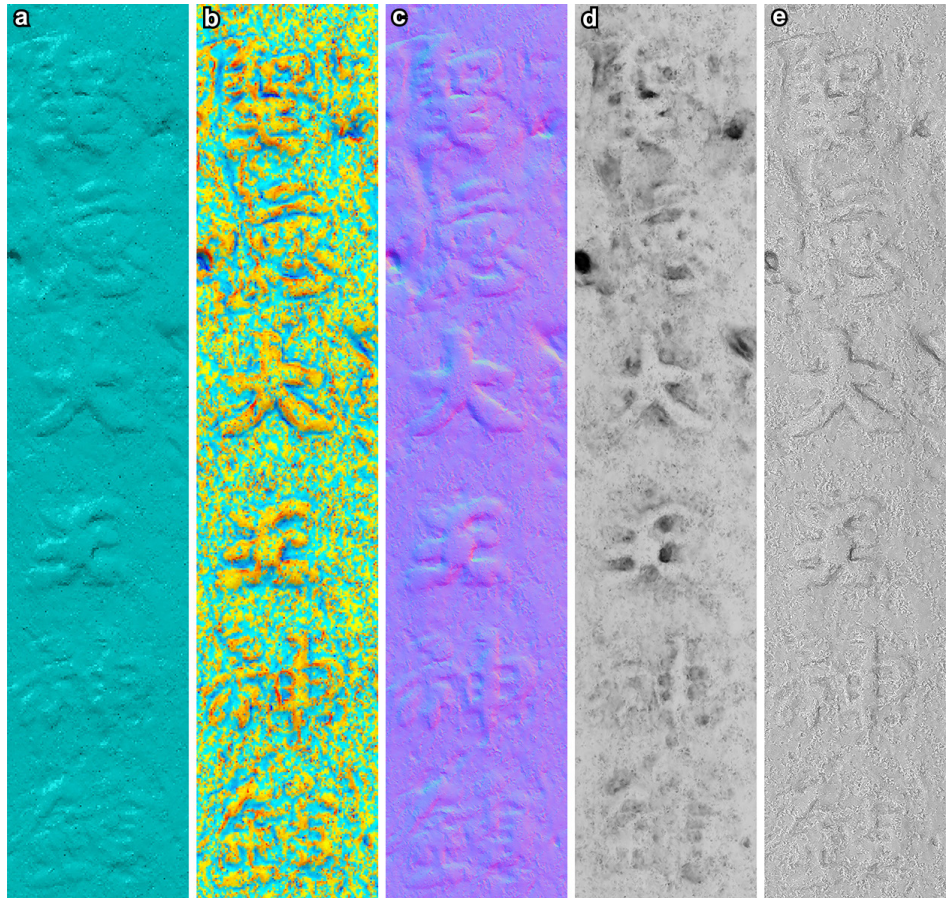
2019년 고정밀스캐닝 결과는 핸드헬드형과 고정형으로 교차검증을 수행했기 때문

에 명문, 비천상, 연화당좌의 모니터링 기초자료로 활용가능하다. 현재 표면 문양 및 명문을 중심으로 부식물이 존재하고, 일부 마모 흔적이 확인되기 때문에 2019년 고정밀 스캐닝 결과를 기반으로 모니터링을 수행하는 것이 적절하다. 현재로서는 성덕대왕신종의 표면 부식물과 마모 현상 파악을 위한 모니터링 주기 설정이 쉽지 않다.

따라서 단기모니터링을 통해 형상변화 시점을 파악하고, 이를 기반으로 중장기 모니터링 계획을 수립하는 것이 적절하다. 단기모니터링은 우선 3년 이내를 기준으로 적용하고, 이를 통해 형상변화가 관찰된다면 당분간 단기모니터링을 지속할 필요가 있다. 만약 단기모니터링에서 큰 변화가 확인되지 않는다면 5년 정도의 중장기 모니터링으로 전환하는 것이 예산과 노력을 고려할 때 적합한 주기로 판단된다. 특히 모니터링에 사용되는 3차원 스캐닝은 2019년 결과와 유사한 점밀도를 유지하거나 이보다 높은 해상도를 가진 스캔 기법을 적용해야 한다.



- (a) 폴리곤메시 모델
- (b) 곡률맵
- (c) 노말맵
- (d) AO맵
- (e) RS맵



도9. 성덕대왕신종의 명문 가시화 렌더링 예시

성덕대왕신종은 청동으로 이루어져 있고, 야외에 노출되어 있기 때문에 손상에 대한 우려가 매우 크다. 따라서 손상부에 대한 가시화와 변화를 진단하기 위해서는 단기모니터링을 통해 부식물, 균열부, 마모도 등 보존상태 분석에 적합한 모니터링 지점을 선정하고, 이에 대한 정밀한 기록이 필요하다. 이와 함께 디지털 사진촬영 기반의 이미지 분석을 병행한다면 모니터링의 가시적인 효과가 증대될 것으로 판단된다.

한편 이 연구에서는 3차원 렌더링 기법을 통해 명문과 문양의 가시화를 시도하였다. 이를 위해 곡률맵, 노말맵, AO맵, RS맵 등을 적용하였고, 기존에 볼 수 없었던 다양한 형상학적 이미지를 제공하였다^(도9). 특히 성덕대왕신종의 명문은 제작과정뿐만 아니라 당시의 종교와 사상을 담고 있어 매우 중요한 금석문 자료로 평가받고 있다. 기 판독된 명문에는 마모로 인해 미판독된 글자가 다수 있고, 조철제(2014)는 판독 오류를 지적한 바 있다^[40]. 따라서 3D 스캐닝과 렌더링 기반의 디지털 판독을 통해 성덕대왕신종 명문의 가시화와 재판독을 고려할 필요가 있다. 이때 이번에 구축한 점 간격 0.15mm보다 해상도가 뛰어난 0.10mm 이하의 점 간격으로 스캔한다면 명문의 디지털 판독의 가독성이 좀 더 높아질 것으로 사료된다.

6. 결론

1. 성덕대왕신종을 포함한 종각의 3차원 모델링은 지상레이저스캐닝을 통해 획득한 종각의 수직적 점군데이터와 무인항공사진측량으로 완성된 지붕의 평면적 점군데이터를 병합하여 완성하였다. 완성된 3차원 융합모델은 종각의 수직 및 평면 형상을 뚜렷하게 보여줬으며, 향후 경주 지역 지진에 의한 구조적 변형을 모니터링하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
2. 핸드헬드형 중정밀스캐닝으로 기록된 성덕대왕신종의 전체 형상은 평균 0.92mm의 점간격을 나타냈고, 이는 2009년 선행 스캐닝 모델에 비해 약 7배 정도 높은 해상도이다. 고정형 고정밀스캐닝은 명문과 문양을 중심으로 적용되었으며, 명문은 평균 0.15~0.16mm를, 문양은 평균 0.25~0.28mm의 점간격을 보였다. 명문의 점간격을 선행 스캐닝 결과와 비교하면, 좌측은 약 9배, 우측은 약 4배 이상의 고해상도 결과이다. 이러한 고해상도 스캐닝 결과는 성덕대왕신종의 표면 보존상태를 모니터링하는데 매우 유용한 수치정보로 판단된다.
3. 성덕대왕신종 명문 및 문양을 가시화하기 위해 엠비언트 오클루전맵, 표면질감 향상맵, 노말맵의 렌더링 기술을 적용하였다. 이 결과, 문양의 입체감과 형상이 매우 선명하게 드러났으며, 부분적으로 주물공과 같은 제작흔들이 가시화되었다. 명문의 경우 글자의 마모도와 윤곽이 두드러지게 구분되는 것으로 볼 때 향후 재판독을 위한 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 성덕대왕신종의 두께는 종단면에서 93~189mm, 횡단면에서 73~191mm로 측정되었으며, 이는 1999년도 선행 결과와 비교할 때 약 10mm 정도 얇은 수치이다. 이러한 차이는 측정 오류 또는 기록 기술의 차이에서 기인된 현상으로 추정된다. 향후 영상분석 기법을 통해 픽셀 단위 간격으로 두께를 측정한다면 빅데이터 기반의 두께 측정 결과가 도출될 것으로 판단된다.
5. 성덕대왕신종은 자연적이고 인위적 환경에 노출되어 있으며, 현재 표면의 문양과 명문 중심으로 부식물이 존재하고, 일부 마모 흔적이 관찰된다. 따라서 보존상태 모니터링을 위한 기준데이터의 신뢰도를 검증한 이후 2009년 선행스캐닝 결과(우측 명문)와 RMS 편차분석을 실시하였다. 이 결과, 우측 상단과 좌측 하단에 최대 편차 $\pm 8.19\text{mm}$, RMS 0.46mm 의 비교적 높은 편차가 확인되었다. 일반적으로 명문의 표면 마모가 진행되었다면 음의 방향으로, 부식이 발생했다면 양의 방향으로 편차를 보여야 하는데, 대각선 방향으로 양 끝이 올라가는 양의 편차가 존재한다는 것은 선행 데이터처리 과정에서 오차가 발생한 것을 의미한다. 현재 시점에서 성덕대왕신종의 보존상태 모니터링은 2019년 스캐닝 결과를 기반으로 실시해야 할 것으로 판단된다.
6. 성덕대왕신종 보존상태에 대한 단기모니터링을 위해서는 먼저 형상변화 시점을 파악하고, 이를 기반으로 중장기 모니터링 계획을 수립하는 것이 적절하다. 특히 단기모니터링을 통해 부식물, 균열부, 마모도 등 보존상태 분석에 적합한 모니터링 지점을 선정할 필요가 있다. 만약 단기모니터링에서 큰 형상 변화가 확인되지 않는다면 5년 정도의 중장기모니터링으로 전환하고, 모니터링에 사용되는 3차원 스캐닝은 2019년 결과와 유사한 점밀도를 유지하거나 이보다 높은 해상도를 가진 스캔 기법을 적용할 필요가 있다.
7. 성덕대왕신종의 명문은 마모로 인해 미판독된 글자가 다수 존재하고, 일부 판독 결과에 대한 이견이 있다. 따라서 3차원 스캐닝과 렌더링 기반의 디지털 판독을 통해 성덕대왕신종 명문의 가시화와 재판독을 고려해 볼 필요가 있다. 이때 이번에 구축한 점 간격 0.15mm 보다 해상도가 뛰어난 0.10mm 이하의 점 간격으로 스캔한다면 디지털 판독의 가독성이 좀 더 높아질 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 허의행, 기록화된 고고자료의 복원과 활용방안에 대한 연구, *한국디지털컨텐츠학회 논문지* **18**, p723-731, (2017).
2. 김성한, 이찬희, 조영훈, 대전 계족산성 원형성벽의 디지털 기록화 및 단기모니터링 연구, *자원환경지질* **52**, p169-188, (2019).
3. 윤준섭, 류성룡, 목조 문화재 정밀실측 및 해체보수 시 3D 스캔을 통한 기록의 고도화 방안, *대한건축학회논문집* **36**, p97-105, (2020).
4. UNESCO, *Charter on the preservation of digital heritage*, (2003).
5. Remondino, F., Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning, *Remote Sensing* **3**, p1104-1138, (2011).
6. Chen, S., Yang, H., Wang, S., Hu, Q., Surveying and digital restoration of towering architectural heritage in harsh environments: a case study of the millennium ancient watchtower in Tibet, *Sustainability* **10**, 3138, (2018).
7. Cozzolino, M., Di Meo, A., Gentile, V., Mauriello, P., Zullo, E., Combined use of 3D metric survey and GPR for the diagnosis of the trapezophoros with two griffins attacking a Doe of Ascoli Satriano (Foggia, Italy), *Geosciences* **10**, 307, (2020).
8. 최영성, 신라 성덕대왕신종(新羅聖德大王神鍾)의 명문(銘文) 연구(研究): '사상성(思想性)' 탐색을 겸하여, *한국철학논집* **56**, p9-46, (2018).
9. 도학회, 상원사종과 성덕대왕신종의 용뉴(龍鈕)에 대한 고찰, *미술교육논총* **25**, p289-314, (2011).
10. 최성영, 배명진, 성덕대왕신종(에밀레종)의 음향 특성, *전자공학회지* **31**, p110-122, (2004).
11. 김석현, 정원태, 강연준, 성덕대왕신종의 명동과 간극의 공명조건, *한국음향학회지* **30**, p223-230, (2011).
12. 한찬훈, 성덕대왕 신종의 음향적 특성을 고려한 종각복원의 고찰, *한국음향학회지* **37**, p378-386, (2018).
13. 강형태, 김종오, 유혜선, 권혁남, 성덕대왕신종(국보 제29호)의 성분조성과 납동위원소비, *박물관보존과학* **5**, p49-57, (2004).
14. 나형용, 성덕대왕(聖德大王) 신종의 주조법(鑄造法)에 대한 고찰, *한국주조공학회지* **18**, p309-318, (1998).
15. 국립경주박물관, *성덕대왕신종 종합학술조사보고서*, (1999).
16. 문화재청, *중요동산문화재 [범종] 기록화사업 결과보고서*, (2009).
17. ㈜위프코, *성덕대왕신종의 3D 촬영 및 정밀도면 제작*, 국립경주박물관, (2017).
18. 조계현, *청동문화재의 부식과 보존*, p5-18, 성덕대왕신종의 전시 환경 학술 심포지엄, 국립경주박물관, (2018).
19. 신용비, *성덕대왕신종의 보존 관리*, p55-61, 성덕대왕신종의 전시 환경 학술 심포지엄, 국립경주박물관, (2018).
20. 조남철, *옥외 금속문화재의 손상 유형과 보존 사례*, p41-50, 성덕대왕신종의 전시 환경 학술 심포지엄, 국립경주박물관, (2018).
21. 안재홍, 김충식, *디지털유산: 문화유산의 3차원 기록과 활용*, p78, 시그마프레스, (2016).
22. 진광민, 김영석, 우리나라 지진지질학 연구에서 고고지진학의 중요성, *지질학회지* **56**, p251-264, (2020).

23. 조영훈, 이찬희, 석조문화재 디지털복원 및 구조안정성 평가를 위한 3차원 영상분석: 마곡사오층석탑, *보존과학회지* **25**, p115-130, (2009).
24. Jo, Y.H., Park, J.H., Hong, E., Han, W., Three-dimensional digital documentation and accuracy analysis of the Choijin Lama Temple in Mongolia, *Journal of Conservation Science* **36**, p264-274, (2020).
25. Zhang, J, Lin, X., Advances in fusion of optical imagery and LiDAR point cloud applied to photogrammetry and remote sensing, *International Journal of Image and Data Fusion* **8**, p1-31, (2016).
26. Jo, Y.H., Hong, S., Three-Dimensional digital documentation of cultural heritage site based on the convergence of terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle photogrammetry, *ISPRS International Journal of Geo-Information* **8**, 53, (2019).
27. 오승준, 위광철, 3차원 디지털 기술을 활용한 도자기 복원 방법에 관한 연구: 접촉 및 비접촉식 방법을 이용한 백자의 복원 방법 비교, *문화와 융합* **40**, p595-614, (2018).
28. 조영훈, 김다솔, 김해솔, 허일권, 송민규, 광학식 표면스캐닝 및 X-선 CT를 활용한 유물의 3차원 융합모델 제작: 국립진주박물관 소장 삼충통, *박물관 보존과학* **22**, p15-26, (2019).
29. Kuş, Implementation of 3D optical scanning technology for automotive applications, *Sensors* **9**, p1967-1979, (2009).
30. 이찬희, 조영훈, 김선덕, 함안군 대치리공룡발자국 화석의 3차원 영상분석과 손상도 평가 및 과학적 보존처리, *지질학회지* **48**, p179-191, (2012).
31. 조영훈, 이찬희, 석조문화유산의 형상분석을 위한 3차원 디지털복원과 표면심도 모델링: 해운대 석각을 중심으로, *보존과학회지* **28**, p87-94, (2012).
32. 안재홍, 공달용, 원광연, 문화 및 자연 유산의 해석을 위한 3차원 스캔 모델의 가시화: 공룡발자국의 기록과 해석 사례, *한국HCI학회논문지* **8**, p19-28, (2013).
33. 최원호, 고선우, 각자된 글자의 형태적 시각화를 이용한 금석문 판독방법, *한국콘텐츠학회논문지* **17**, p740-749, (2016).
34. 권다경, 조영훈, 3차원 렌더링 기술을 이용한 청동거울의 표면형상 가시화 및 분석, *문화재과학기술* **14**, p71-76, (2019).
35. 조영훈, 권다경, 고광의, 충주 고구려비 판독을 위한 3차원 스캐닝 기술의 적용 및 고찰, *한국고대사연구* **98**, p9-45, (2020).
36. Zotkina, L., Kovalev, V.S., Lithic or metal tools: Techno-traceological and 3D analysis of rock art, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* **13**, e00099, (2019).
37. 김영수, 성덕대왕신종의 지중음파 및 공중음파의 스펙트럼 특성, *정보통신연구논문집* **4**, p44-75, (1997).
38. 김석현, 이종혁, 신라대종의 맥놀이 조절, *한국음악학회지* **36**, 194-201, (2017).
39. 설문원, 디지털 환경에서의 로컬리티 기록화 방법론 연구, *한국기록관리학회지* **11**, p207-230, (2011).
40. 조철제, *또 다른 경주를 만나다*, p84-117, 선, (2014).

엑스선 컴퓨터 단층면 조사를 통한 나전연상 백골의 제작기법 연구

Study of the Production Method of the Framework of Lacquerware Inlaid with Mother-of-pearl Using X-ray Computed Tomography

박영만*, 양석진

*국립중앙박물관 보존과학부

Park Youngman*, Yang Seokjin

*Conservation Science Division,
National Museum of Korea

* Corresponding Author:
Park Youngman

Tel: 82-02-2077-9447

E-mail: conserv@korea.kr

요약

엑스선 컴퓨터 단층면의 관찰은 문화재의 내부 구조조사를 위한 것으로 육안으로 확인할 수 없는 칠기 공예품의 제작 기법을 조사하는데 매우 유용한 방법이다. 특히 나전칠기는 옷칠과 나전을 사용하여 제작한 한국 전통공예품으로써 매우 중요한 연구 대상품이다. 하지만 특수한 환경에서 구조적으로 손상되어 있지 않는 한 백골의 제작기술을 파악하기에는 어렵다. 그 동안의 나전칠기 공예품의 가치 연구는 옷칠 기법과 나전 공예기술에 관한 연구가 주류가 되고 있지만 나전칠기의 뼈대가 되는 백골의 제작기법에 관한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 연구는 조선시대 나전칠기에 대하여 컴퓨터 단층촬영[CT: Computed Tomography]을 실시하여 나전칠기 백골의 재질과 목공기술에 대한 결과를 제공하였다. 목재는 침엽수를 사용하였고 기둥목과 쇠목(기둥과 기둥 사이를 가로질러 대는 목재)의 결합은 삼방연귀짜임 방식을 사용하였으며 그 외의 결구 방법은 못을 사용하였음을 알 수 있었다.

주제어 : 컴퓨터 단층촬영(CT), 조선시대 나전칠기, 백골, 목공기술, 삼방연귀짜임

Abstract

X-ray computed tomography (X-ray CT), which is often applied to the investigation of the interior structures of cultural properties, is very useful for studying production methods used in lacquerware that would otherwise be difficult to observe with the naked eye. Lacquerware inlaid with mother-of-pearl is an important subject in the study of traditional Korean craft. However, it can be a challenge to specify the production methods used in the framework of a lacquerware item unless the object has been structurally damaged. Studies of lacquerware inlaid with mother-of-pearl have thus far focused on the techniques of lacquering and of inlaying the mother-of-pearl. Production methods for the framework of lacquerware has received little academic attention. This study conducted X-ray CT on a lacquerware item from the Joseon period to reveal the materials and woodworking techniques used for the framework. The study revealed that softwood was used for the framework, and the post (*gidungmok*) and apron (*soemok*) were joined using a three-way miter joint (*sambang yeongwi jjaim*). Other pieces were joined with nails.

Keywords : Computed Tomography (CT), Lacquerware Inlaid with Mother-of-pearl from the Joseon Period, Framework, Woodworking Techniques, Three-way Miter Joint (*sambang yeongwi jjaim*)

투고일: 2020. 9. 29. 심사(수정)일: 2020. 11. 9. 게재확정일: 2020. 11. 13.

1. 머리말

나전은 조개, 전복, 소라 등의 속껍데기를 얇게 가공하여 다양한 모양으로 만들어 기물 위에 붙여 장식하는 공예 혹은 그 기술을 말하며 우리나라의 나전공예는 보통 칠을 한 기물 위에 나전을 붙이는 방법을 사용하기 때문에 일반적으로 ‘나전칠기’라는 용어가 사용되고 있다^[1]. 나전칠기는 고대로부터 옷칠을 생산하고 소비하는 과정에서 생겨난 물질문화의 한 체계로서 우리나라의 전통 공예품 연구의 매우 중요한 대상으로 자리 잡아 왔다. 하지만 특수한 매장환경에서 출토된 것을 제외하고^[2] 대부분의 나전칠기는 전세품으로서 칠공기술과 나전 공예기술에 대한 연구만 진행되었을 뿐^[3] 정작 바탕재료인 백골에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 그럼에도 불구하고 나전칠기의 백골에 대한 제작기술에 대한 규명은 문화재 보존과학 측면에서 칠공기술과 나전기술 보다도 훨씬 중요한 과제임이 틀림없다. 예를 들어 목부재가 뒤틀리거나 갈라지고 결구가 이완되는 등의^[4] 손상은 전체적인 형태의 변화를 주어 문화재에 매우 치명적인 손상을 일으킬 수 있다.

본 연구에서는 최근 들어 병원에서 자주 사용되는 컴퓨터 단층촬영 기술을 사용하여 조선시대 나전칠기의 백골 구조를 살펴보았다. 우리나라 나전칠기의 시작은 고려시대로 알려져 있으나 고려시대 나전칠기는 세계적으로도 그 자료가 드물기 때문에 본 연구에서는 제외하였으며 추후에 기회가 되면 제공할 예정이다. 하지만 백골 제작에 대한 연구는 칠공기술과 나전기술과 별개의 문제로서 고대로부터 시작된 목공기술의 기원 연구에도 매우 중요한 의미가 있다. 다행히도 선사시대부터 현대에 이르기까지 목공기술에 대한 연구 자료는 목재에 대한 기본 연구체계에 바탕을 두고 있기 때문에 다양한 분야에서 많은 자료가 축적되어 있다. 따라서 본 연구는 나전칠기 백골 제작에 대한 연구에 국한되지 않고 우리나라의 목공기술 발달사 연구에 필요한 하나의 기초적인 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 조사 대상 및 분석 방법

본 연구는 침엽수재로 만든 국립중앙박물관 소장품 조선시대 〈나전연상〉 1점을 대상으로 하였으며 백골의 결구 방법 및 나뭇결(목재의 재단방향)에 대한 조사를 실시하였다. 컴퓨터 단층촬영(CT Modular, YXLON, DEU) 조사는 X선 튜브 전압 200kv, X선 튜브 전류 0.32mA, 7,200 Number Projects 조건하에서 실시하였다. 그리고 전용 이미지 뷰어 프로그램(VG Studio MAX 3.0.3, 64bit)을 이용하여 유물의 정면, 평면, 측면 3방향의 이미지를 획득하였으며 목재의 결합을 추정할 수 있는 부분을 관찰하였다. 또한 엑스선 단층면 이미지는 뚜껑을 제거한 후 촬영하였으므로 〈도1〉의 사진과 다름을 밝혀둔다.



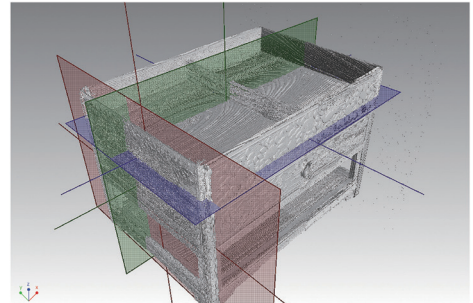
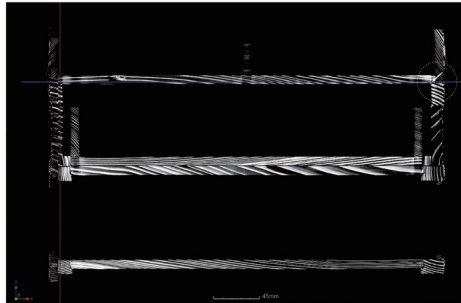
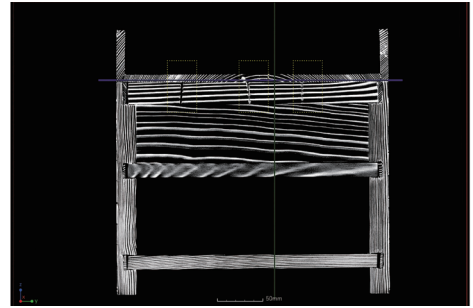
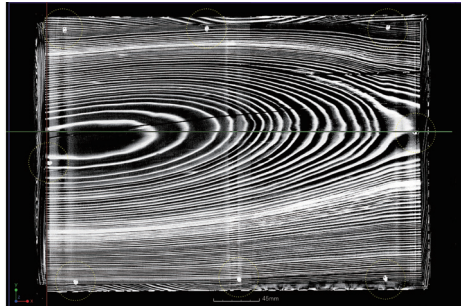
도1. 나전연상

3. 결과 및 고찰

목재는 연륜을 기준으로 절단되는 방향에 따라 횡단면, 방사단면, 접선단면으로 구분된다. 사용된 재료는 목재 수심과 근접한 곳을 통하여 절단한 방사단면으로서 판목을 사용하였다^(㉔2). 부재 간의 결구는 못을 박는 법과 장부 맞춤으로 되어 있다^(㉔3). 서랍의 바닥판과 측판은 못으로 결합하였으며^(㉔3-c) 네 기둥과 쇠목(기둥과 기둥 사이를 가로질러 대는 목재)은 장부 맞춤을 하였다^(㉔3). 최하단과 중간단은 구멍을 뚫어 결합하는 장부 맞춤법을 사용하였으며 최상판에 위치하는 기둥과 쇠목 결구는 삼방연귀짜임으로 결합하여 만들었음을 알 수 있다^(㉔3). 삼방연귀짜임은 기둥과 양쪽 쇠목이 서로 세 방향에서 만나 45°로 결합되는 방식으로 장부 맞춤의 한 가지이다. 이 장부 맞춤은 겉은 연귀로 만나지만 속은 모두 숨어 보이지 않게 맞추기 때문에 매우 튼튼한 구조로서 대표적인 전통 장부 맞춤 중에 하나이다.



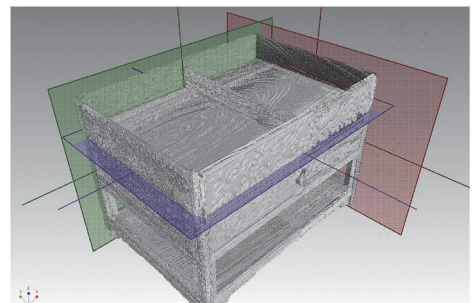
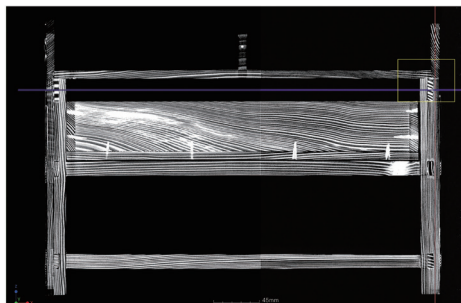
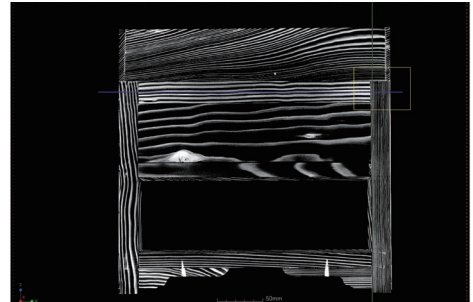
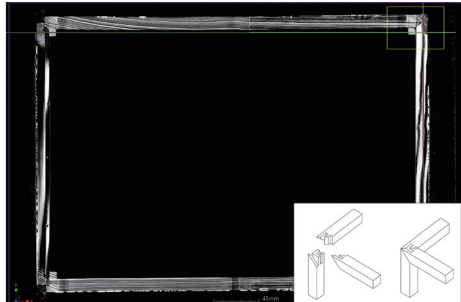
- (a) 평면도
(b) 측면도
(c) 정면도
(d) 입체도



도2. 백골의 재단 방향과 못의 결합



- (a) 평면도
(b) 측면도
(c) 정면도
(d) 입체도



도3. 백골의 삼방연귀짜임

4. 결론

지금까지 조선시대 나전연상의 백골 구조에 대하여 살펴보았다. 이에 본 장에서는 앞에서 언급된 내용을 정리하고 그 의의에 대하여 설명하고자 한다. 나전칠기는 칠공기술과 나전기술의 외형적 요소와 백골의 내부적 요소에 의해 품질이 결정된다. 조선시대 나전칠기 문화재는 주로 외형적 요소에 의해 연구되어 왔다. 하지만 백골의 제작은 내형적 요소로서 그 연구가 어려워 많은 연구가 진행되지 않았다. 본 연구에서는 컴퓨터 단층촬영 기술을 이용하여 조선시대 나전칠기 백골의 특징을 연구한 결과물로서 몇 가지 의미 있는 결과를 도출하였다. 첫째, 백골의 재단은 정목에 가까운 판목을 사용하였다. 이러한 판목의 사용은 목재의 수축과 변형을 최소화하기 위한 것으로서 이방성을 가지고 있는 목재의 물리적 성질을 충분히 고려하여 제작한 것으로 생각된다. 둘째, 서랍 부재의 결합은 못을 사용하였지만 기둥과 쇠목의 결합은 장부결합을 하였다. 기둥과 쇠목은 나전칠기의 전체적인 골격을 이루고 있기 때문에 못을 사용한 결합 방식 대신 장부 맞춤을 하였다. 이것은 못을 사용한 결합방식은 오랜 시간 경과 시 물리적인 견고함을 유지하기 힘들 뿐 아니라 도막의 탈락 및 목재의 부후 등 여러 가지 단점을 야기 시키는 원인이 되기 때문이다. 장부 맞춤은 같은 재질의 목재의 성질을 부합시켜 견고함을 유지시키기 위한 방법으로서 목공기술의 최상위 기술이라고 할 수 있다. 이상의 결과는 앞으로 다양한 방법으로 나전칠기 백골의 조사가 이루어진다면 우리나라 전통 목공기술의 역사 및 원리와 의의를 이해하는데 기초적인 자료가 될 것으로 생각된다. 마지막으로 컴퓨터 단층면을 통한 관련 연구 논문의 사례의 부족하였음을 밝혀두며 단층촬영면을 통한 추가적인 도면의 자료가 필요함에도 불구하고 학문적 역량의 부족함으로 본 논고에 실지 못한 점은 추후 연구 논문에서 완성도 있는 추가 자료로 보완하고자 한다.

참고문헌

1. 황지현, *한국나전칠기의 역사*, p152, 보존과 복원의 세계-나전칠기, 국립중앙박물관, (2019).
2. 박정혜 등, 고려시대 칠기에 나타난 묘금기법 연구, *박물관보존과학* **14**, p62, (2013).
3. 유혜선, 나전칠기함 모서리 보강재료의 잔존지방산 분석, *박물관보존과학* **1**, p53-59, (1999).
4. 이용희 등, 조선시대 주칠죽제연함의 수리, *박물관보존과학* **2**, p35, (2000).
5. 이선주, 조선정효황후 주칠나전가구의 제작기법 고찰, *미술사연구* **36**, p41-43, (2019).

비파괴 분석을 통한 최치원 진영(崔致遠眞影)의 도상 및 채색재료 연구

Nondestructive Analysis of
Portrait of Master Gowun at
Wunamyeongdang Shrine for
Investigation of the Original
Images and Pigments

최현욱^{1,*}, 광홍인², 신용비³

¹국가기록원 역사기록관, ²국립공주박물관,

³국립부여박물관

Choi Hyunwook^{1,*}, Gwak Hongin²,
Shin Yongbi³

¹History Repository National Archives
of Korea,

²Gongju National Museum,

³Buyeo National Museum

요약

본 연구는 비파괴 분석을 통해 경상남도 유형문화재 제187호 ‘운암영당고운선생영정’ (이하 최치원 진영)의 제작당시 도상(圖像)과 채색재료를 종합적으로 분석한 조사 결과이다. 비파괴 분석결과 경남 하동 쌍계사에서 1793년에 제작된 사실을 확인했고, 현존하는 최치원 진영 중 가장 이른 시기의 것으로 확인되었다. 또한 X선 촬영결과 진영 중심으로 덧칠된 좌·우에 반신상과 전신상의 동자승이 그려진 것을 확인할 수 있었다. XRF 성분분석 결과 진영에 사용된 채색재료는 백색의 연백, 적색의 진사과 연단, 녹색의 석록, 청색의 석청, 금의 무기안료를 사용한 것으로 추정된다. 그리고 덧칠된 동자승 역시 최치원 진영 제작에 쓰인 안료와 동일한 성분분석 결과가 도출되었다. 덧칠되어 확인이 어려웠던 동자승의 채색 분석결과를 통해 향후 모사본 제작과 지역 불교회화 연구를 위한 기초조사·연구에 활용 될 것을 기대하며, 화기에 기록된 내용들도 관련 학문과 연계하여 추가적인 조사가 필요할 것이다.

주제어 : 운암영당고운선생영정, 최치원, 쌍계사, 화기, 채색안료

Abstract

This paper presents the results of a comprehensive nondestructive analysis of *Portrait of Master Gowun at Wunamyeongdang Shrine* (Hereafter, *Portrait of Choe Chiwon*), Tangible Cultural Heritage No. 187 of Gyeongsangnam-do, including the underlying images drawn at the time of its production and the pigments present. The analysis revealed that the portrait was produced in 1793 at Ssanggyesa Temple in Hadong, Gyeongsangnam-do, which makes it the earliest known example among the extant portraits of Choe Chiwon. X-ray examination found images of a half-length boy monk and a full-length boy monk on either side of the portrait, which had been painted over and became invisible to the naked eye. XRF analysis of the pigments indicated that white lead was used for white, cinnabar and red lead for red, malachite for green, azurite for blue, and gold for gold. It was revealed that the overpainted boy monks were colored using the same pigments as those applied in the portrait of the main figure. It is hoped that the analysis of the pigments used for the boy monks can provide basic materials for research on the production of copied portraits and local Buddhist paintings. Also, additional research drawing upon other fields of study is required to examine the details of the inscription of the portrait.

Keywords : *Portrait of Master Gowun at Wunamyeongdang Shrine*, *Choe Chiwon*, Ssanggyesa Temple, Inscription, Pigment

* Corresponding Author:
Choi Hyunwook

Tel: 82-51-550-8016
E-mail: chw0326@korea.kr

투고일: 2020. 9. 29. 심사(수정)일: 2020. 11. 11. 게재확정일: 2020. 11. 13.

1. 서론

경상남도 유형문화재 제187호 지정되어 있는 ‘운암영당고운선생영정(이하 최치원 진영)’은 신라말 문인(文人)이자 관료(官僚), 유학자(儒學者)였던 최치원(崔致遠, 857~미상)을 묘사한 초상화(肖像畵)이다. 경주 최씨 종중 소유로 현재 국립진주박물관에 기탁되어 있다.

조선 후기에서 근대시기에 이르기까지 다양한 형태로 그려진 최치원 도상은 현재 국립진주박물관과 하동 쌍계사, 국립중앙박물관, 전북 정읍 무성서원에서 보관하고 있는 것으로 총 4점이 남아있는 것으로 파악된다^[1].

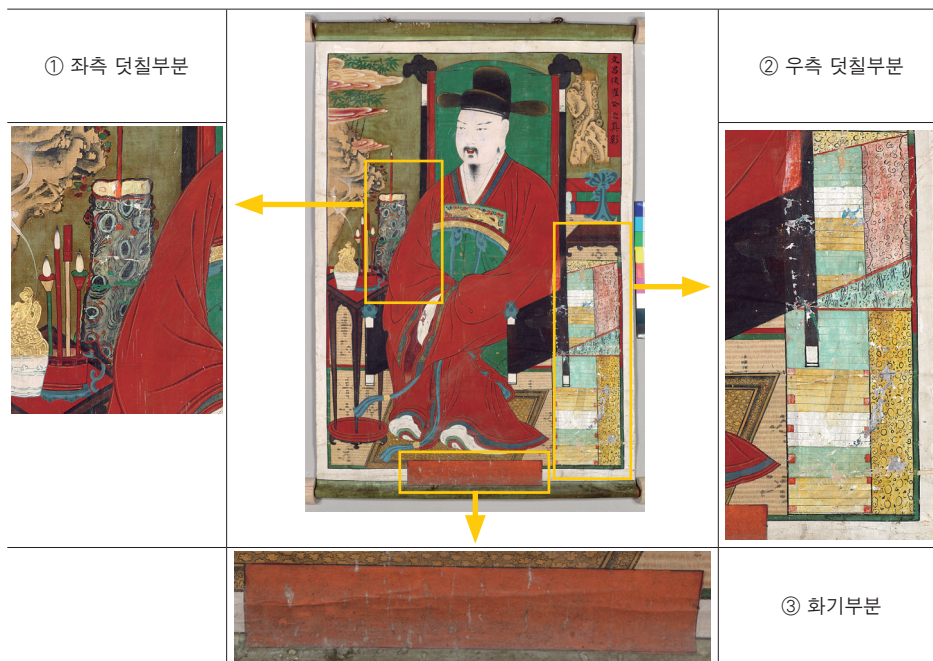
국립진주박물관에서 보관하고 있는 최치원 진영은 인물을 신격화(神格化)하여 제작한 불교미술 작품이며, 최치원을 묘사한 4점 중 가장 이른 시기의 작품이다. 최치원 진영의 상태조사 결과 최치원 도상(圖像) 중심으로 좌·우에 덧칠된 흔적이 확인되며, 하단에 화기(畵記)부분이 있으나 제작정보에 대한 확인은 어려웠다. 진영의 덧칠된 부분과 화기에 대한 정확한 조사를 위하여 X선 및 적외선 촬영으로 비파괴 조사를 실시하였다. X선 촬영결과를 활용해 최치원 진영과 동자승 및 덧칠부분의 채색재료를 XRF로 성분분석을 실시하였다.

비파괴분석으로 최치원 진영 제작당시의 도상과 사용된 채색재료를 확인하고, X선 촬영으로 확인된 내용을 토대로 덧칠되어진 동자승에 쓰인 채색재료의 분석결과를 종합하여 최치원 진영의 제작당시 모습을 소개하고자 한다.

2. 최치원 진영의 보존상태와 장황형식

2.1. 보존상태

최치원 진영의 상태조사에서 도상을 중심으로 좌·우에 덧칠된 흔적이 확인되었고, 제작정보가 기록되어 있어야 할 화기 부분은 먹으로 쓴 글씨가 열화되어 자세한 기록을 확인 할 수 없었다^(도1).



도1. 최치원 진영의 덧칠 부분과 화기

최치원 진영은 족자(簇子) 형태로 보관을 위해 말고 펴는 과정에서 꺾임이 다수 관찰되었고, 본지와 배접지 사이의 접착력 약화로 인한 들뜸도 확인되었다. 특히, 채색재료 중 녹색과 백색재료에서 일부 박락이 관찰되었으며, 덧칠 부분의 박락으로 제작 당시 사용된 채색재료에도 영향을 주고 있었다. 최치원 진영의 안료 박락 및 꺾임 등으로 발생할 수 있는 2차적인 손상을 방지하기 위해 현재는 펼쳐진 상태로 보관하고 있다.

2.2. 장황 형식

최치원 도상은 현재 4점이 남아있으며, 도상은 각각의 다른 형식 가지고 있다. 하동 쌍계사 소장본은 제명(題名)과 화기가 있어 제작정보를 알 수 있으며, 불교미술 형태이다. 국립중앙박물관 소장본은 조선후기 작품이며, 개장(改裝)하여 기존의 진영과 다른 장황 형식이다. 정읍 무성서원 소장본은 1924년 채용신(蔡龍臣)의 작품으로 국립중앙박물관 소장본과 형식이 거의 유사한 것으로 보아 참고하여 그린 것으로 추정된다^(도2).



도2. 최치원의 도상 종류

국립진주박물관 소장 최치원 진영은 족자형태로 되어 있으며, 개장한 흔적이 없는 것으로 보아 제작 당시의 모습을 유지하고 있다. 회장(繪粧) 부분을 채색으로 처리한 형식으로 전통 불교회화 장황 형태를 갖추고 있으며, 공신도(功臣象)상의 형식과는 조금 다르다^(도3).



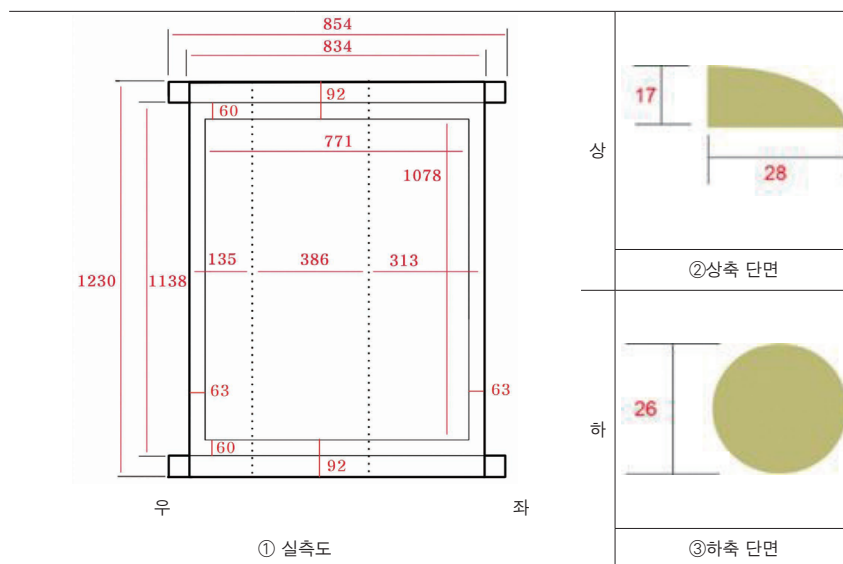
도3. 불교회화의 진영과 공신도상

불화적 요소를 가진 최치원 진영의 제명(題名)을 살펴보면 ‘문창후최공지진영(文昌候崔公之眞影)’으로 쓰여 있다. 여기서 진영이라는 것은 공덕이 있는 스님을 그린 초상화를 뜻하고, 종교적인 추앙의 대상으로 그려진다. 진영의 대표적인 유물로 보물 제1044호 <순천 선암사 대각국사 도선 진영>으로 제명에 ‘삼창주대각국사지진영(三創主大覺國師之眞影)’으로 기록되어 있으며, 이를 통해 최치원 진영 역시 종교적 대상으로 제작되었을 것이라 추정된다.



도4. 최치원 진영 재질과 연결부분

최치원 진영의 바탕재질은 3폭으로 연결하였으며, 상·하회장(上下繪粧)에는 녹색, 상·하·좌·우변(上下左右邊)은 미색으로 하는 등 장황형식을 채색하여 표현하였다. 바탕재질은 공신상 등에 쓰이는 화건이 아닌 삼베를 사용한 것으로 보이며, 상축에는 원환(圓環)이 달려 있다^(도4). 채색에 사용된 안료는 적색, 백색, 녹색, 청색이며, 적색, 황색과 같은 염료(染料)도 사용한 것으로 추정된다.



도5. 최치원 진영 실측도면(단위:mm)

최치원 진영의 실측도면을 살펴보면 ① 실측도에서 진영의 전체 크기는 세로 1,230mm 가로 834mm이며, 크기가 다른 3폭의 삼베를 세로로 연결하여 제작되었다. 한 폭의 크기는 최치원 도상을 중심으로 우측은 313mm, 중앙은 383mm, 우측 135mm의 폭으로 되어있다. 상·하회장의 폭은 92mm이고, 상·하변의 폭은 60mm, 좌·우변은 63mm으로 공신상 등 초상화의 장황의 비율보다도 폭이 좁다. 최치원 진영의 상·하측은 모두 남아 있으며, ② 상측의 길이는 854mm, 폭은 28mm, 두께는 17mm이고, ③ 하측은 원통형으로 길이는 854mm, 지름 26mm이다^(도5).

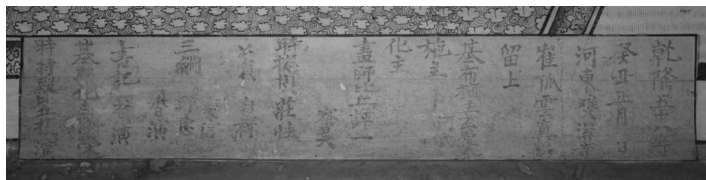
3. 비파괴 조사로 확인되는 최치원 진영 형식

3.1. 적외선 촬영

최치원 진영의 좌·우 덧칠된 부분과 육안으로 확인되지 않는 화기 부분을 자세히 살펴보기 위해 적외선 조사를 실시하였다. 적외선 조사는 적외선을 사물에 비추었을 때, 반사 또는 흡수 정도의 차이가 발생하는 원리를 이용한 것으로 회화에 사용된 안료에 따라 적외선을 많이 흡수한 경우는 검게 보이고, 반사가 많은 경우에는 밝은 색으로 보인다. 특히 먹과 같이 탄소 성분을 포함한 것은 적외선을 많이 흡수하기 때문에 일반적으로 회화의 밑그림을 확인 할 수 있다.



① 화기 부분



② 적외선 촬영

時持殿比邱撰演	基布化主□榮	畫記	三綱	公員	時揔撰莊性	書師比丘評一	施主	施主	留上	崔孤雲眞影	河東雙溪寺	癸丑正月日	乾隆五十八年
		貧演	香演	邱惠	處信	自祥	察昊	化主	基布施主玄厚□	河氏			

(* 줄의 글자는 추정이며, □는 판독불가임)

③ 화기 내용

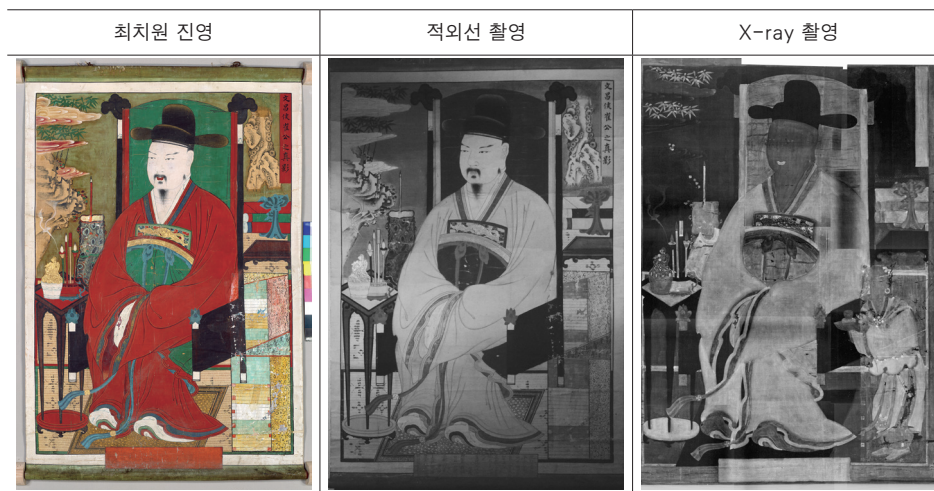
도6. 적외선 촬영을 통해 확인 된 화기

적외선 촬영 결과 진영을 그린 붓의 선이 명확히 보였다. 특히, 육안으로 확인하기 어려웠던 진영 하단에 있던 화기의 글씨가 나타났으며, 진영 제작에 관한 내용을 구체적으로 확인 할 수 있었다^(도6).

화기의 주요 내용을 살펴보면 ‘乾隆五十八年癸丑正月日’로 건륭58년 즉, 1793년 계축 정월에 제작되었다는 정확한 연도가 확인된다. 또한 ‘河東雙溪寺崔孤雲眞影’의 기록으로 경상남도 하동에 있는 쌍계사에서 최치원 진영을 그린 사실을 알 수 있다. 그리고 ‘현후□’와 ‘하씨’가 시주(施主)하였고, 진영을 그린 화사(畵師)는 비구(比丘)인 평일(評一)과 찰호(察昊)로 기록되어 있으며, 찰호라는 비구는 1790년 쌍계사에서 제작된 팔상전(八相殿) 신중화(神衆畵) 제작에 편수(片手)로 참여한 기록이 있다^[2]. 적외선 촬영으로 최치원 진영의 제작자와 장소, 년도 등 진영의 중요한 정보들을 확인 할 수 있었다.

3.2. X선 촬영

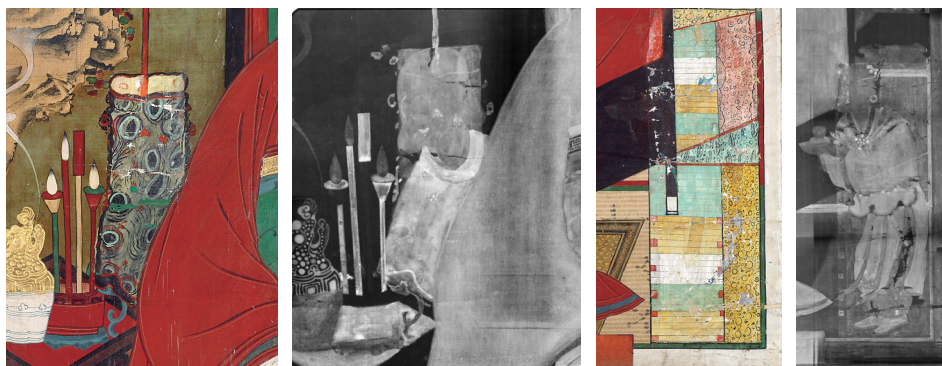
최치원 도상을 중심으로 좌·우 덧칠된 그림은 X선 촬영(SOFTEX K2, Japan, 25kV, 1mA, 120s)을 통해 최치원 진영의 제작당시 모습을 확인하고자 하였다. X선 조사는 X선이 투과된 정도에 따라 최치원 진영의 보존상태, 안료 및 염료 사용여부 등 채색기법을 확인 할 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 덧칠된 부분을 확인하고자 하였다.



도7. 최치원 진영의 비파괴 조사결과

X선 촬영 결과 최치원 도상을 중심으로 좌·우측 덧칠된 부분에 각각 한 명의 동자승이 표현되어 있는 것으로 확인되었다. 좌측의 동자승은 반신상으로 표현되어 있으며, 우측의 동자승은 전신상으로 표현되어 있다. 그리고 두 동자승의 위치와 모습 등이 확인되면서, 최치원 진영 제작 당시의 모습이 어떠했는지 추정할 수 있다^[57].

최치원 진영의 X선 투과정도를 살펴보면 진영의 얼굴과 눈, 입술, 단령(團領), 흉배(胸背) 등은 안료(顔料)를 사용한 것으로 보이며, 특히 흉배와 향로의 경우는 투과정도로 보아 금(Au)을 사용한 것으로 보인다. 사모(紗帽) 등은 먹을 사용하였으며, 최치원 진영의 배경과 눈썹, 수염, 화문석(花紋席), 교(轎), 구름은 염료(染料)를 사용하여 채색하였음을 추정할 수 있다. 특히, 동자승의 X선 투과정도를 살펴본 결과 좌측 반신상 동자승의 경우 화려한 장식은 확인되지 않으며, 얼굴에서는 안료로 표현된 입술 모습만 그 형태가 나타난다. 전신상으로 표현된 우측 동자승은 공양하는 모습을 볼 수 있고, 가슴 등에 여러 장식을 한 모습을 볼 수 있는데 채색하는데 있어서 다양한 안료를 사용한 것을 알 수 있다^(도8).



도8. 최치원 진영 좌·우측 동자승의 덧칠부분과 X선 촬영결과

X선 촬영 결과로 보존상태는 육안으로 점검한 상태보다 좋지 않음을 알 수 있다. 좌·우변과 흉배부분의 안료 박락 및 균열이 확인되며, 특히 전신상으로 표현된 우측 동자승의 하단부분은 덧칠된 그림과 비교했을 때 덧칠부분이 떨어져 나가면서 안료도 함께 박락되었음을 알 수 있다.

3.3. XRF 성분분석

현미경으로 사전 확인한 최치원 진영의 채색재료를 살펴보면 백색, 적색, 녹색, 청색, 금으로 추정되는 안료를 사용하였으며, 바탕층의 적색 및 황색은 염료를 사용한 것으로 보인다. 또한 양쪽 동자승에 덧칠된 일부가 떨어져 나간 부분을 자세히 살펴보면 두 동자승에도 안료를 사용한 것으로 추정된다.

X선 촬영결과로 확인된 내용을 바탕으로 최치원 도상 중심의 채색안료 성분분석을 우선적으로 실시하고, 다음으로 최치원 진영에 덧칠된 재료와 동자승의 채색재료를 확인하기 위해 XRF(Portable spectrometer, ArtTAX, Röntec, Germany 30kV, 500mA, 100sec) 성분분석을 실시하였다.

표 1. 최치원 진영 A 조사지점 및 분석결과


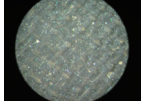
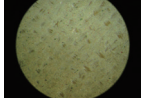
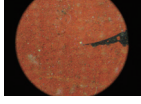
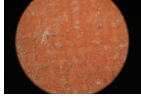
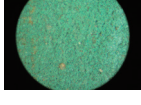
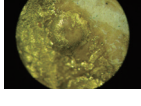
조사지점		색상	현미경 사진	검출원소	추정안료
	A1			Pb, Cu, Zn, Hg	먹
	A2	흑색		Br, Cu, Ca, Fe	먹
	A3			Pb, Br, Cu, Fe, K, Ca	먹
	A4	백색		Pb, Br, Cu, Fe, Ca	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	A5			Pb, Fe, Zn, Hg	연단 (Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	A6	적색		Pb, Br, Cu	연단 (Pb_3O_4)
	A7			Cu, Br, As, Ca	석록 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
	A8	녹색		Cu, Pb, As, Ca	석록 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
A면	A9	황색		As, Au, Fe	석황 (As_2S_3), 금

표2. 최치원 진영 B 조사지점 및 분석결과


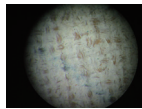
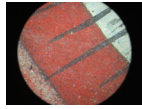
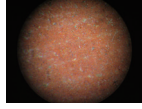
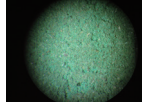
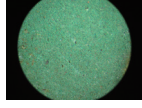
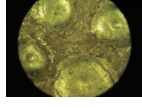
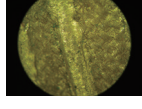
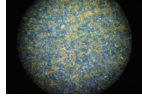
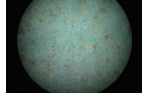
조사지점		색상	현미경 사진	검출원소	추정안료
	B1	백색		Pb, Cu, Br, Fe, Ca	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	B2	적색		Pb, Cu, Fe, Hg	연단 (Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	B3			Pb, Hg, Cu, Fe	연단 (Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	B4	녹색		Cu, Br, As, Fe, Ca	석록 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
	B5			Cu, Br, As, Fe, Ca	석록 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
	B6	황색		As, Au, Fe	석황 (As_2S_3), 금
	B7			Au, As, Cu	석황 (As_2S_3), 금
	B8	청색		Cu, Pb, Br, Fe, Mn, K, Ca	석청+연백
	B9			Cu, Pb, Br, Fe, Mn, Ca	연백+석청
B면(동자승 반신상 덧칠부분)					

표3. 최치원 진영 C 조사지점 및 분석결과

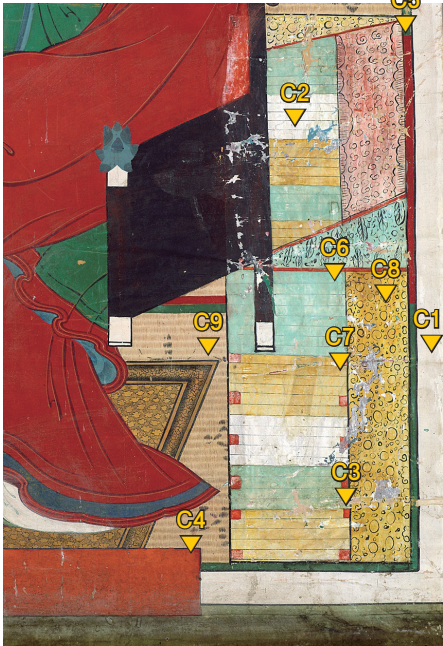
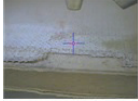
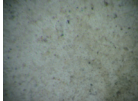

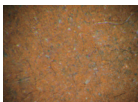

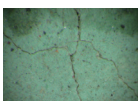

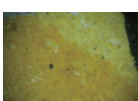
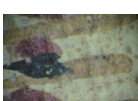

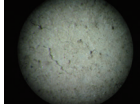
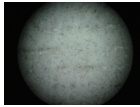
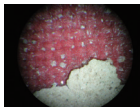
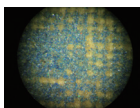
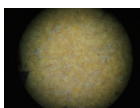
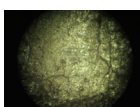
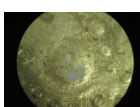
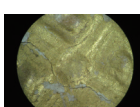
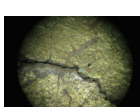
조사지점	색상	현미경 사진	검출원소	추정안료
	C1		Pb, Fe	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	C2		Pb, Hg, Au, Cu, Zn	연단 (Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	C3		Br, Pb, Cu, Fe	연단 (Pb_3O_4)
	C4		Pb, Hg, Cu, Fe	연단 (Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	C5		As, Cu, Ca	석록 ($[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2]$)
	C6		Pb, Hg, Cu, Fe	연단 (Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	C7		Br, Pb, Cu, Fe	연단 (Pb_3O_4)
	C8		Br, Pb, Cu, Fe	연단 (Pb_3O_4)
C면(동자승 전신상 덧칠부분)	C9		Pb, Cu, Fe, Ca	연백+먹

표4. 최치원 진영 D 조사지점 및 분석결과

조사지점	색상	현미경 사진	검출원소	추정안료
	D1		Pb, Cu, Fe	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	D2		Pb, Fe, Ca	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	D3		Br, Pb, Cu, Ca, K	적색염료 (추정)
	D4		Br, As, Cu, Fe, Ca	석청
	D5		Br, Pb, Cu, Fe, Ca	황색염료 (추정)
	D6		As, Au, Fe	석황 (As_2S_3), 금
	D7		As, Au, Fe	석황 (As_2S_3), 금
	D8		As, Au, Fe	석황 (As_2S_3), 금
D면	D9		As, Au, Fe	석황 (As_2S_3), 금

최치원 진영을 가상으로 4등분하여 A~D로 구분하고, 색별로 측정하여 색상에 따라 구분하였다^(표1~4). 분석 전에 현미경으로 안료로 추정되는 색을 사전작업으로 미리 선정하여 측정하였다.

A의 조사지점의 분석결과를 살펴보면, A1~3의 제명과 사모 및 눈동자 부분은 적색안료와 연백 바탕에 먹을 쓴 것으로 추정된다. A4의 백색은 Pb가 주성분인 연백($(2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2)$)을 사용한 것으로 보이며, 얼굴부분과 교 뒷받침의 백색 등에도 동일한 안료를 사용한 것으로 추정된다. 적색에서 A4의 제명 바탕색은 Pb와 Hg가 주성분으로 진사(HgS)와 연단(Pb_3O_4)을 사용한 것으로 보이며, 적색 중 홍배 구름문양은 연단을 사용한 것으로 추정된다. A7~8의 의자 뒷부분과 화면 우측 족자형태에 사용된 녹색 안료는 Cu가 주성분으로 석록($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$)사용을 한 것으로 추정된다. A9의 홍배의 황색의 지점에서는 Au가 주성분으로 금을 사용했다^(표1).

B의 조사지점은 진영과 문방구 및 배경을 중심으로 분석하였으며, B1의 붓털부분에는 A4지점과 동일한 연백을 사용한 것으로 보이며, 적색계열인 B2~3에서는 Pb와 Hg가 검출되면서 입술과 단령부분은 진사와 연단을 교합(交合)해서 사용한 것으로 추정된다. B4~5은 Cu가 주성분인 석록으로 추정되며, 대나무잎과 붓 손잡이에서 확인된다. B6~7의 황색에서는 금(Au)을 사용한 것으로 보이며, 용문양 홍배와 각대에 금을 사용하여 표현하였다. B8~9의 청색에 사용된 안료는 석청과 연백으로 두 가지를 교합하여 사용한 것으로 추정되며, 홍배 아래 매듭모양과 속 깃 채색에 사용되었다^(표2).

C면은 덧칠된 부분이 측정하고자 하는 면에서 1/3이상 차지하기 때문에 덧칠에 사용되었을 것이라고 추정되는 재료를 중심으로 측정하였다. C1의 추정안료는 연백으로, 덧칠재료가 아닌 제작당시의 채색으로 추정되며, C2는 연단 및 진사로 추정되는데 흰색의 덧칠재료의 성분이 아닌 것으로 동자승에 사용된 채색재료로 보인다. C3의 추정안료는 연단이며, C4 연단과 진사는 화기바탕에 사용되었다. C5는 A7~8에서 확인된 동일한 석록으로 추정된다. C6에서는 연단과 진사로 추정되며, 동자승에 사용된 재료로 보인다. C7~8에서 연단으로 확인되었는데 덧칠된 부분에 Br도 검출되었다. C9는 연백과 먹으로 화문석 문양에 동시에 사용한 것으로 보인다^(표3).

D면은 D1~2의 흰색은 연백으로 추정되며, 소매와 하·좌변의 테두리에 사용되었다. D3은 적색염료로 확인되며, 적색의 염료를 칠하고 연백으로 소매부분을 그린 것으로 추정된다. D4는 B8의 성분분석결과와 동일하며, 연백의 채색재료는 확인되지 않는다. D5은 황색염료를 사용한 것으로 보인다. D6~9는 동일하게 금이 검출되었는데 Fe의 검출은 입체감을 주기 위해 사용된 것으로 보인다. 끈 장식문양과 용문양 향로에서도 금이 확인된다^(표4).

표5. 최치원 진영 채색재료 분석 결과

연번	색상	추정안료	연번	색상	추정안료
1	백색	연백	4	황색(금색)	금
2	적색	진사+연단	5	흑색	황색염료
		진사			먹, 연백
		연단			석청
3	녹색	석록	6	청색	석청+연백

덧칠재료에 대한 성분분석을 실시하였으나 X선이 투과되면서 동자승에 사용되었을 것이라고 추정되는 채색재료만 확인되는 이유로 X선으로 확인된 좌·우 동자승의 모습을 토대로 성분분석을 재실시하였다. 좌측 반신상 동자승의 분석결과에서 E1는 동자승 단령으로 추정되는 부분에서 석록으로 확인되는 이유로 E2와 E4는 속 깃으로 추정되는 곳에 연단과 진사를 사용한 것으로 보인다. E3에서는 연단으로 추정되며, 머리 장식으로 보인다. E5는 얼굴부분으로 연백으로 추정된다^(표6).

우측 전신상 동자승의 X선 촬영결과에서 다양한 채색과 장식 등이 확인되는 이유로 덧칠부분이 박락되어 안료 추정이 가능한 부분을 제외하고 확인이 어려운 부분을 중심으로 측정하였다. F1은 머리장식 부분으로 연백으로 추정되며 D1 지점과 유사한 분석결과로 확인된다. F2는 동자승의 배경이 되는 부분으로 석록으로 추정되며, F3은 속 깃 바깥쪽 부분으로 석청과 연백을 사용한 것으로 추정된다. F4의 안쪽 속 깃 부분과 F7의 소매부분, F9의 허리장식 부분에 연단과 진사를 사용하였을 것으로 보이며, F5의 가슴부분의 장식은 금이 검출되어 금을 재료로 사용하였음을 알 수 있다^(표7).

표6. 최치원 진영의 좌측 동자승 조사지점 및 결과

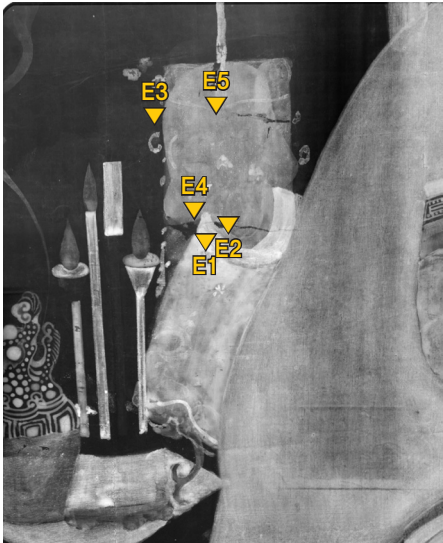




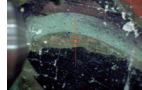
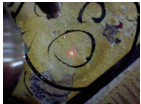


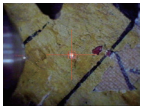
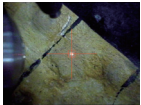
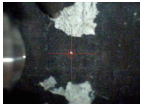
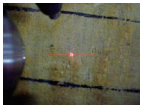
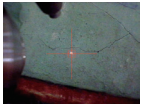
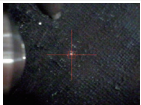
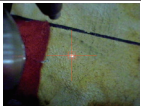
조사지점		위치	현미경 사진	검출 원소	추정 안료
좌측 동자승 (반신상)		E1 단령		Br, As, Cu, Ca	석록 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
		E2 속깃		Pb, Hg, Cu, Fe	연단(Pb_3O_4) + 진사(HgS)
		E3 귀		Br, Pb, Cu, Ca	연단(Pb_3O_4)
		E4 숄깃		Pb, Hg, Cu, Fe	연단(Pb_3O_4) + 진사(HgS)
		E5 얼굴		Pb, Cu, Fe, Ca	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)

표 7. 최치원 진영의 우측 동자승 조사지점 및 결과

조사지점		위치	현미경 사진	검출 원소	추정 안료
우측 동자승 전신상	F1	머리 장식		Pb, Cu, Fe	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	F2	배경		Br, Cu, Fe	석록 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$)
	F3	속깃 1		Pb, Cu, Fe, Mn, Ca, K	석청+연백
	F4	속깃 2		Pb, Hg, Cu, Fe	연단(Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	F5	가슴 장식		Pb, Au, Cu, Fe	금
	F6	소매 바깥		Br, Pb, Cu, Fe	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	F7	소매 안쪽		Pb, Hg, Cu, Fe, Ca	연단(Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	F8	발 (鉢)		Br, Pb, Cu, Fe, Ca	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)
	F9	허리 장식		Pb, Hg, Cu, Fe, Zn	연단(Pb_3O_4) + 진사(HgS)
	F10	바지 하단		Pb, Cu, Fe	연백 ($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$)

진영과 동자승에 사용된 채색안료를 X선 투과정도와 XRF 성분분석 결과를 종합적으로 살펴보면 최치원 도상의 채색에 사용한 안료와 동일한 것으로 확인된다. 연백의 경우 덧칠되어 있는 동자승의 얼굴과 최치원 얼굴에 사용된 데이터가 유사한 것으로 보아 같은 연백을 사용한 것으로 추정된다. 그리고 적색인 진사와 연단의 경우 반신상 동자승의 옷깃부분과 전신상 동자승의 단령 윗부분에서 유사 값이 도출되었으며, 녹색인 석록은 반신상 동자승의 단령과 전신상 동자승의

단령 상·하부분에도 사용하였음이 추정된다. 또한 최치원 진영의 향로와 각대에 사용된 금이 전신상 동자승의 목걸이 장식부분에서도 검출된 것으로 보아 이 부분도 금을 사용한 것을 알 수 있다.



도9. XRF분석 결과로 확인된 최치원 진영 동자승의 예상도

덧칠에 사용된 재료를 측정하고자 하였으나 덧칠채색은 밀도입자가 X선이 투과되는 이유로 성분이 검출되지 않았으며, 대부분의 성분분석 결과는 동자승의 채색재료로 확인되었다. 단, 덧칠재료 분석결과 중 Br이 공통적으로 확인되는데 향후 유색 재료 분석 결과 비교를 통해 확인이 필요하다.

4. 고찰 및 결론

최치원 진영은 개장한 흔적이 없는 것으로 보아 제작 당시의 모습을 유지하고 있는 것으로 파악된다. 진영은 공덕을 쌓은 스님을 그린 초상화를 일컬으며, 신선이 되었다는 최치원의 전설을 차용하여 종교적인 대상으로 묘사하였다. 1793년 쌍계사에서 최치원 진영이 제작된 이후 금천사에서 하동향교, 운암영당 등 최씨 문중으로 옮겨오는 과정에서 동자승 부분에 덧칠한 것으로 추정되면서 지금의 모습으로 왜곡된 것으로 보인다.

최치원 진영에 대한 상태조사를 실시하던 중 덧칠 부분이 확인되면서 구체적인 정보를 확인하기 위해 비파괴 조사를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 적외선 조사를 통해서 경남 하동 쌍계사에서 제작된 것은 정확한 제작연도(1793년)를 통해 현존하는 최치원 초상화 중 가장 이른 시기의 것으로 확인되면서 최치원 진영 제작과 관련된 새로운 사실을 확인할 수 있었다.

둘째, X선 촬영으로 최치원 진영 중심으로 덧칠된 좌·우 부분에 반신상과 전신상으로 동자승이 그려진 것을 확인 할 수 있었다. X선 투과정도로 진영과 동자승의 제작에 동일한 안료를 사용한 것이 확인되었다.

셋째, XRF 성분분석을 통해서 최치원 진영에 사용된 채색재료는 연백의 백색, 진사와 연단의 적색, 석록의 녹색, 석청의 청색, 금의 무기안료를 사용한 것으로 보이며, 일부 적색과 갈색은 염료가 사용된 것으로 확인되었다. X선 촬영결과를 바탕으로 덧칠된 동자승 채색분석 결과 역시 최치원 진영 제작에 쓰인 안료와 동일하게 사용한 것으로 추정된다.

최치원 진영과 덧칠되어 확인이 어려운 동자승의 채색분석 결과를 종합하여 향후 모사본 제작 당시의 동자승 원형 복원을 기대하고, 덧칠에 사용한 덧칠재료의 면밀한 분석을 실시하여 덧칠된 시기 검토와 진영에 가해지는 2차 훼손가능성 여부를 위한 추가 조사가 필요 할 것이다. 또한 진영 제작과 관련한 지역 불교문화 연구와 화기에 기록된 화사 및 시주의 인물들에 대한 기록 등도 관련 학문과 연계하여 추가적인 조사가 되길 기대한다.

참고문헌

1. 배영일, *진영으로 본 최치원*, p144-147, 신라 역사 인물 특별전 2 고운 최치원, 국립경주박물관, (2012).
2. 文化財管理局 文化財研究所, *寺刹所藏佛畫調査(釜山市, 慶尙南·北道, 全羅南·北道) II*, 文化財管理局, (1990).
3. 유혜선, *태조어진 안료 분석*, p242~260. 왕의 초상, 국립전주박물관, (2005).
4. 문선영, *우학문화재단 소장 감로왕도 안료 분석*, p206-216. 문화재 보존 10년, 용인대학교박물관, (2007).
5. 유혜선, 장연희, *초상화의 채색 분석 II*, p263-301. 조선시대 초상화 II, 국립중앙박물관, (2008).
6. 한민수, *전통안료에 대한 과학적 분석*, p276-289, 지류 직물 문화재 보존, 국립문화재연구소, (2011).
7. 최현욱, 곽흥인, *운암영당고운선생영정의 상태조사를 위한 비파괴 조사 연구*, p39~42, 한국문화재보존과학회 제38회 추계학술대회, (2013).
8. 장연희, 윤은영, 김수연, 심희수 초상의 재료와 제작기법에 대한 과학적 조사, *박물관 보존과학* **15**, p96-121, (2014).
9. 오준석, 최정은, 최윤희, 19~20세기 무신도 등에 사용된 구리-비소 녹색 안료에 대한 연구, *보존과학회지* **31**, p193-214, (2015).
10. 오준석, 최정은, 이새롬, *삼국지연의도의 채색재료 분석*, p133-173, 삼국지연의도, 국립민속박물관, (2016).

분석자료를 기초한 고대 납유리와 녹유의 특성 연구

Characteristic Study of Ancient
Northeast Asian Lead Glass and
Green Glaze Based on Analysis
Results

이지희^{1,*}, 김현정²

¹충북대학교 고고미술사학과,

²국립중앙박물관 보존과학부

Lee Jihee^{1,*}, Kim Hyunjeong²

¹Dept. of History of Art,

Chungbuk National University

²Conservation Science Division,
National Museum of Korea

요약

본 연구에서는 동북아시아에서 고대에 제작되었던 납유리와 녹유의 납동위원소비와 화학조성의 분석자료를 기초하여 산지를 추정하고 그 특성을 고찰해 보고자 한다.

백제의 익산 왕궁리유적과 미륵사지에서 출토된 납유리와 녹유의 납동위원소비를 비교한 결과, 추정산지는 한국 남부 경기육과 서부(zone4)로 같은 지역에서 납을 채취하여 제작한 것으로 보인다. 통일신라 사찰에서 출토된 녹유와전은 일부를 제외하고 대부분이 동북아시아에서 그 산지를 짐작하기 어려웠다.

7세기경 백제와 신라, 중국, 일본에서 출토된 납유리의 주성분은 PbO, SiO₂, Al₂O₃, CuO, Fe₂O₃이며, 비율은 PbO 70wt.%, SiO₂ 30wt.%으로 확인된다. 통일신라 사찰에서 출토된 녹유와전은 PbO 64~90wt.%로 납의 함유량이 높게 나타났다. 특히, 경주 사천왕사지 출토 〈녹유능형전〉은 주성분이 PbO, SiO₂, Al₂O₃, CuO이며 납유리와 조성성분이 유사하다. 일본의 『조불소장물장(造佛所作物帳, AD733년)』에 대한 유약 재현실험 결과, 중국과 일본 가마터 출토품의 PbO 값이 일정하게 확인되었다. 이는 당시 동북아시아에서 제작기술의 공유가 있었음을 시사해 준다.

주제어 : 납유리, 녹유, 데이터베이스, 납동위원소비, 화학조성

Abstract

This study examines the results of analyses of the lead isotope ratio and chemical composition of lead glass and green glaze from ancient Northeast Asia in order to suggest their production sites and reveal further characteristics. The comparison of the lead isotope ratio of lead glass and green glaze from two Baekje remains in Iksan—the Wanggung-ri Site and Mireuksa Temple Site—suggests that they were produced to the west of the South Gyeonggi Massif (Zone 4) using lead extracted from the same area. With a few exceptions, it has proved difficult to identify the production sites of most of the green-glazed roof tiles from Unified Silla-period Buddhist temples across Northeast Asia. The major component of the lead glass from Baekje, Silla, China, and Japan during the seventh century is PbO, SiO₂, Al₂O₃, CuO, and Fe₂O₃, with a ratio of PbO and SiO₂ of 70 and 30 wt.%, respectively. The green-glazed roof tiles excavated from a temple from the Unified Silla period have a high proportion of lead, ranging from 64 to 90 wt.%. Green-glazed lozenge tiles excavated from the Sacheonwangsa Temple site in Gyeongju were shown to contain PbO, SiO₂, Al₂O₃, and CuO, a similar composition with lead glass. An experiment was conducted to reproduce a glaze according to the production method mentioned in the *Zō hotoke-sho sakumotsu-chō* (Buddhist statue workshop crop book) in the Shosoin Repository. In this experiment, an identical ratio of PbO was observed for Japanese green-glazed ceramics from the eighth to eleventh century as that found in Chinese lead-glazed ceramics excavated from kilns operated from the seventh to tenth century in Henan. This indicates that production methods for lead glass and glaze were shared across Northeast Asia.

Keywords : Lead Glass, Green Glaze, Database, Lead Isotope Ratio, Chemical Component

* Corresponding Author:
Lee Jihee

1. 서론

‘유리(琉璃)’는 표준국어대사전에 따르면 석영, 탄산소다, 석회암을 섞어 높은 온도에서 녹인 다음 급히 냉각하여 만든 물질로 투명하고 단단하며 잘 깨지는 것으로 정의된다^[1]. 즉, 유리는 일반적으로 건축, 그릇, 기구 등에 사용되는 소다석회유리(soda lime glass)를 가르킨다. 이것은 서아시아와 로마 등에 기반을 둔 유리로 동북아시아에서 제작되었던 납유리와 주요성분의 구성요소가 서로 다르다.

고대의 중국과 한국 그리고 일본의 문헌에서는 소다석회유리를 ‘과리(玻璃)’와 ‘초자(硝子)’로 부르고, 납유리로 제작된 기물을 일컬어 유리(琉璃), 유리(瑠璃)로 명명하여 이들을 서로 구분하고 있었음이 확인된다. 특히, 문헌사료에서는 납을 주요성분으로 포함된 유리와 유약을 바른 기물, 즉 연유(鉛釉)를 동일한 의미로 인식하고 있었고, 근대와 현대에 이르기까지 사용되는 용어의 유사성이 유지되고 있다^[2].

연유는 납을 기본 용융제로 만든 저화도의 산화염으로 번조하는 일종의 저온유(低溫釉)로, 삼채·오채 등의 다채유와 갈유, 녹유, 남유 등을 포괄하는 용어이다. 국내에서 갈유와 녹유를 제작하였지만, 본 연구대상이 국내의 녹유를 중심으로 활용되었기 때문에 녹유라는 용어를 사용하겠다.

납유리와 녹유는 고대 한국과 중국, 그리고 일본의 교류 양상과 제작방법 등을 밝힐 수 있는 중요한 자료로 간주되어, 보존과학에서 납동위원소비를 통한 산지추정과 화학조성 등의 많은 연구들이 진행되어 왔다. 현재까지의 연구들은 대부분 단위 유적을 중심으로 단편적으로 비교적 많이 수행되었으나, 이를 기초로 종합적으로 고찰하는 연구가 부족하였다. 그리고 객관적인 자연과학분석 자료들을 활용하여 미술사와 고고학적 관점의 연구방식과 접목하여, 당시의 모습을 복원하는 연구가 필요한 상태이다. 따라서 본 연구는 고대 동북아시아에서 제작되었던 납유리와 녹유의 납동위원소비와 화학조성의 분석자료를 기초한 추정산지와 특성을 살펴보기 위해서 작성되었다.

2. 연구방법

본 연구에서는 고대 동북아시아에서 제작된 납유리와 유약의 특성을 살펴보고자 납동위원소비와 화학조성의 분석자료로 기초하여 연구하고자 하였다. 연구대상은 고대 국내와 중국, 일본에서 제작된 납유리와 녹유와 삼채 등 연유에서 분석된 납동위원소비와 화학조성 데이터베이스를 활용하였다.

납동위원소비는 두 가지 방법으로 분석하여 세분화함으로서 신뢰도를 높이도록 하였다. 하나는 1980년대 馬淵久夫가 조사한 한국-중국-일본의 방연석 광산에 대한 동북아시아 납동위원소비이다^[3-5]. 이는 현재까지도 보편적으로 사용되고 있으나

분석 자료가 다양하지 않아 지역구분에 다소 어려움이 있었다. 다른 하나는 한국기초과학지원연구원과 국립문화재연구소에서 공동 연구한 한반도 남부지역 납동위원소비 분포도(Korea Peninsula Lead Isotope Database; 이하 KOPLID로 표기)이다^[6-7]. 이는 한반도 남부지역 납동위원소비를 바탕으로 지질학적, 지역적 4개의 그룹(zone)으로 세분화하여 국내 자료에 대한 납동위원소비의 판별력을 한층 높여 주었다^[8]. 화학조성은 그동안 유약보다는 납유리의 성분분석에 집중되어 있었다. 성분분석은 기존 연구자료를 활용하였다.

마지막으로 지금까지 살펴보았던 분석자료를 기초로 하여, 8세기에 유약제조 방법이 담겨있는 문헌기록을 통해 납유리와 녹유의 특성을 종합적으로 고찰해 보도록 하겠다.

3. 납동위원소비를 기초한 납재료 산지추정

이번 연구에서는 두 가지 분포도를 복합적으로 활용하였다. 한반도 출토품은 한반도 남부지역 납동위원소비 분포도로 국내에서 납산지를 추정한 후 범주에서 벗어나는 시료에 대해서는 馬淵久夫의 동북아시아 납동위원소비에 대입하였다. 반면, 중국과 일본 출토품에 대해서는 馬淵久夫의 동북아 자료에서 먼저 추정한 후 한반도 남부지역으로 판단되는 시료에 대하여 KOPLID에 대입하였다. KOPLID는 앞서 서술한 바와 같이 4개의 그룹으로 구분할 수 있다^{(표1)[9]}.

표 1. 한반도 남부지역 납동위원소비 판별그룹

그룹	지구조적	해당지역
zone1	경상분지	경상도
zone2	옥천변성대 내 태백산분지 / 영남육괴 북동부	강원도 남부 / 경북 북부
zone3	옥천대 / 경기육괴 동부지역	전라도 / 충청도 / 강원도 북부
zone4	경기육괴 서부지역	충청도 북부 / 경기도 서부

3.1. 삼국시대

백제의 납 산지추정은 사비기의 익산과 부여를 중심으로 한 납동위원소비 분석 연구가 이루어졌다. 다음 <표2>는 2007년에 국립부여문화재연구소에서 익산 왕궁리와 미륵사지 출토 납유리 유물의 납동위원소비를 정리한 것이다^[10]. 본 연구에서는 이를 기반으로 최근 연구성과인 한국 남부지역 방연석 광산의 납동위원소비 분포도(KOPLID)를 활용하여 납의 산지와 국내에서의 위치를 살펴보았다.

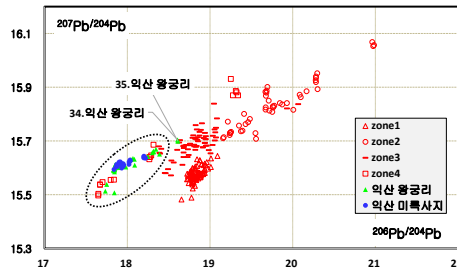
표2. 익산 왕궁리와 미륵사지 납유리 및 녹유의 납동위원소비와 KOPLID를 이용한 산지추정

유적	연번	유물명	시료 번호	납동위원소비			김규호 외 ^[10]	KOPLID
				$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		
익산 왕궁리	1	유리	YG 1	17.569	15.635	38.984	한국남부	zone4
	2	유리	YG 2	17.815	15.662	39.070	한국남부	zone4
	3	유리	YG 3	17.802	15.656	39.051	한국남부	zone4
	4	유리	YG 4	17.482	15.603	38.874	한국남부	zone4
	5	유리	YG 5	17.544	15.631	38.968	한국남부	zone4
	6	유리	YG 6	17.397	15.601	38.867	한국남부	zone4
	7	유리	YG 7	17.341	15.595	38.848	한국남부	zone4
	8	유리	YG 8	17.345	15.585	38.815	한국남부	zone4
	9	유리	YG 9	17.820	15.659	39.056	한국남부	zone4
	10	유리	YG 10	17.339	15.593	38.843	한국남부	zone4
	11	유리	YG 11	17.346	15.604	38.879	한국남부	zone4
	12	유리	YG11-1	17.340	15.594	38.874	한국남부	zone4
	13	유리	YG 12	17.344	15.507	38.856	한국남부	zone4
	14	유리	YG 13	17.590	15.610	38.736	한국남부	zone4
	15	유리	YG 14	17.344	15.601	38.870	한국남부	zone4
	16	유리	YG15-1	17.353	15.608	38.894	한국남부	zone4
	17	유리	YG15-2	17.346	15.597	38.858	한국남부	zone4
	18	유리	YG 16	17.338	15.593	38.843	한국남부	zone4
	19	유리	YG 17	17.340	15.594	38.848	한국남부	zone4
	20	유리	YG 18	17.444	15.612	38.906	한국남부	zone4
	21	유리	YG 19	17.747	15.642	39.072	한국남부	zone4
	22	유리	YG 35-1	17.424	15.609	38.892	한국남부	zone4
	23	유리	YG 35-2	17.421	15.609	38.897	한국남부	zone4
	24	유리	YG 35-3	17.417	15.605	38.880	한국남부	zone4
	25	유리	YG 36-1	17.344	15.596	38.847	한국남부	zone4
	26	유리	YG 36-2	17.355	15.613	38.909	한국남부	zone4
	27	유리	YG 37	17.847	15.669	39.092	한국남부	zone4
	28	유리	YG 38-1	17.339	15.594	38.847	한국남부	zone4
	29	유리	YG 38-2	17.336	15.590	38.834	한국남부	zone4
	30	유리	YG 38-3	17.338	15.589	38.825	한국남부	zone4
	31	유리	YG 39	17.586	15.632	34.595	한국남부	zone4
	32	유리	YG 40-1	17.340	15.593	34.897	한국남부	zone4
	33	유리	YG 40-2	17.340	15.595	34.904	한국남부	zone4
	34	유리	YG 41	18.108	15.704	33.969	한국남부	zone3
	35	유리	YG 42	18.111	15.699	33.935	한국남부	zone3
	36	유리	YG 43	17.353	15.600	34.906	한국남부	zone4
	37	유리	YG 44	17.345	15.601	34.925	한국남부	zone4
	38	유리	YG 45	17.343	15.590	34.873	한국남부	zone4
	39	녹유호	YG 2889	17.890	15.651	38.954	한국남부	zone4
	40	녹유뚜껑	YG 2890-1	17.234	15.513	37.935	한국남부	zone4
	41	녹유뚜껑	YG 2890-2	17.251	15.538	38.014	한국남부	zone4

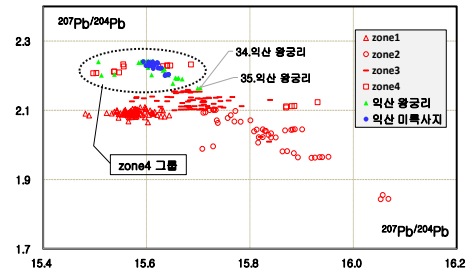
유적	연번	유물명	시료 번호	납동위원소비			김규호 외 ^[10]	KOPLID
				$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		
익산 미륵사지	42	판유리	MR 1	17.720	15.636	34.368	한국남부	zone4
	43	판유리	MR 2	17.538	15.626	34.674	한국남부	zone4
	44	판유리	MR 3	17.456	15.610	34.752	한국남부	zone4
	45	판유리	MR 4	17.450	15.615	34.784	한국남부	zone4
	46	판유리	MR 5	17.340	15.594	34.905	한국남부	zone4
	47	판유리	MR 6	17.521	15.613	34.637	한국남부	zone4
	48	판유리	MR 7	17.450	15.605	34.735	한국남부	zone4
	49	유리 도가니	MR 8-1	17.699	15.637	34.413	한국남부	zone4
	50	유리 도가니	MR 8-2	17.700	15.643	34.441	한국남부	zone4
	51	유리 도가니	MR 8-3	17.703	15.642	34.432	한국남부	zone4
	52	유리 도가니	MR 10	17.433	15.599	34.739	한국남부	zone4
	53	유리 도가니	MR 11	17.441	15.614	34.803	한국남부	zone4
	54	녹유연목와	MR 2109	17.415	15.622	34.889	한국남부	zone4
	55	녹유연목와	MR 2337	17.522	15.622	34.681	한국남부	zone4
	56	녹유연목와	MR 4102	17.532	15.629	34.698	한국남부	zone4
	57	녹유연목와	MR 9021-1	17.371	15.612	34.933	한국남부	zone4
	58	녹유연목와	MR 9021-2	17.365	15.604	34.901	한국남부	zone4
	59	녹유연목와	MR 9553	17.409	15.620	34.893	한국남부	zone4
	60	녹유연목와	MR 9566	17.377	15.605	34.879	한국남부	zone4
	61	녹유연목와	MR 9840	17.400	15.621	34.921	한국남부	zone4
	62	녹유연목와	MR 10097	17.408	15.614	34.867	한국남부	zone4

2007년 분석된 익산 왕궁리와 미륵사지 출토 납유리의 납동위원소비는 당시 동북아시아 자료만을 활용하여 한국 남부로 산지를 추정하였다^{(도4)[10]}. 이번 연구에서는 KOPLID를 이용하여 한반도 남부지역 방연석 광산의 납동위원소비에 추정된 결과, 대부분이 경기육괴 서부지역으로 나타났다^(도1~3). 이는 <표1>에서 제시한 판별그룹에서 zone4에 해당되며 충청도 북부와 경기도 서부지역에 위치한다.

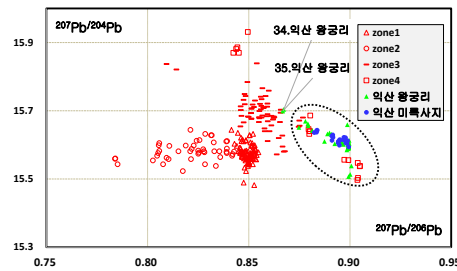
익산 왕궁리와 미륵사지 출토품은 납동위원소비의 대부분이 중첩되는 것으로 보아 당시 동일한 산지, 혹은 같은 재료를 이용하여 납유리와 유약이 제작되었을 것으로 생각된다. 특히, <표2>의 녹색()으로 표시된 시료는 왕궁리와 미륵사지가 서로 중첩되는 것으로, 각 유적의 층위와 제작시기를 정확히 파악할 수 있다면 밀접한 연관성을 찾을 수 있을 것이다. 익산 왕궁리의 34번, 35번은() <도1~3>에서 zone3(경기육괴 동부지역)지역으로 위치함을 확인할 수 있었다.



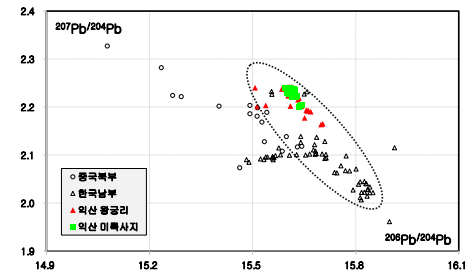
도1. KOPLID에 의한 산지추정 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



도2. KOPLID에 의한 산지추정 ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)



도3. KOPLID에 의한 산지추정 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



도4. 동북아시아에서의 산지추정 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

이는 2007년에 익산 왕궁리에서 출토된 도가니와 유리, 그리고 녹유도기에 대한 납동위원소비 분석에서 유리와 유약의 사용재료에 있어서 밀접한 관련이 있는 것으로 본 연구와 일치하는 결과이다. 또한, 미륵사지 출토품의 납동위원소비 분석결과는 이 두 유적에서 재료의 공유가 있었음이 본 연구에서도 확인되었다^[11].

3.2. 통일신라시대

통일신라 출토품은 영주 부석사, 경주 천룡사지, 포항 법광사지에서 출토된 녹유 와전은 2005년의 연구를 기초로 하여 작성하였고^[12], 경주 영묘사지^[13], 사천왕사지의 납동위원소비를 추가하였다^{(표3)[14]}. 중국과 일본에서 출토된 유물은 나라문화재연구소(奈良文化財研究所)와 하남성문물고고연구소(河南省文物考古研究所)에서 2011년에 공동 연구한 납동위원소비 데이터 값으로 동북아시아에서 납유리와 연유의 비교 연구를 위해 활용하였다^[15].

영주 부석사를 비롯한 경주 천룡사지, 영묘사지, 사천왕사지, 포항 법광사지에서 출토된 녹유와전 10점은 ‘한반도 남부지역 납동위원소비 분포도’를 이용해 산지추정한 결과, 부석사 2점과 사천왕사지 2점을 제외하고, 한국 남부지역 방연석에서 매우 벗어나 있어 이곳 산지는 아닌 것으로 추정되었다^(도5.6). 또한 동북아시아에서도 한국-중국-

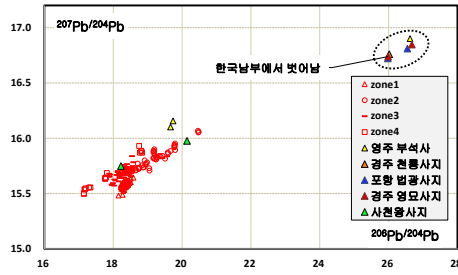
일본 중 어느 지역에도 위치하지 않았다^(57,8). 이는 동북아시아 외의 납동위원소비 분석 자료를 비교연구한다면 주변국과의 교류여부를 확인할 수 있는 중요한 자료로 판단된다. 최근 일본에서는 납동위원소비 연구로 태국 중부 깐파나부리주 송토(Song Toh)광산에서 수입한 연괴(Lead ingot)로 제작된 것을 밝힌바 있다^[16]. 국내에서는 통일신라 청주 윤천동 동종이 이와 유사한 사례로 다른 나라와의 교류를 제사하기도 하였다^[17].

한반도 남부로 추정되는 영주 부석사와 사천왕사지의 녹유와전은 zone2(옥천변성대 내 태백산분지, 영남육괴 북동부), zone3(경기육괴 동부)에 분포되어 있음을 확인되었다. 영주 부석사 출토 <녹유전> 2점은 zone2와 근접한 것으로 나타났다⁽⁵⁹⁾.

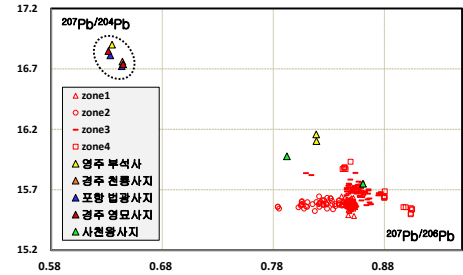
경주 사천왕사지 출토 <녹유신장벽전>과 <녹유능형전>은 KOPLID에서 zone2그룹과 zone3그룹으로 확실히 구분되어 위치하는 것으로 보아 동시기에 같은 가마에서 제작되었다고 보기는 어렵다⁽⁵¹⁰⁾. 이것은 후술하는 유약의 성분과 조성비율에서도 차이를 확인할 수 있는데⁽⁵⁵⁾, 서로 다른 시기와 지역에서 채취된 납으로 제작되었음을 반증하여 준다.

표3. 한·중·일 납유리 및 연유의 납동위원소비와 산치추정

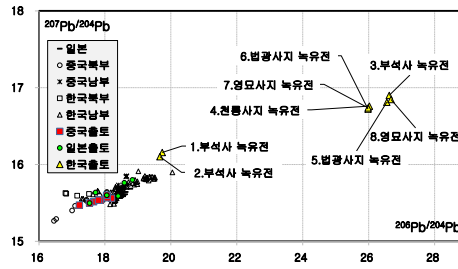
유적		시료 번호	유물명	납동위원소비			추정산지	KOPLID 영역
				²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb		
한국	영주 부석사	1	녹유전	19.738	16.157	40.258	한국남부	zone2 근접
		2	녹유전	19.667	16.102	40.082	한국남부	
		3	녹유전	26.625	16.900	41.601		
	경주 천룡사지	4	녹유전	26.021	16.760	41.318	동북아시아 에서 크게 벗어남	-
		포항 법광사지	5	녹유전	26.548	16.811		
	6		녹유전	25.980	16.722	41.199		
	경주	7	녹유전	25.985	16.738	41.251		
	영묘사지	8	녹유전	26.677	16.847	41.519		
		경주 사천왕사지	9	녹유신장벽전	20.146	15.976	39.156	한국남부
	10		녹유능형전	18.225	15.749	39.290	한국남부	zone3
중국 ^[15]	黃冶窯	11	삼채발	17.837	15.539	38.946	중국북부	-
		12	삼채반	17.855	15.537	39.235		
		13	삼채향로	18.049	15.596	38.420		
		14	삼채발	18.199	15.563	39.411		
		15	삼채호	18.069	15.567	39.211		
		16	황유집호	17.656	15.515	38.937		
		17	녹유호	17.223	15.472	38.126		
		18	삼채발	17.805	15.536	38.879		
일본 ^[16]	大安寺	19	삼채도침	17.534	15.498	38.030	중국북부	-
		20	삼채도침	18.054	15.601	39.436	한국남부	zone3
	飛鳥池	21	삼채호	18.399	15.596	38.502	일본	-
		22	삼채우	18.832	15.800	39.465	한국남부	zone2
		23	유리 도가니	18.407	15.596	38.494	일본	-
		24	유리 도가니	18.394	15.591	38.479	일본	-
		25	유리 도가니	18.402	15.591	38.483	일본	-
		26	녹유호	17.713	15.637	39.971	한국남부	zone4
	藤原京	27	녹유벼루	18.588	15.763	39.401	한국남부	zone3



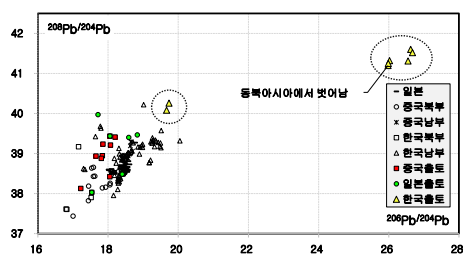
도5. KOPLID에 의한 통일신라 녹유와전의 산지추정
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



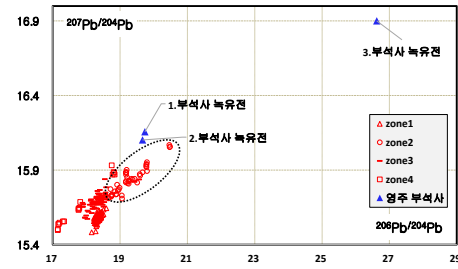
도6. KOPLID에 의한 통일신라 녹유와전의 산지추정
($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



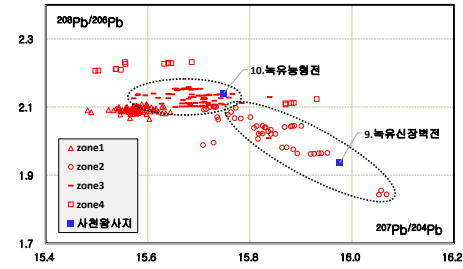
도7. 동북아시아에서 납산지추정
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



도8. 동북아시아에서 납산지추정
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



도9. KOPLID에 의한 영주 부석사 납산지추정
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



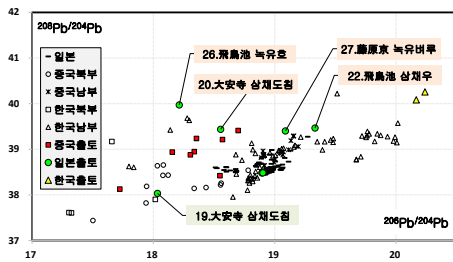
도10. KOPLID에 의한 경주 사천왕사지 납산지추정
($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)

한편, 신라 녹유의 추정산지와 비교연구를 위해 당시 동북아시아에서 제작된 납유리와 연유도기를 馬淵久夫의 동북아시아 납동위원소비에 대입하였다. 중국 황야요출토 삼채도기의 유약은 중국북부로 추정되고, 일본의 유리, 녹유 및 삼채도기는 일본을 비롯한 중국북부와 한국남부 등 3곳의 산지가 골고루 산출되었다^{(표3), (도7~8)}.

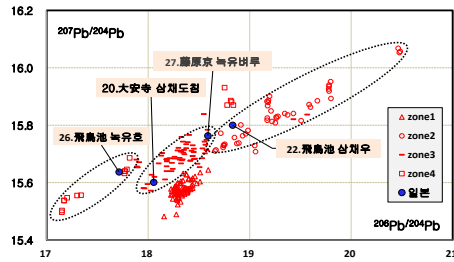
일본 출토품 가운데 한국남부 산지로 추정되는 시료에 대하여 KOPLID 분포도를 이용하였다^(도12). 그 결과 한국 남부로 판단되는 출토품은 다이안지(大安寺) 출토 NO.20 <삼채도침>, 아스카이케(飛鳥池) 출토 NO.22 <삼채우>, NO.26 <녹유호>와

후지와라쿄(藤原京) 출토 NO.27 <녹유벼루>로 나타났다^(도11). 이를 KOPLID의 zone 영역으로 구분하면 다이안지 출토 <삼채도침>은 zone3, 아스카이케 출토 <삼채우>는 zone2, <녹유호>는 zone4로 확인되었다^(도12). 그리고 후지와라쿄에서 출토된 <녹유벼루>는 zone3으로 확인되었다. 이 지역은 경상도 남부지역을 제외한 태백산광화대에 속하는 옥천변성대, 영남육괴로 주로 강원 남부~경북 북부에서 충청도와 전라도로 이어져 경기도 서부까지 펼쳐진 넓은 광맥에 속한다. 여기서 한 가지 흥미로운 사실은 아스카이케 출토 <삼채우>와 다이안지 출토 <삼채도침>이 중국에서 만들어져서 일본으로 수입된 것으로 현재까지 연구되었다^[15]. 이번 조사를 통해 한국 남부 산 납을 사용한 중국 제작용이 일본으로 건너간 것을 확인할 수 있으나, 이는 앞으로 중국 가마터 출토품과의 비교연구가 필요하다.

특히 백제에 비하여 통일신라 출토품은 납동위원소비 자료가 빈약하여 비교연구에는 한계가 있었으나, 한-중-일의 고고학적·미술사적 양식에 의한 기술교류나 제작양상을 기초적 연구에 있어 과학적 근거를 제시할 수 있었다는 것에 큰 의미를 갖는다.



도11. 일본 출토품의 [도8] 확대도
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)



도12. KOPLID에 의한 일본 출토품의 납산지 추정
($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

4. 납유리와 녹유의 화학조성

4.1. 삼국시대

백제는 납유리와 녹유가 시유된 와전과 도기를 제작하였다. 현재까지 성분분석에 대한 연구성과는 납유리에 집중되었기 때문에 유약의 화학분석이 미비한 상태이다. 본 연구에서는 백제의 납유리의 성분분석으로 당시에 제작양상을 검토하고자 하였다.

백제의 납유리는 익산 왕궁리와 미륵사지, 부여 쌍북리·관북리·부소산 등의 유적에서 유리 도가니와 함께 유리구슬, 판유리 등이 발견되었다. 본 연구의 대상은 익산 왕궁리와 미륵사지에서 출토된 유리의 화학조성을 분석한 결과이다^{(표4)[11,18]}.

표4. 익산 왕궁리 및 미륵사지 석탑 출토 납유리의 화학조성

유적명	유물명· 시료번호	분석 방법	화학조성(wt.%)									
			PbO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	Na ₂ O	K ₂ O
익산 왕궁리 ^[11]	유리	SEM-EDS	72.8	27.2	-	0.24	-	-	0.24	0.20	-	-
	유리	SEM-EDS	71.2	28.1	-	0.31	-	-	0.26	0.34	-	-
	유리	SEM-EDS	72.1	27.3	-	0.21	-	-	0.12	0.18	-	-
	유리	SEM-EDS	72.6	26.9	-	0.23	-	-	0.37	0.36	-	-
	유리	SEM-EDS	73.6	26.2	-	0.29	-	-	0.12	0.26	-	-
	유리	SEM-EDS	72.0	26.8	-	0.31	-	-	0.19	0.24	-	-
	유리	SEM-EDS	72.8	27.6	-	0.28	-	-	0.09	0.22	-	-
	유리	SEM-EDS	72.0	28.5	-	0.21	-	-	0.13	0.20	-	-
	유리	SEM-EDS	71.8	27.0	-	0.34	-	-	0.16	0.22	-	-
익산 미륵사지 석탑 ^[18]	MR-23	SEM-EDS	70.71	28.8	-	0.16	-	-	0.06	0.23	0.03	0.01
	MR-24	SEM-EDS	70.56	28.8	0.07	0.07	-	0.02	0.16	0.24	-	0.07
	MR-25	SEM-EDS	70.75	28.9	0.03	0.04	0.06	-	0.10	0.17	-	0.01
	MR-26	SEM-EDS	69.31	29.7	0.17	0.18	0.06	-	0.21	0.25	0.10	0.02
	MR-27	SEM-EDS	69.34	29.9	0.03	0.15	-	0.04	0.13	0.27	0.08	0.06
	MR-28	SEM-EDS	69.66	29.8	-	0.17	-	-	0.14	0.12	0.07	0.05

익산 왕궁리유적에서 출토된 유리 9점의 주요원소 성분분석결과는 PbO 71~72wt.%, SiO₂ 26~28wt.%를 비롯한 Al₂O₃, Fe₂O₃, CuO가 미량으로 확인되었다. 여기에 포함된 Al₂O₃과 Fe₂O₃은 불순물로서 연구되고 있다^{(표4, 도13)^[11]}.

익산 미륵사지석탑 사리공 출토 납유리 6점의 주요성분은 PbO 69~70wt.%, SiO₂ 28~29wt.%로 확인되었다. 이전에 조사된 미륵사지 출토 유리의 분석결과(2004년)는 PbO 70~77wt.%, SiO₂ 19~28wt.%로 PbO, SiO₂, Al₂O₃, CuO, Fe₂O₃의 성분만 확인되었으나^[19,20], 심초석 출토 납유리의 경우 CaO, MgO, MnO, Na₂O 등의 미량원소가 포함되었다^(표4, 도14).



도13. 익산 왕궁리유적 출토 유리 도가니 일괄



도14. 익산 미륵사지 출토 유리 도가니 및 유리일괄

백제와 같은 PbO 70wt.% 이상의 납유리는 7세기에 신라와 중국, 그리고 일본에서 공통적으로 확인된다. 경주 황남동 376번지 출토 유리 도가니 3점의 PbO 비율은 70wt.% 이상의 납유리로 알려져 있다^[19,20]. 그리고 중국 영하(寧夏) 고원사도락

(固原史道洛, 658년)묘와 고원사가담(固原史訶耽, 669년)묘 출토 〈유리육곡배〉는 71.49wt.%의 납이 검출되었다. 일본 후쿠오카현(福岡県) 무타카다시(宗像市) 미야지다케진자(宮地嶽神社) 출토 〈유리판〉의 성분 역시 PbO 74wt.%이다^[21].

이상을 통해 7세기에 동북아시아에서 제작된 유리는 납이 70wt.% 대의 고연유리(高鉛琉璃)였음을 알 수 있다. 현재까지 이러한 고연유리는 한나라와 수~당나라 초기에 존재하는 것으로 알려져 왔다^[21]. 그러나 최근 중국 안양(安陽) 북조(北朝)묘에서 출토된 연유도기의 화학조성은 PbO 71.99~73.23wt.%, SiO₂ 15.1~17.25wt.%의 높은 함량의 납이 검출되었기 때문에 그 시기를 좀 더 올려볼 수 있을 것이다^[22].

4.2. 통일신라시대

신라는 7세기부터 갈색과 녹색의 유약이 시유된 도기와 와전, 그리고 납유리를 제작하였다. 본 연구의 분석대상은 통일된 이후 경주 사천왕사지, 영묘사지, 천룡사지, 포항 법광사지, 영주 부석사에서 출토된 녹유와전으로, 다음 〈표5〉와 같은 분석결과가 확인되었다.

표5. 통일신라 녹유와전의 유약 화학조성

유적명	시료 번호	유물명	분석 방법	화학조성(wt.%)									
				PbO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	Na ₂ O	K ₂ O
경주 사천왕사지 ^[23]	SC001	녹유신장벽전	S	78.93	15.22	0.45	3.40	-	-	1.00	0.82	-	0.18
	SC313	녹유신장벽전	S	75.37	17.69	0.50	4.08	-	-	0.92	0.91	-	0.53
	SC003	녹유귀면와	S	64.12	26.60	-	5.59	-	-	2.19	0.68	-	0.71
	SC004	녹유귀면와	S	67.89	21.23	1.5	3.91	0.50	-	1.68	1.95	-	0.46
	SC002	녹유능형전	S	87.77	12.23	-	-	-	-	-	-	-	-
경주 사천왕사지 ^[14]	SC-A-3	녹유신장벽전	S	64.88	25.00	0.75	5.42	0.44	-	1.36	1.23	0.38	0.54
	SC-B-1	녹유능형전	S	74.10	24.84	-	-	-	-	-	1.07	-	-
	SC-B-2	녹유능형전	S	74.98	23.89	-	-	-	-	-	1.13	-	-
	SC-B-3	녹유능형전	S	75.79	21.90	-	0.33	-	-	-	1.98	-	-
경주 영묘사지 ^[13]	전1	녹유전	S	90.30	12.00	0.06	0.05	0.18	0.03	0.08	0.14	0.05	0.04
	전2	녹유전	S	90.10	12.20	0.04	0.01	-	0.04	0.11	0.11	0.05	-
경주 천룡사지 ^[12]	전	녹유전	S	74.20	25.60	-	0.09	0.12	0.01	0.14	0.10	-	-
포항 법광사지 ^[24]	전	녹유전	X	70.20	28.50	0.47	0.10	0.08	-	0.02	-	-	-
영주 부석사 ^[12]	1038	녹유전	S	73.90	25.50	-	0.06	0.06	-	0.04	0.09	0.02	0.04
	1039	녹유전	S	72.50	27.20	0.05	-	0.08	0.11	0.20	0.59	-	-
	1040	녹유전	S	80.00	19.20	0.01	-	0.08	-	0.13	0.13	0.33	-

*분석방법 S:SEM-EDS, X:XRF

통일신라의 경주 사천왕사지, 영묘사지, 천룡사지, 포항 법광사지, 영주 부석사 출

토 녹유와전의 주요성분의 화학조성은 PbO 64~90wt.%이며, SiO_2 12~27wt.%으로 확인된다.

이 가운데 사천왕사지에서 출토된 <녹유능형전(SC002, SC-B-1~3)>은 주요성분이 PbO , SiO_2 와 착색성분인 CuO 의 성분만 검출되어, 백제 왕궁리와 미륵사지에서 출토된 납유리와 성분조성이 유사한 순수한 납유리로 추정된다^(도15).

이를 분석한 국립문화재연구소와 국립경주문화재연구소에서는 이러한 현상을 매우 고순도의 원료를 사용하였음을 의미하며, 철이나 알루미늄이 포함된 모래가 아닌 고순도의 규사를 사용하였을 가능성을 제기하였다. 또한 경주 영묘사지 출토 <녹유전(도16)>과 같은 표면 백색의 유약풍화산물을 포함하고 있고, 두께가 1~20mm의 유약층의 내부에 녹색으로 확인되어 양자 간의 유사성을 지적한 바 있다^[23].



도15. <녹유능형전>, 통일신라, 너비 14.1cm
경주 사천왕사지 출토, 국립경주박물관소장



도16. <녹유전>, 통일신라, 너비 14.1cm
경주 영묘사지 출토, 국립경주박물관소장

그렇지만, <녹유능형전>은 동일유적에서 출토된 <녹유신장벽전(SC001, SC313, SCA-3)>과 <녹유귀면와(SC003, SC004)>의 주요원소와 성분의 비율이 다르게 확인되는 것이 주목된다. 국립경주문화재연구소에서 <녹유신장벽전(도17)>과 <녹유능형전>에 대한 제게르식의 분석결과(2018년), 양자 간에 나타난 유약의 성분이 확연히 구분되는 것으로 밝혀졌다. 이들은 전체적으로 PbO 의 성분이 높아 제게르식이 낮은 값이 확인되었다. <녹유능형전>은 유약의 용제로 작용하는 염기성산화물($RO+R_2O$)에 속하는 PbO 의 함량이 매우 높고, 중성산화물인 R_2O_3 의 함량에 영향을 미치는 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 성분이 검출되지 않은 특징을 지녔음이 조사된 바 있다^[14].



도17. <녹유신장벽전>, 통일신라
경주 사천왕사지 출토
국립경주박물관소장

5. 고찰 및 결론

본 장에서는 문헌기록과 자연과학 분석자료를 활용하여 한·중·일의 유약 제조방법을 유추해 볼 것이며, 지금까지의 연구를 종합적으로 검토하여 고대 납유리와 녹유의 특성을 고찰하겠다.

5.1. 문헌기록과 화학조성을 기초한 유약의 제조방법

현존하는 국내의 문헌자료에서는 녹유의 제조방법에 대한 기록이 확인되지 않는다. 다만, 8세기 전반 일본의 나라삼체에 대하여 제작과 유약에 관련된 기록이 남아 있어 녹유의 제조방법을 유추할 수 있을 것이다.

『造佛所作物帳』, 「統修 34卷」

用黑鉛	179斤,	熬得丹小 234斤
綠青小	17斤8兩,	丹和合料
赤土小	1斤4兩1升,	丹和合料
白石	60斤,	丹和合料
豬脂	1升,	鉛熬調度
鹽	2升7合,	鉛錯料
膠	2斤4兩,	鉛并綠青等和合料
紗	4尺,	丹篩料
紬	3尺,	石篩料
葛布	6尺,	土篩料

위의 문서는 『조불소장물장(造佛所作物帳: 이하 정창원문서)』으로天平 5년(AD733)부터 1년에 걸쳐서 고후쿠지(興福寺) 서금당의 축조에 관련된 기록으로 알려져 있다. 이 문서에는 삼채도기의 제작방법이 명시되었는데, 점토의 채취와 유약 제조법 등이 확인된다. 흑연은 금속인 납을 용해시켜서 산화한 것으로 연단(鉛丹: PbO)을 만든다. 이 연단과 화합하여 유리질을 만드는 재료로서 백석, 녹청, 적토, 소금, 아교가 사용되었는데, 백석은 규석으로 추정되고, 이들이 융합되어 납유리가 된다. 그리고 녹청(CuO)이 녹색, 적토(Fe_2O_3)가 갈색을 띠는 색조절제를 사용하여 투명유, 녹유, 갈유를 만들었을 것으로 연구되었다^[25].

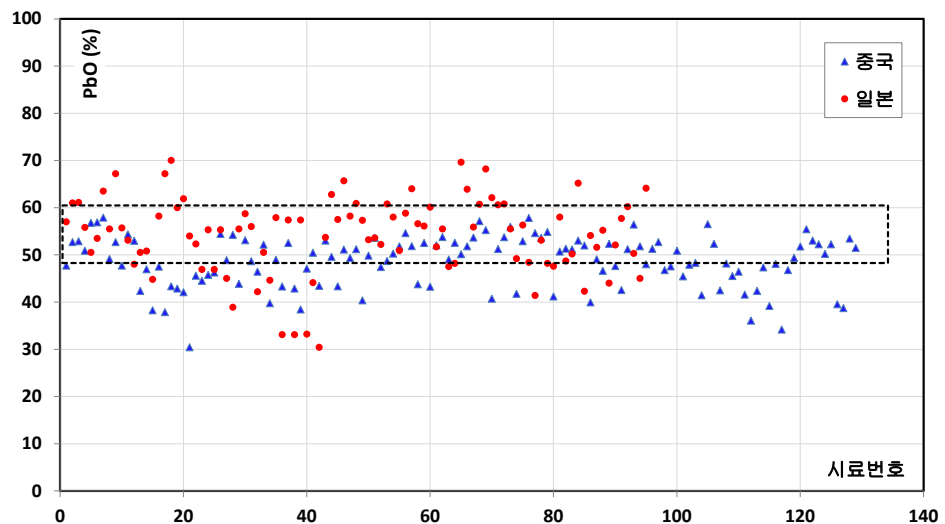
표 6. 造佛所作物帳에 기록된 삼채유약의 화학조성(wt. %)

구분 \ 화학조성	PbO	SiO ₂	CuO	Fe ₂ O ₃
투명유	56.0	44.0	-	-
녹 유	54.0	43.0	3.0	-
갈 유	55.8	43.9	-	0.3

일본의 아마자키 카즈오(山崎一雄)는 정창원문서를 이용한 유약의 재현실험하여, 다음 <표6>을 제시하였다. 문서에 기록된 연단, 백석, 녹청, 적토는 각각 PbO, SiO₂, CuO, Fe₂O₃로 가정하였다^[26]. 이 실험에서 삼채도기 유약의 성분분석 결과는 PbO 54~55.8wt.%로 확인되었다.

다음 <도18>은 중국과 일본에서 출토된 삼채와 녹유도기 유약의 성분분석 결과를 토대로 PbO의 함유량 분포도를 작성한 것이다. 중국 하남성(河南省) 공의요(鞏義窯)출토 7~10세기로 추정되는 129점의 연유도기의 유약에서 확인되는 PbO의 함유량은 30.43~57.13wt.%로 분포하였고, 평균값 48.56wt.%이다. PbO는 50wt.% 대 48%, 40wt.% 대 44%, 30wt.% 대 8%로 확인된다^[27]. 일본의 8~11세기에 만들어진 96점의 녹유도기 유약의 PbO는 30.4~70wt.%로, 평균값 52wt.%이다. PbO는 50wt.% 대 52%, 60% 대 22%, 40wt.% 대 18% 등으로 확인되었다^[26].

한편, 정창원문서에는 삼채를 제작하기 위해 흙과 나무를 채취하는 규모와 장소, 옮겨오는데 사용되는 수레의 규모와 인력의 임금 등을 명시하였지만, 유약에 주원료로 사용되는 납의 채취 장소에 대한 언급은 확인되지 않는다. 이번에 조사한 납의 방연석 산지분석은 중국의 하남성 공현요=중국 북부, 일본=일본, 백제=경기육괴 서부(zone4)로 확인되어, 대부분 유리와 유약을 제작하던 장소와 비교적 가까운 곳에서 납을 가져온 것으로 짐작된다.



도18 중국·일본 가마터 출토 연유도기의 PbO 함유량 분포도

하지만, 신라는 경주 사천왕사지와 영주 부석사를 제외하고, 동북아시아에서 벗어난 지역에서 납을 수입하였을 가능성이 높다. 또한 사천왕사지의 <녹유신장벽전>과 <녹유능형전>은 각각 다른 장소에서 납을 채취한 것으로 보이며, 동일시기에 같은 장소에서 만들어졌을 가능성이 낮은 것이다. 정창원문서에서는 삼채에 사용된 태토 채취 장소를 肩野로 기록하였는데, 이 지역은 현재 오사카부(大阪府) 가타시(郊野市)로 추정하고 있다. 이는 나라(奈良)에서 비교적 먼 지역에서 흙을 채취하였다는 점을 근거로 점토를 엄선하여 가져온 것이라는 연구되었다^[25]. 이러한 상황과 대조해 보았을 때, 통일신라의 녹유와전에 사용된 납이 한·중·일이 아닌 다른 나라에서 가져왔다는 결과는 당시의 수급상황 및 국제관계 등과 연결해 보아야 할 것이다.

이상의 결과를 통해 『조불소장물장』이 만들어진 시기에 유약의 납 함유량은 50wt.%대의 비율이 관찰된다. 이는 당시 기록으로 남기면서까지 유지하기 위해 노력하였던 것으로 짐작된다. 하지만 이 정창원문서는 일본의 나라삼채, 즉 도기의 성분과 품질을 유지하기 위해 작성된 것이지 와전의 화학조성까지 고려한 것은 아니다. 중국과 일본에서는 삼채와 녹유 등 도기에 성분분석이 활발하게 진행되었지만, 와전의 연구가 활성화되지 못하였다. 그리고 통일신라시대 녹유와전은 64~90wt.%의 납의 함유량이 높게 보였지만, 녹유 및 갈유도기에 대한 분석이 이루어지지 못한 한계가 있다.

5.2. 고대 납유리와 녹유의 특성

고대 동북아시아에서 제작된 납유리와 녹유의 특성은 다음 두 가지로 정리된다.

첫째, 백제와 신라, 그리고 중국과 일본에서 만들어진 납유리는 조성성분과 배합 비율 등의 제조 기술의 공유가 이루어졌을 것으로 판단된다. 이들 나라에서 출토되는 납유리의 주요원소 비율은 PbO 70wt.%, SiO₂ 30wt.%의 고연유리가 공통적으로 확인되었다. 그리고 중국의 당삼채를 모방하여 만들어진 일본의 나라삼채의 제작은 『조불소장물장』에 기록되어, 당시 일본의 당의 문물에 대한 인식을 엿볼 수 있다. 이 문서에는 유약에 사용되는 재료를 비롯하여, 근(斤), 량(兩), 승(升)의 도량형의 무게 단위까지 작성하여, 보다 정확하고 엄격하게 관리되고 있었음을 보여준다. 또한 중국과 일본의 가마터에서 출토된 삼채와 녹유 등 PbO 함유량의 분포도는 정창원 문서에 의거하여 나라삼채가 당삼채의 영향으로 제작되었음이 보여주는 자료이다.

둘째, 납유리는 유약의 제작과 관련이 있다. 현재까지 화학조성에 대한 데이터베이스는 매우 제한적으로 연구되어 납유리와 유약의 관계를 명확하게 밝히기는 어렵다. 그렇지만, 백제 익산 미륵사지와 왕궁리유적 출토 납유리, 유리 도가니, 유약에서 조사된 납동위원소비를 통한 산지분석을 하였을 때, 대부분 익산지역에서 멀리

떨어진 경기육괴 서부지역(zone4)과 일부 경기육괴 동부지역(zone3)에서 채취한 납을 가지고 와서 사용되었다는 점에서 당시 유리와 유약을 만들던 장인 간의 일정한 교류관계가 있었음을 유추할 수 있다.

그리고 납이나 유약을 녹이는 도구의 사용은 동북아시아에서 유약과 유리 제작기술의 교류가 이루어졌음을 뒷받침해 준다. 야마자키 카즈오는 정창원문서의 말미에 결여되어 없어진 부분을 연단이나 유약을 녹이는 도가니의 흙을 기재하였다고 주장하였는데, 그 근거로 포탄형의 도가니가 헤이제이쿠(平城宮)와 헤이안(平安)시대 녹유가마인 교토시(京都市) 미도리쿠마(緑区熊) 코시오가마(小塩窯), 나고야시(名古屋) 전길요(前吉窯) 등에서 출토되고 있음을 제시하였다^{(도19)[25]}. 이러한 도가니는 중국의 대표적인 삼채가마인 섬서성(陝西省) 장안 예천방요(長安醴泉防窯)에서 발견되었다. 국내에서는 녹유를 제작하였던 가마터의 발굴사례가 부족한 관계로 확인되지 않았지만, 백제의 익산 왕궁리와 미륵사지, 부여 관북리유적 등에서 출토된 유리 도가니 <도20>과 그 형태와 용례가 유사하다.



도19. <도가니>, 일본, 9C 高 10.7cm
石作窯 출토, 京都文化博物館 소장



도20. <유리 도가니>, 백제 高 15.8cm
익산 왕궁리유적 출토, 국립부여문화재연구소 소장

이상을 통해 동북아시아에서의 납유리와 녹유는 재료의 배합비율 즉, 납과 석영(SiO_2) 비율과 납의 산지, 그리고 유리를 제조하는데 사용되는 도가니의 유사성이 확인되어, 기술 공유와 함께 국제교류 관계의 영향에 대해 살펴볼 수 있는 중요한 자료이다.

본 연구는 직접적으로 실험이나 분석을 시행한 것이 아닌, 현재까지 개별적으로 진행된 분석자료를 토대로 한국을 비롯한 중국과 일본에서 출토된 유물에 이르기까지 비교 연구함으로써 종합적으로 검토하였다는 차원에서 의미가 있다. 다만, 본 연구의 논지가 전반적으로 인문학적 시각에서 보존과학의 분석자료를 활용하였기 때

문에 많은 한계가 있었을 것으로 짐작된다. 앞으로 분석자료의 축적과 활용과 함께 다른 학문과의 연계가 활발하게 이루진다면, 납유리와 녹유의 관계가 보다 입체적으로 드러날 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 표준국어대사전, 유리, <https://ko.dict.naver.com/#/entry/koko/ba9fd7e74f814545b132697232898f60> (2020년).
2. 이지희, *통일신라시대 연유도기 연구*, 충북대학교 고고미술사학과 석사학위논문, (2013).
3. 馬淵久夫, 平尾良光, 鉛同位體比法による漢式鏡の研究(2), *MUSEUM* **382**, p16~30, (1983).
4. Mabuchi, H., *The lead isotope systematics in Asia and near East*, p19, Grant Report to the Ministry of Education Science and Culture, Japan(No.58540374-59540377), (1985).
5. 馬淵久夫, 平尾良光, “東アジア鉛鑛石の鉛同位體比法”, *考古學雜誌* **73(2)**, p199-210,245, (1987).
6. 정연중 외, *한반도 방연석 광석 조사 및 납동위원소 기초연구*, p68-100, 국립문화재연구소, (2012).
7. Youn-Joong Jeong, Chang-sik Cheong, Dongbok Shin, Kwang-Sik Lee, Hui Je Jo, Mukesh Kumar Gautam, Insung Lee, Regional variations in the lead isotopic composition of galena from southern Korea with implications for the discrimination of lead provenance, *Journal of Asian Earth Sciences* **61**, p116-127, (2012).
8. 정연중, 정창식, 최정윤, 안유미, 한민수, 황진주, 김소진, 한반도 남부지역 금속광상의 납동위원소비 광역 분포도 작성, p319-366, *대한지질학회 학술대회*, (2015).
9. 金炫廷, 古代东亚细亚青铜器材料的使用与原产地问题, p175-193, 二届中韩考古研究生论坛 東北亞古代文化交流, 赤峰学院博物馆报告厅, (2019).
10. 김규호, 平尾良光, 한송이, 노제현, 김나영, 임덕수, *익산 왕궁리유적 관련 유리 및 坩堝의 납동위원소비*, p73-118, 왕궁의 공방Ⅱ-유리편, 국립부여문화재연구소, (2007).
11. 강형태, 정광용, 허우영, 김성배, 조남철, 익산 왕궁리유적 납유리의 성분조성과 납동위원소비, *한국상고사학보* **45**, p31-48, (2004).
12. 강형태, 정영동, 조재영, 김호상, 통일신라시대 녹유전돌(綠釉埴)의 녹유 특성- 분석사, 천룡사지 및 법광사지 녹유 전돌, *先史와 古代* **25**, p211-222, (2005).

13. 조남철, 허우영, 김호상, 강형태, 경주 靈廟寺址 녹유전의 녹유 특성, *호남고고학보* **27**, 호남고고학회, p129-142, (2007).
14. 국립경주문화재연구소, *사천왕사녹유신장벽전 복원 보고서*, 국립경주문화재연구소, (2018).
15. 奈良文化財研究所, 河南省文物考古研究所, 关于古代日本·中国铅釉陶器釉药的铅同位素比值测定, p148-152, 华夏考古, (2011).
16. 平尾良光 외, *大航海時代の日本と金屬交易*, p80-101, 思文閣出版, (2014).
17. 김현정, 김수기, 보물 제1167호 청주 윤천동 출토 통일신라 범종의 형태와 보존과학적 특성 고찰, *문화재* **40**, p357-386, (2007).
18. 한민수, 김소진, 익산 미륵사지 석탑 사리공 내 출토 고대 납유리 유물의 성분특성 분석, *한국광물학회지* **28**, p187-193, (2017).
19. 동국대학교 경주캠퍼스 박물관, *경주 황남동 376번지 통일신라시대 유적*, 동국대학교 경주캠퍼스 박물관, (2002).
20. 국립부여문화재연구소, *왕궁의 유리공방*, p10-71, 왕궁의 공방 II -유리편, 국립부여문화재연구소, (2007).
21. 谷一尚, *고대 유리의 제작과 전래*, p194-203, 백제 불교문화의 寶庫 미륵사-학술심포지엄 논문집, (2010).
22. 王洪敏, 潘伟斌, 朱铁权, *安阳北朝墓出土铅釉陶的分析研究*, 中国国家博物馆, (2011).
23. 이한형, 정민호, 문은정, 박지연, 김수경, 최장미, 한민수, 경주 사천왕사지 녹유전의 녹유 특성 연구, *문화재* **44-3호**, p112-131, (2011).
24. 문환석, 한민수, 황진주, 김호상, 浦項 法廣寺址 出土 綠釉瓦의 自然 科學的 調査, *古文化* **60**, p101-120, (2002).
25. 巽淳一郎, *日本の美術* **12**, 至文堂, (1985).
26. 山崎一雄, *綠釉と三彩の材料と技法*, p12-19, 日本の三彩と綠釉, 五島美術館, (1998).
27. 河南省文物研究員·中國文化遺產研究員·日本奈良文化財研究所, *鞏義黃冶窑*, 科學出版社, (2016).

미얀마 바간유적 파야톤주 사원벽화의 채색층 고착처리를 위한 님(Neem) 수지 적용 가능성 연구

A Study on Applicability of
Neem Resin as a Fixative on
the Painting Layer of Mural
Paintings from Payathonzu
Temple in Bagan, Myanmar

음소정¹, 이화수^{1,2,*}

¹건국대학교 회화보존연구소,

²건국대학교 조형예술학과

Eum Sojeong¹, Lee Hwasoo^{1,2,*}

¹Institute of Conservation of Paintings,
Konkuk University

²Department of Fine Arts,
Konkuk University

요약

미얀마 바간유적 파야톤주 사원벽화의 채색층은 다양한 요인으로 인해 손상이 발생된 상태이다. 본 연구에서는 미얀마 전통 접착제인 님(Neem) 수지를 대상으로 채색층 고착처리제로서의 적용 가능성을 확인하였다. 대조군으로 소아교와 Paraloid B-72를 선정하였으며, 원 벽화와 유사한 조건의 의사시료를 제작하여 고착제 도포 전·후 및 열화실험에 따른 변화양상을 확인하였다. 연구 결과, 님 수지는 농도가 높아짐에 따라 표면의 얼룩, 황변, 광택 등의 변화가 다른 고착제에 비해 크게 나타났으나, 4% 조건에서는 비교적 적은 변화가 확인되었다. 색도 및 광택도 역시 고착제 도포 전·후로 변화폭이 큰 것으로 확인되나, 다른 농도와 비교했을 때 4% 농도에서 낮은 경향이 확인되었다. 또한 고착강도의 경우, 님 수지의 농도가 높아짐에 따라 다른 고착제에 비해 비탄질층 및 채색층에 대한 고착 능력이 전반적으로 우수한 점을 알 수 있었다. 따라서 환경요인에 따른 적은 표면변화, 낮은 색차 및 광택도, 우수한 고착강도의 특성들을 보았을 때 님 수지 4%의 조건에서 채색층 고착 처리제로서의 적용 가능성을 확인할 수 있었으며, 이는 향후 파야톤주 사원벽화 보존처리를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어 : 사원벽화, 채색층, 고착제, 님 수지, 보존

Abstract

The painting layer of Payathonzu temple mural paintings in the ruins of Bagan Myanmar has been damaged due to various reasons. In this study, the applicability of Neem resin, a traditional Myanmar adhesive, as a fixative on the painting layer was examined. Cow glue and Paraloid B-72 were selected as fixatives in the comparison group, and pseudo-specimens with conditions similar to the original mural paintings were produced to examine the changes before and after applying the fixatives and according to the deterioration experiments. As a result of conducting the experiments and comparing the fixatives, it was found that changes on the surface such as smudge, yellowing and gloss are greater with the application of higher concentration of Neem resin than with other fixatives. However, such changes were relatively small under the condition of 4% concentration. It was also confirmed that chromaticity and glossiness vary greatly between before- and after-application of the fixatives but that such discrepancies tend to decrease at 4% concentration compared to other concentrations. As for fixation strength, it was found that the fixation capacity of Neem resin on the base and painting layers is overall higher than other fixatives as the concentration is increased. Therefore, the applicability of 4% concentration of Neem resin as a fixative on the painting layer was confirmed considering the low surface changes according to environmental factors, low color discrepancy and glossiness, and characteristics of excellent fixation strength. It is believed that the findings of this study could be used as basic data for the preservation of Payathonzu temple mural paintings in the future.

Keywords : Mural Painting, Painting Layer, Fixative, Neem Resin, Conservation

* Corresponding Author:
Lee Hwasoo

1. 머리말

미얀마 바간(Bagha)에 위치한 파야톤주(Payathonzu) 사원은 13세기에 조성되었으며, 세 개의 사원(#477, #478, #479)이 나란히 연결된 구조이다^[51]. 2018년 손상 상태 조사에 의하면, 파야톤주 사원벽화는 벽체의 균열, 층간분리, 유실 등의 손상이 진행되고 있으며, 채색층의 경우 균열 및 박리·박락, 분말화 손상이 발생한 상태로 조사되었다^[52]. 또한 여러 차례 행해진 과거 고착처리에 의한 손상으로 과도한 광택과 변색, 채색층 박리의 손상이 나타나는 것으로 확인되었다^{[1][2]}. 파야톤주 사원벽화는 건기와 우기가 반복되는 환경에 의해 이후 채색층 손상이 더욱 심화되어 나타날 것으로 예상되며, 앞으로의 장기보존에 영향을 받을 것으로 조사되었다^[1]. 따라서 열화로 인해 채색층의 약해진 결속력을 높여주어 손실 위험을 예방하고자 채색층 고착처리가 필요하다. 2019년 분석결과에 의하면, 파야톤주 사원벽화의 채색층 제작에 님(Neem)이 전색제로 사용된 것이 확인되었다^[2]. 님은 동남아시아권 미얀마에서 전통적으로 사용되어오는 수용성 접착제이며, 미얀마 바간 지역의 사원 및 탑 조성 시 벽화의 전색제로 사용된 것으로 전해진다^[1]. 파야톤주 사원벽화의 손상된 채색층의 보존을 위해 고착처리가 필요하나 우선적으로 적용재료와 대상에 대한 효과 및 안정성이 검증되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 파야톤주 사원벽화 채색층의 전색제로서 사용된 님 수지를 이용하여 채색층 고착 처리 시 나타나는 효과와 기능을 파악하고, 파야톤주 사원벽화 채색층 고착처리제로서 님 수지의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.



도1. 미얀마 파야톤주 사원벽화



도2. 채색층 손상상태 현황

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

파야톤주 사원벽화 채색층 전색제 분석결과^[2]를 토대로 채색층에 사용된 바간 전통 접착제인 님 수지(N: Neem Tree Resin, Myanmar)와 회화 문화재의 제작 및 보존처리에 대표적으로 사용되는 천연 동물성 접착제 소아교(C: Cow glue, 鳳凰, Japan), 그리고 벽화 채색층 고착처리에 널리 적용되었던 아크릴계 수지(P: Paraloid B-72, Rohm and Haas, USA)를 고착제로 선정하여 고착제로서의 기능을 비교하고자 하였다^(도3). 본 연구에서 선정한 농도는 보존처리 시 사용하는 농도를 고려하여 고착제별로 설정하였으며, 다음과 같다^(표1).

표1. 선정한 고착 재료 및 농도

No	Fixative agent material	Concentration			Solvent
		Low	Medium	High	
1	Neem Resin	4%	7%	10%	Water
2	Cow glue	2%	3%	5%	Water
3	Paraloid B-72	2%	4%	7%	Toluene

2.2. 의사시료 제작

파야톤주 사원벽화에 대한 재질분석 결과에 따르면, 마감층은 주로 칼슘(Ca) 성분과 석영(Quartz), 방해석(Calcite) 등이 확인되어 석회와 모래로 이루어져 있으며, 입도분석 결과, 중립사 이상 48%, 세립사 이하 극세립사 이상 37%, 실트 이하 15%의 혼합비가 확인되었다^[2,3]. 마감층과 채색층 사이에 백색의 바탕칠층이 확인되었으며, 바탕칠층은 석고(Gypsum, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)와 백운석(Dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 성분이 검출되어 석고가 사용된 것으로 확인되었다^[2]. 사원벽화의 채색에는 적색, 백색, 흑색, 황색, 녹색이 확인되며, 채색에 주로 사용된 적색의 경우 황화수은계통(HgS)의 성분을 가진 진사임이 파악되었다^[2,3]. 분석결과를 토대로 석회(Baekkwang Mineral Products Co., Ltd., Korea)와 모래(Namkaung Silica Sand Co., Ltd., Korea)를 원 벽체와 유사하게 1:4의 비율로 혼합하여 95x95x10mm의 Petri-dish에 벽체를 제작한 후 상온에서 5일간 자연 건조하였다. 바탕칠은 석고(Samwoo Co., Ltd., Korea)로 2회 칠하였으며, 채색은 파야톤주 사원벽화에 대표적으로 사용된 안료인 진사(Cinnabar, Kail Art, Korea)를 2회 칠하여 채색층 여부에 따른 비교를 하고자 하였다. 고착제는 에어브러쉬를 이용하여 약 14ml 도포하였으며, 제작된 의사시료는 다음과 같다^(도4, 표2).



도3. 님 수지, 소아교, Paraloid B-72



도4. 제작된 의사시료

표2. 제작된 의사시료 분류

No	Sample Group	Sample Name	Sample Condition		Fixative Agent	Concentration (%)
			Ground Layer	Painting Layer		
1	White (Group-W)	WN4	Gypsum (CaSO ₄)	-	Neem Resin	4
2		WN7				7
3		WN10				10
4		WC2			Cow glue	2
5		WC3				3
6		WC5				5
7		WP2			Paraloid B-72	2
8		WP4				4
9		WP7				7
10	Red (Group-R)	RN4	Gypsum (CaSO ₄)	Cinnabar (HgS)	Neem Resin	4
11		RN7				7
12		RN10				10
13		RC2			Cow glue	2
14		RC3				3
15		RC5				5
16		RP2			Paraloid B-72	2
17		RP4				4
18		RP7				7

2.3. 고착제 적용 가능성 평가

고착제의 높은 점도로 인해 표면에 잔류될 경우, 환경요인에 의해 열화 되어 박리 및 박락, 변색 등의 물리적 손상으로 이어질 수 있으며^[3], 고착제의 pH 수치에 따라 적용되는 대상에 영향을 주어 재료의 열화를 촉진시키므로, 중성에 가까운 고착제가 안정성이 높다. 이에 파야톤주 사원벽화 채색층의 고착제로서 적합한 특성을 지니는지 확인하기 위해 고착제별 점도 및 pH 측정을 통한 물성평가를 진행하였다. 또한 원 벽화와 유사한 시료를 제작하여 표면관찰, 색도 및 색차, 광택도, 고착 강도

테스트의 평가를 통하여 고착제로 인한 변화 및 기능에 대한 적용성 평가를 실시하였다. 평가는 환경요인에 의한 영향을 확인하기 위하여 고착제 도포 전·후, 열화 후 조건의 결과를 통해 비교 평가하였다.

1) 물성평가

고착제 농도 별 점도와 산성도를 파악하기 위해 점도계(DV2T, Brookfield, USA)와 pH 미터계(P15, iSTEK, Korea)를 이용하여 물성을 파악하였다.

2) 표면관찰

고착제 도포 전·후, 열화 후 시료의 표면 상태를 육안조사 및 실체현미경(SMZ800N, Nikon, Japan) 80배율을 통해 변화양상을 관찰하였다.

3) 색도 및 색차

고착제 도포 및 열화에 따른 채색층의 색상 변화를 보고자 색도계(CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 색도 측정을 실시하였으며, 색도 값은 5지점을 측정 후 평균값을 산출하였다. 각 고착제의 도포 전 색도 값을 기준으로 고착제 도포 후 색차 값의 색차를 구하였다. 또한 고착제 도포 후 색도 값을 기준으로 열화 실험 후 색도 값의 색차(ΔE^*ab)를 산출하였다.

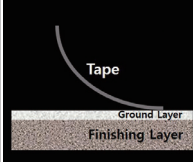
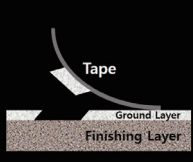
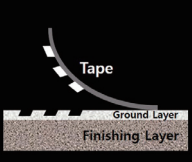
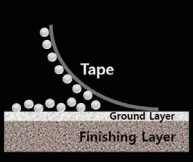
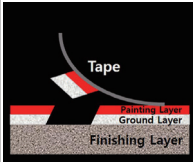
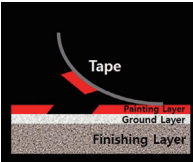
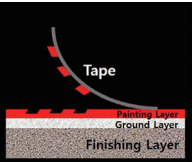
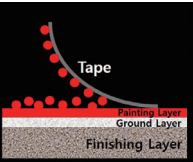
4) 광택도

광택도 측정기(Micro-tri-gloss, BYK, Germany)를 사용하여 서로 다른 5지점의 평균값을 산출하였으며, 도포 전·후 및 열화 후 모두 동일한 지점에 3회씩 반복하여 측정하였다. 평가로부터 도출된 측정값은 표준 광택도 측정각인 60° 의 측정값이 10 이하이므로 85° (저광택)의 측정각을 기준으로 평가하였다.

5) 고착 강도 테스트

고착 강도를 파악하고자 Cross-cut Tape Test를 이용하였으며, 시험 후 평가는 ASTM D3359-97 기준을 참고하여 실시하였다. 3mm 간격으로 격자를 낸 후 테이프(Scotch tape 610-1PK, 3M, USA)를 이용하여 시험하였다. 고착 강도는 A-B-C-D 등급으로 나누어 우수한 상태를 평가하였다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

표3. Cross-cut Tape Test 등급 상태 분류

Type	State			
	A	B	C	D
Group-W				
Group-R				

2.4. 열화 시험

고착제 도포 후 흡습건조 및 자외선 촉진 열화 시험을 통해 고착제 조건별 내후성을 파악하였다. 바간 지역의 건기와 우기 온·습도를 토대로, 흡습건조 열화를 위해 항온항습기(LVO-3060, Daihan Labtech, Korea)를 이용하였으며, 자외선 열화를 위해 촉진 내후성 시험기(QUV/se, Q-LAB, USA)를 사용하였다. 열화 시험 조건은 다음과 같다^(표4).

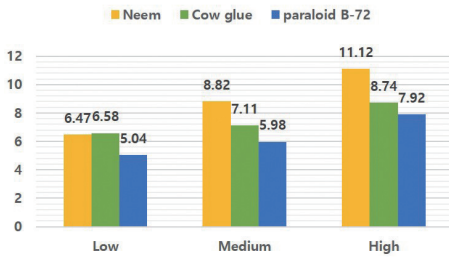
표4. 열화 시험 조건

Experiment	Condition	Period
Wet-Dry Aging	RH 20%, 60℃, 10hr	336 Hours (14 days)
	RH 95%, 50℃, 10hr	
U.V Aging	UV-A 340nm 0.68 W/m ²	336 Hours (14 days)

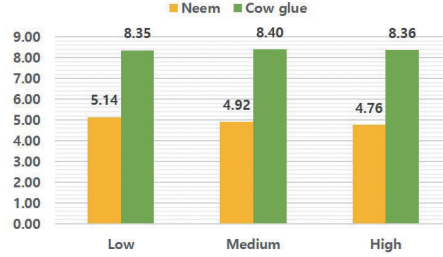
3. 결과

3.1. 물성평가

물성평가 결과, 저농도에서 N과 C의 점도가 비슷하나 농도가 높아짐에 따라 N의 농도가 월등히 높아지는 것이 확인되었다^(도5). 또한 수용성 매제를 사용한 고착제의 pH에서 N은 약산성, C는 약염기성을 띠는 것으로 파악되며, 특히 N의 경우 농도가 높아짐에 따라 산성도가 높아지는 경향이 확인된다^(도6).



도5 점도 측정 결과



도6. pH 측정 결과

3.2. 표면관찰

표면관찰 결과, W 그룹 중 C, P에서 고착제 도포 전·후의 큰 표면변화는 관찰되지 않았으나, N10에서 일부 황색을 띠는 것이 확인되었다. 또한, 흡습건조 및 자외선 열화 후, 모든 시료에서 미세균열이 나타났으며, 일부 매끈했던 표면이 고르지 않게 열화되는 변화가 관찰되었다.

R 그룹은 고착제 도포 후 농도가 높을수록 N과 C에서 얼룩, 광택, 색상 질어짐 등의 변화가 관찰되었다. 반면, P는 미세한 광택이 관찰되는 것 외에는 도포 전과 유사하였다. 흡습건조 및 자외선 열화 후 W 그룹과 유사한 변화양상이 관찰되나, 흡습건조 열화 후에는 표면에서 관찰되던 고착제의 얼룩이 확인되지 않았다^(45,6).

표5. 흡습건조 열화 시험 표면관찰 결과

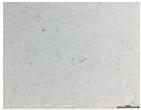
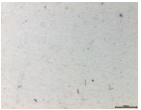
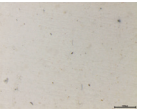



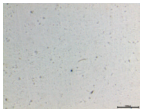
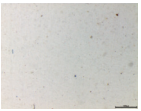
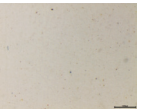



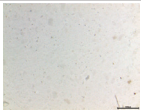
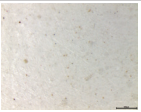
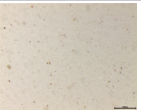

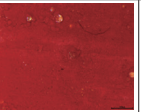
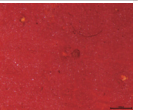
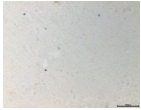
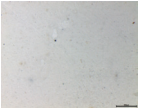
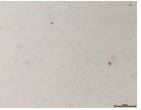



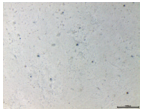
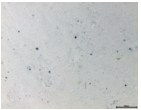
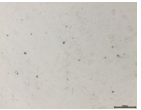



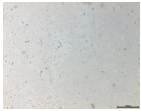
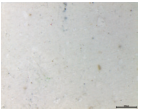
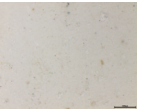



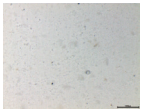
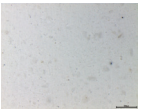
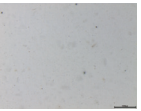




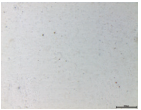
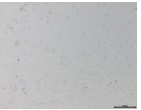



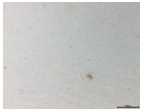
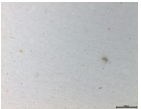
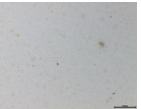



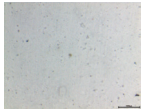
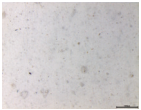
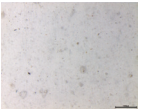


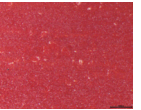
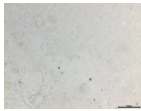
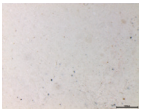
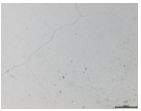



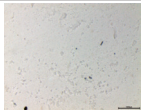
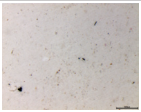
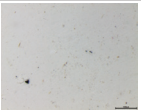


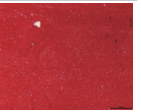
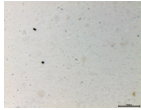
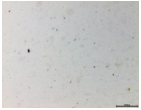
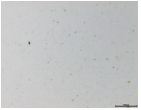



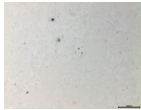
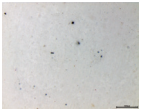
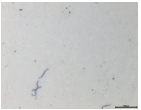



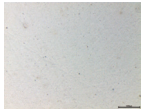
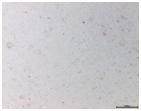




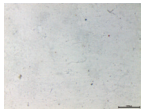
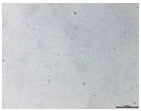




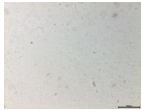
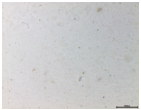
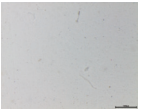

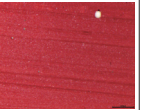

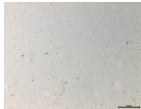
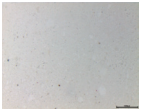




	Group-W			Group-R		
	Before	Applied	After Aging	Before	Applied	After Aging
N4						
N7						
N10						
C2						
C3						
C5						
P2						
P4						
P7						

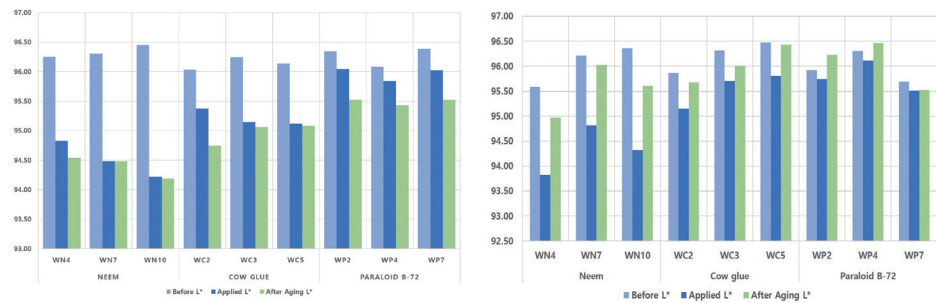
표 6. U.V 열화 시험 표면관찰 결과

	Group-W			Group-R		
	Before	Applied	After Aging	Before	Applied	After Aging
N4						
N7						
N10						
C2						
C3						
C5						
P2						
P4						
P7						

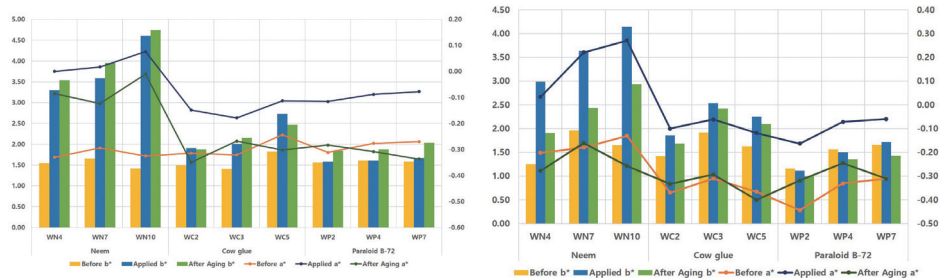
3.3. 색도 및 색차

W 그룹 색도 측정결과, 고착제 도포 후 전반적으로 ΔL^* 값이 낮아지는 양상이 확인되었다. 흡습건조 열화 후 ΔL^* 값이 더 낮아진 반면, 자외선 열화 후 ΔL^* 값은 높아졌다⁽⁵⁷⁾. 또한, 고착제 도포 후 Δa^* , b^* 값 모두 높아지는 양상을 보인다. 흡습건조 열화 후 Δa^* 값 하락, Δb^* 값이 상승하였으며, 자외선 열화 후 Δa^* , b^* 값 모두 하락하였다⁽⁵⁸⁾. 고착제 도포 후 색차 값은 N>C>P 순으로 높았으며, N은 ΔE^*_{ab} 2.28~3.91 전후로 비교적 큰 색상 차이가 발생하였다. 도포 후와 비교한 흡습건조 열화 후 색차 값은 P>N>C, 자외선 열화 후 색차 값은 N>C>P 순으로 높게 측정되었다⁽⁵⁷⁾.

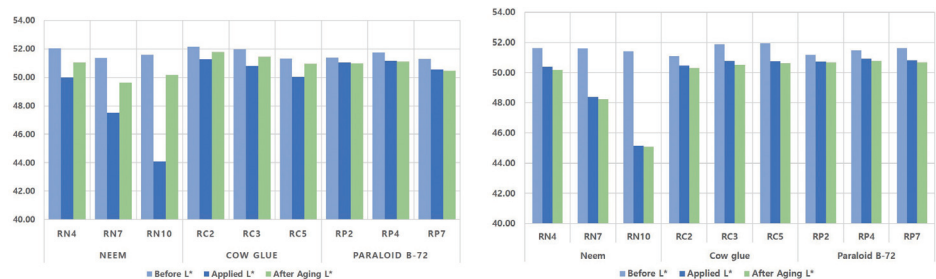
R 그룹의 경우, 고착제 도포 후 ΔL^* 값이 낮아지는 양상으로 측정되며, 흡습건조 열화 후 ΔL^* 값이 높아지는 반면, 자외선 열화 후는 ΔL^* 값이 낮아진다^(도9). 또한, 고착제 도포 후 C의 Δa^* , b^* 값이 하락하는 양상이 확인되었다. 흡습건조 열화 후 N의 Δa^* , b^* 값만 하락 하였으며, 자외선 열화 후 모든 고착제의 Δa^* , b^* 값이 낮아졌다^(도10). 고착제 도포 후의 색차 값 및 도포 후와 비교한 열화실험 후의 색차 값 모두 $N>C>P$ 순으로 높게 측정되었다. 고착제 도포 후 N은 ΔE^*ab 1.45~11.61 전후로 상당히 폭넓은 범위로 색상 차가 발생하였다. 열화 후 P는 농도가 높아짐에 따라 색차가 적어지는 양상이 확인된다^(표7).



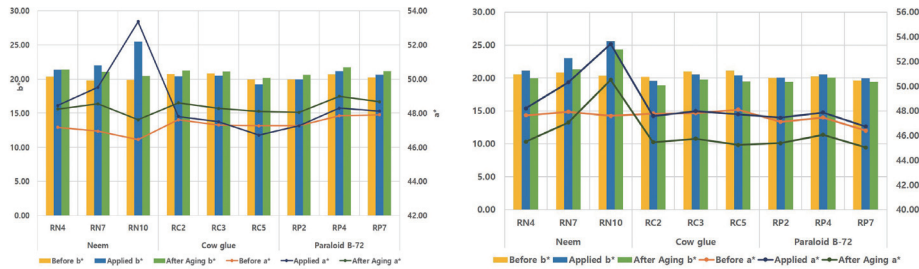
도7. Group-W의 ΔL^* 값 측정결과 (좌: 흡습건조 열화시험, 우: U.V 열화시험)



도8. Group-W의 Δa^* , b^* 값 측정결과 (좌: 흡습건조 열화시험, 우: U.V 열화시험)



도9. Group-R의 ΔL^* 값 측정결과 (좌: 흡습건조 열화시험, 우: U.V 열화시험)



도 10. Group-R의 Δa^* , Δb^* 값 측정결과 (좌: 흡습건조 열화시험, 우: U.V 열화시험)

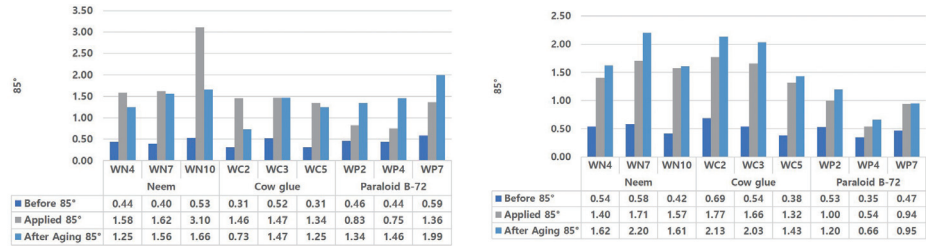
표 7. 고착제 적용 및 열화 실험에 따른 색차(ΔE^*ab)

Group-W	Applied	After Aging (Wet-Dry)	Applied	After Aging (U.V)	Group-R	Applied	After Aging (Wet-Dry)	Applied	After Aging (U.V)
WN4	2.28	0.39	2.48	1.60	RN4	2.62	1.06	1.45	2.93
WN7	2.68	0.39	2.21	1.74	RN7	5.16	2.52	4.57	3.67
WN10	3.91	0.17	3.24	1.84	RN10	11.61	9.76	10.01	3.15
WC2	0.80	0.66	0.88	0.59	RC2	0.96	1.25	0.87	2.26
WC3	1.26	0.19	0.90	0.39	RC3	1.25	1.18	1.20	2.39
WC5	1.37	0.32	0.96	0.71	RC5	1.55	1.89	1.44	2.66
WP2	0.35	0.61	0.34	0.53	RP2	0.34	1.05	0.55	2.16
WP4	0.31	0.54	0.33	0.42	RP4	0.87	0.92	0.74	1.87
WP7	0.42	0.67	0.31	0.39	RP7	0.88	0.74	0.92	1.79

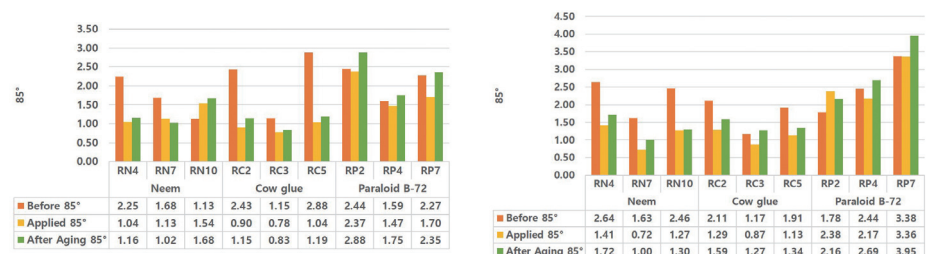
3.4. 광택도

광택도 측정결과, W 그룹은 고착제 도포 후 광택도가 약 2배 이상 증가하였다. 흡습건조 열화 후 N과 C의 광택도가 감소하였으며, 자외선 열화 실험 후 대부분의 조건에서 광택도가 증가한 양상이 나타난다. 흡습건조 열화시험 결과, 열화 전·후 광택도의 변화량에 있어 N10과 C2, P조건이 비교적 높으며, N10과 C2 경우 약 2배 이상 광택도가 감소하나 P조건의 경우 증가 된다. 자외선 열화시험 결과, 열화 전·후 광택도의 변화량을 비교해보았을 때, P>C>N 순으로 광택도의 변화가 적은 것으로 확인된다^(도11).

R 그룹에 대한 광택도 측정결과, W 그룹과는 반대로 고착제 도포 후 대부분의 조건에서 광택도가 감소하였으며, 흡습건조 및 자외선 열화 시험 후 대부분 시료의 광택도는 증가되는 양상이 관찰된다. 흡습건조 열화시험 결과 P>N>C순으로 광택도가 높았으며, 열화 전·후 광택도의 변화량은 P>N>C로 확인된다. 자외선 열화시험 결과, P>C>N 순으로 광택도가 높았으며, 열화 전·후 광택도의 변화량을 비교해보았을 때, P의 변화량이 비교적 높고 N, C는 유사한 것으로 판단된다^(도12).



도 11. Group-W의 85° 광택도 측정 결과 (좌: 흡습건조 열화시험, 우: U.V 열화시험)



도 12. Group-R의 85° 광택도 측정 결과 (좌: 흡습건조 열화시험, 우: U.V 열화시험)

3.5. 고착 강도 테스트

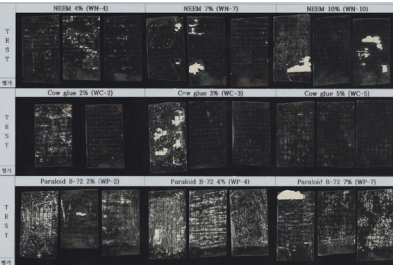
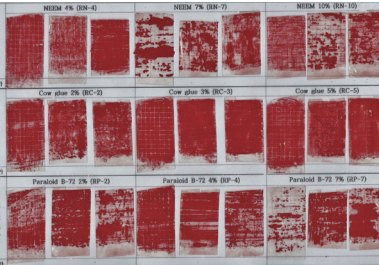
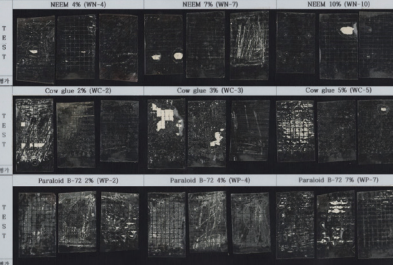
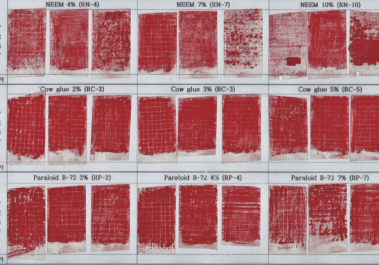
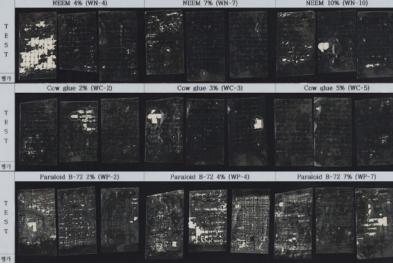
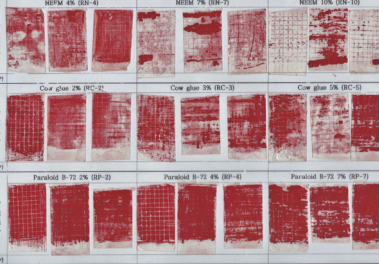
고착제 조건별 고착 강도 평가결과, 열화 전 W 그룹의 N과 C 조건은 고착제의 농도가 높을수록 우수한 고착 강도를 가지는 양상을 보인다. 흡습건조 및 자외선 열화 후에도 농도가 높을수록 우수한 고착 강도를 지나자외선 열화에 비해 흡습건조 열화 조건에서 고착 강도가 저하되는 양상이 확인된다.

열화 전 R 그룹의 경우, W 그룹과 동일한 고착 강도 양상을 보이나, 석고 분말에 비해 진사 안료의 고착 강도가 다소 낮은 것으로 확인된다. 또한 열화 후의 고착 강도 역시 W 그룹과 동일하게 흡습건조 열화조건에서 저하되는 경향이 나타난다^(표8,9).

표 8. 고착 강도 테스트 결과

				Fixation Force : A>B>C>D			
Group-W	Applied	After Aging (Wet-Dry)	After Aging (U.V)	Group-R	Applied	After Aging (Wet-Dry)	After Aging (U.V)
WN4	B	A	B	RN4	C	B	B
WN7	A	A	A	RN7	B	B	A
WN10	A	A	A	RN10	B	B	A
WC2	B	C	A	RC2	C	D	B
WC3	A	B	A	RC3	D	D	B
WC5	A	C	A	RC5	D	D	B
WP2	C	C	C	RP2	B	C	C
WP4	C	D	C	RP4	B	C	C
WP7	C	C	B	RP7	B	B	C

표9. 고착 강도 테스트 결과

	Group-W	Group-R
Applied		
After Aging (Wet-Dry)		
After Aging (U · V)		

4. 고착 및 결론

본 연구에서는 미안마 바간유적 파야톤주 사원벽화와 유사한 조건으로 제작한 의 사시료를 토대로 물성 평가 및 적용성 평가 과정을 통해 채색의 전색제로 사용된 님(Neem) 수지의 채색층 고착 처리제로서의 적용 가능성을 확인하였다.

고착제 도포 전·후 및 열화 후에 따른 표면변화는 님 수지>소아교>Paraloid B-72 순으로 크게 나타났다. 님 수지는 농도가 높아짐에 따라 표면의 황변, 얼룩, 광택 등의 현상이 변화가 두드러지게 나타났으나, 4%에서 비교적 변화의 정도가 적은 것으로 확인되었다.

고착제 농도별 점도 측정 결과, 고착제 별 점도는 표면관찰 결과와 동일한 순으로 나타났다. 이를 통해 고착제 농도에 따른 표면변화의 차이는 점도에서 기인한 것으로 판단된다. 점도가 높을 경우, 고착제의 침투력을 저하시켜 채색층의 공극 사이에 들어가지 못함으로 표면 위에 잔류되며, 고스란히 채색층의 색상변화 및 광택 또는 얼룩 등의 표면변화를 유발할 것으로 판단된다^[4]. 또한 님 수지는 Red 그룹의 일부

에서 고착제 도포 후 생성된 얼룩이 흡습건조 열화실험 후에 대부분 확인되지 않았다. 이는 시료가 흡습건조를 반복하는 과정에서 수분이 채색층 표면에 흡착되고, 이 수분으로 인해 응집되어있던 고착제가 다시 시료 내부로 확산된 결과일 것으로 판단된다. 이 과정에 의해 시료 표면에 요철이 생성되고 건조해지는 변화가 나타나는데, 이는 님 수지와 소아교에서 유사한 경향으로 관찰된다. 이러한 결과는 수용성 매제를 지닌 고착제의 특성에 의한 것으로 보여진다.

다음으로 고착제 도포 후 및 열화 후의 도출한 색차 값(ΔE^*ab)에 따르면, 님 수지>소아교>Paraloid B-72 순으로 색상변화가 큰 것으로 확인되었다. 이는 표면관찰과 유사한 결과로 고착제 농도가 높아짐에 따라 변화가 커지는 양상을 보인다. 님 수지의 경우, 10% 농도에서 색차 값(ΔE^*ab)이 약 12까지 높아지는 것으로 보아 환경변화로 인한 색상의 변화가 클 것으로 예측되나, 4% 농도에서 색차 값이 약 3 이하를 지나는 것을 보았을 때 비교적 색상 변화가 적을 것으로 파악된다.

광택도 측정결과, 광택도 값의 경향은 고착제의 고유특성 외에도 고착제가 적용되는 대상과 열화조건에 따라서도 차이가 있음을 확인하였다. White 그룹의 경우, 고착제 도포 후의 광택도가 증가하나, Red 그룹의 경우 대부분 감소하는 양상이 나타났다. 열화실험 후, White 그룹은 고착제 도포 후에 비해 광택도가 증가하는 양상이나, 흡습건조 열화의 님 수지와 소아교의 경우 광택도가 감소되었다. 이는 흡습건조 열화 시 수분 영향에 의해 수용성 매제가 지닌 용해 특성에 기인하는 것으로 판단된다.

고착 강도 테스트 결과, White 그룹에서는 님 수지>소아교>Paraloid B-72 순으로 우수하였으며, Red 그룹에서는 님 수지>Paraloid B-72>소아교 순으로 우수하였다. 이를 통해 님 수지의 고착 강도가 매우 높은 것을 파악할 수 있었으며, 농도가 높아질수록 고착강도 역시 증가되는 것을 확인하였다. 반면, 고착강도가 강할수록 적용된 고착제의 장력과 응집력으로 인해 바탕칠층 및 채색층이 고착제와 같이 떨어질 가능성을 배제할 수 없으며, 적용 대상에 고농도의 고착제를 사용할시 직접적인 영향을 받을 수 있음을 고려해야한다.

실험 결과를 종합해보면, 님 수지는 농도별 점도에 기인한 고착제의 표면 잔류도와 그로인한 광택 및 얼룩 등의 표면변화, 색도 및 광택도의 높은 변화폭 등이 확인되는 결과를 고려했을 때, 4% 농도가 비교적 적은 표면변화와 낮은 색차를 지니고 있으며, White 그룹에서의 낮은 광택도, 우수한 고착 강도를 지니고 있는 점으로 보아 고착제로서 적합할 것으로 확인된다.

따라서 파야툰주 사원벽화 채색층의 전색제로 사용된 님 수지를 고착제로 적용함에 있어서 4% 조건의 적용 가능성을 확인하였으며, 본 연구를 통해 파야툰주 사원

벽화의 채색층 고착처리에 기초적인 자료로서 참고 될 수 있을 것으로 생각된다. 향후 금번 연구를 기반으로 진사 외의 파야톤주 채색에 사용된 주요 색상들에 대하여 남 수지의 고착제 적용 가능성 관련 Pilot Test가 이루어진다면 보다 안정적인 고착 처리 기준이 마련될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국문화재재단·건국대학교·충북대학교, *바간 유적 사원벽화 보존현황 및 파야툰주 사원벽화 보존처리 방안 연구*, 한국문화재재단, (2018).
2. 한국문화재재단·건국대학교·충북대학교, *바간유적 벽화 재료의 과학적 분석 및 보존처리 매뉴얼 제작*, 한국문화재재단, (2019).
3. 유영경, *미얀마 바간 지역 파야툰주 사원 벽화 채색층의 폴리초산비닐(PVAc) 고착제 제거를 위한 겔세척법 연구*, 충북대학교 대학원 문화재과학과 문화재과학전공, 석사학위논문, (2020).
4. 국립문화재연구소, *사찰벽화 보존처리 기술연구를 위한 채색층 손상진단 및 고착재료 기초연구*, 국립문화재연구소, (2015).
5. 국립문화재연구소, *문화재 보존처리 접착제*, 국립문화재연구소, (2016).
6. 이화수·한경순·이상진, 한국 사찰벽화 채색층 고착처리제 적용 연구, *보존과학회지*, **29(1)**, p81-92, (2013).
7. 이화수·한경순·정용재, *벽화보존의 이해*, 한국전통문화대학교, (2015).
8. 이화수·한경순·정용재, *벽화 보존기술과 방법론*, 한국전통문화대학교, (2015).
9. 진병혁·위광철, 한국 흙벽화 채색층 고착제의 보존환경에 따른 안정성 연구, *보존과학회지*, **46(3)**, p150-171, (2013).
10. 한경순, 토벽화 보존에 따른 고착제에 관한 연구, *보존과학회지*, **11(1)**, p38-51, (2002).
11. 한국문화재재단·문화재청, *황금의 나라 미얀마 파야툰주 사원벽화*, 한국문화재재단, (2018).

『박물관 보존과학』 발간규정

제정 2011. 12. 30.
 일부개정 2014. 4. 1.
 일부개정 2014. 7. 18.
 일부개정 2017. 8. 7.
 일부개정 2018. 3. 6.
 일부개정 2019. 8. 5.

제 1조 (학술지명)

국립중앙박물관 보존과학부에서는 정기학술간행물인 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』(이하 '박물관 보존과학'이라 칭함)을 발행한다.

제 2조 (목적)

본 규정은 박물관 보존과학을 발간함에 있어, 문화재의 보존처리 및 분석 결과, 박물관 환경조사 등을 정리한 양질의 논문과 자료를 수록하여, 박물관의 문화재 보존업무의 성과를 공유함으로써 보존과학 관련 정기학술간행물로서의 역할을 다하는데 목적이 있다.

제 3조 (원고의 분야)

- ① 박물관 보존과학에 게재하는 원고는 문화재 보존처리, 과학적 분석, 박물관 환경조사와 관련된 연구논문 및 자료로 한다.
- ② 박물관 보존과학에 투고하는 원고는 국내·외 학술지에 발표되지 않은 글이어야 한다.
- ③ 원고의 투고요령과 작성방법은 별도의 「박물관 보존과학 원고 투고규정」을 따른다.

제 4조 (운영위원회)

- ① 운영위원회는 위원장 및 박물관 내 보존과학 전공 학예연구관 2인 이상으로 구성하며, 위원장은 보존과학부장이 맡는다.
- ② 운영위원회는 다음 각 호의 기능을 수행한다.
 1. 박물관 보존과학 발간규정의 개정에 관한 건
 2. 편집위원의 선정과 위촉에 관한 건
 3. 박물관 보존과학 발간과 관련한 기타 운영에 관한 건
- ③ 운영위원회의 의결은 운영위원 2/3이상의 출석과 출석위원 2/3이상의 찬성으로 한다.

제 5조 (편집위원회의 구성 및 역할)

- ① 편집위원회는 국립중앙박물관 보존과학부에서 구성하며, 편집위원장을 포함하여 6인 이상으로 한다.
- ② 편집위원장은 운영위원장이 임명하며, 편집간사는 박물관보존과학 발간 담당 주무관이 맡는다.
- ③ 편집위원은 대학 및 연구기관의 교수 또는 전임연구원, 박물관의 연구관 이상, 관련분야 박사학위 소지 연구사 및 학문적 업적이 있는 자로 하고, 임기는 2년으로 하되 연임이 가능하다.
- ④ 편집위원회는 다음 각 호의 기능을 수행한다.
 1. 투고 원고에 대한 심사 기준에 관한 건
 2. 심사위원 위촉에 관한 건
 3. 투고 원고의 게재 여부 심사 및 결정
- ⑤ 편집위원회는 편집위원들의 필요에 의해 소집할 때 개최한다.
- ⑥ 편집위원회의 의결은 편집위원 1/2이상 출석과 출석위원 2/3이상의 찬성으로 하되 불참 시 위임장으로 대체할 수 있다.

제 6조 (심사)

- ① 박물관 보존과학에 투고되는 모든 원고는 소정의 심사를 거쳐 게재 여부를 정한다.
- ② 원고가 박물관 보존과학의 성격에 적합하지 않다고 편집위원회와 편집위원장이 인정할 경우에는 이를 접수하지 아니할 수 있다.

③ 원고 심사에 관한 세부기준과 절차는 별도의 「박물관 보존과학 원고심사규정」을 따른다.

제 7조 (연구윤리)

연구윤리에 관한 세부 내용은 별도의 「박물관 보존과학 연구윤리규정」을 따른다.

제 8조 (발행)

매년 5월 31, 11월 30일 연 2회 발행하는 것을 원칙으로 한다.

부칙

제 1조(시행일) 본 규정은 2011년 12월 1일부터 적용한다.

제 2조(적용범위) 본 규정이나 세부규칙에 명시되지 않은 사항은 당해 편집위원회의 의결을 따른다.

부칙

제 1조(시행일) 본 규정은 2014년 4월 1일부터 적용한다(일부개정 2014. 4. 1.).

부칙

제 1조(적용범위) 본 규정이나 세부규칙에 명시되지 않은 사항 또는 기타 모든 결정은 당해 편집위원회의 의결을 원칙으로 한다.

제 2조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제15집부터 적용한다.(일부개정 2014. 7. 18.).

부칙

제 1조(적용범위) 본 규정이나 세부규칙에 명시되지 않은 사항 또는 기타 모든 결정은 당해 편집위원회의 의결을 원칙으로 한다.

제 2조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제18집부터 적용한다.(일부개정 2017. 8. 7.).

부칙

제 1조(적용범위) 본 규정이나 세부규칙에 명시되지 않은 사항 또는 기타 모든 결정은 당해 편집위원회의 의결을 원칙으로 한다.

제 2조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제19집부터 적용한다.(일부개정 2018. 3. 6.).

부칙

제1조 (시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제22집부터 적용한다.(일부개정 2019. 8. 5.).

『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』 연구윤리규정

제정 2011. 12. 30.
일부개정 2014. 4. 1.
일부개정 2017. 8. 7.

제 1장 총칙

제 1조(목적) 이 규정은 국립중앙박물관(이하 “박물관”이라 한다)이 발간하는 학술지 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지의 논문 게재와 관련한 연구윤리 및 진실성을 확립하고 연구부정행위를 방지하는 것을 목적으로 한다.

제 2조(적용대상) 이 규정은 박물관이 발간하는 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지의 논문게재와 관련하여 논문을 투고하는 자에게 적용된다.

제 3조(연구 부정행위 범위) 이 규정에서 제시하는 연구 부정행위(이하 “부정행위”라 한다)는 연구의 제안, 연구의 수행, 연구결과의 보고 및 발표 등에서 행하여진 위조·변조·표절·부당한 논문저자 표시 행위 등을 말하며 다음 각 호와 같다.

1. “위조”는 존재하지 않는 데이터 또는 연구결과 등을 허위로 만들어 내는 행위를 말한다.
2. “변조”는 연구재료·장비·과정 등을 인위적으로 조작하거나 데이터를 임의로 변형·삭제함으로써 연구 내용 또는 결과를 왜곡하는 행위를 말한다.
3. “표절”이라 함은 타인의 아이디어, 연구 내용·결과 등을 정당한 승인 또는 인용 없이 도용하는 행위를 말한다.
4. “부당한 논문저자 표시”는 연구 내용 또는 결과에 대하여 과학적·기술적 공헌 또는 기여를 하지 않은 자에게 감사의 표시 또는 예우 등을 이유로 논문 저자 자격을 부여하는 행위를 말한다.
5. “중복게재”는 완전히 동일하거나 거의 동일한 연구물을 하나 이상의 학술지에 중복하여 발표한 행위를 말한다.
6. 기타 연구진실성을 심각하게 해하는 행위를 포함한다.

제 2장 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지 연구윤리위원회

제 4조(연구윤리위원회) 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지에 투고된 연구논문의 위조·변조·표절·부당한 논문저자 표시 행위·중복게재 등 부정행위에 관한 제반사항을 논의하기 위해 연구윤리위원회(이하 “위원회”라고 한다)를 둔다.

제 5조(위원회 구성)

1. 위원회는 게재논문과 관련하여 연구부정행위가 의심되는 경우에 소집되는 비상설위원회로서 회부된 지 10일 이내에 구성한다.
2. 위원장은 편집위원장으로 하고, 위원은 편집위원회 중에서 5인(위원장 포함)으로 구성하되, 해당 논문의 심사에 관여하지 않고 논문 필자와 동일 소속 기관에 속하지 않은 자로 한다.
3. 제2항에 따라 구성된 위원들은 제 8조, 제 3장 제10조, 제11조에 따른 연구윤리규정을 준수해야 하고 이를 확인하는 서약서를 제출해야 한다.
4. 위원의 임기는 2년으로 한다. 다만, 보궐위원의 임기는 전임자의 잔여기간으로 한다.

제 6조(위원회 기능) 위원회는 다음 각 호의 사항을 심의, 의결한다.

1. 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지와 관련된 논문, 계획서, 보고서 등에 대하여 제기된 연구윤리에 관한 사항
2. 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지와 관련된 연구 정직성에 관해 제기된 선의의 고발사항

3. 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지와 관련된 부정행위에 대한 조사
4. 부정행위의 예방 및 교육에 관한 사항
5. 기타 위원회 위원장이 부여하는 연구윤리에 관한 사항

제 7조(위원회 회의)

1. 위원장은 필요하다고 판단되는 사안이 발생할 경우 회의를 소집할 수 있다.
2. 회의는 재적위원 과반수 출석과 출석위원 2/3 이상의 찬성으로 의결한다.
3. 위원회는 필요하다고 인정할 때에는 관계자를 출석하도록 하여 의견을 청취할 수 있다.
4. 위원회의 회의는 비공개로 원칙으로 한다. 단, 공개의 필요성이 있는 경우에는 위원회의 결정에 따라 의사록을 공개할 수 있다.

제 8조(위원회 권한과 책임)

1. 위원회는 부정행위와 관련된 제보자, 피조사자, 증인, 참고인 등에 대하여 출석과 자료 제출을 요구할 수 있다.
2. 피조사자가 정당한 이유 없이 출석 또는 자료 제출을 거부할 경우에는 혐의 사실을 인정 한 것으로 추정할 수 있다.
3. 위원회 위원은 심의와 관련된 제반 사항에 대하여 일체의 비밀을 준수하여야 한다.

제 3장 부정행위 검증 및 조치

제 9조(심의 요청 및 조사)

1. 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지 게재 논문의 이해관계당사자는 위원회에 서면 또는 전자우편으로 부정행위 위반 여부에 관한 판단을 실명으로 제보해야 한다. 단, 익명의 제보라 하더라도 게재 논문명과 구체적인 부정행위의 내용과 증거를 포함하여 제보한 경우에는 이를 실명 제보에 준하여 처리한다.
2. 위원장은 제1항에 따른 신청서가 접수되면 조속히 위원회를 소집하여야 한다.
3. 위원회는 구체적인 제보가 있거나 상당한 의혹이 있을 경우에는 제 8조 제1항에 따라 부정행위의 존재 여부를 조사하여야 한다.

제 10조(비밀엄수)

1. 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지 게재 논문의 부정행위를 제보한 자의 신원을 직접·간접적으로 노출시켜서는 안 된다.
2. 조사와 관련된 일체의 사항은 비밀로 한다. 다만, 위원회는 제7조 제4항에 따라 의결을 거쳐 공개할 수 있다.

제 11조(제척, 기피, 회피)

1. 위원회의 위원이 조사대상 게재 논문과 직접적인 이해관계가 있는 때에는 조사절차에서 배제된다.
2. 위원회의 위원에게 공정성을 기대하기 어려운 사정이 있을 경우에 부정행위를 제보한 자 또는 논문 투고자는 그 이유를 밝혀 기피를 신청할 수 있으며, 기피신청이 인정된 경우에는 기피 신청된 위원은 당해 조사와 관련하여 배제된다.
3. 공정한 조사를 하기 어려운 사유가 있는 위원회의 의원은 해당 부정행위 논문 조사를 회피할 수 있다.

제 12조(제재조치)

1. 위원회는 부정행위 조사 결과에 대하여 그에 상응하는 제재 조치로 주의 환기, 비공개 경고, 공개 경고, 시정 권고, 논문 투고의 제한, 게재된 논문의 무효처리 등의 조치를 내릴 수 있다.
2. 위원회에서 부정행위로 확인 판정된 논문의 제1저자는 3년간 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지에 논문 투고를 금지하고, 이미 게재된 논문은 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지 논문 목록에서 삭제하고 게재 취소 사실을 박물관 홈페이지와 다음 권(호)을 통하여 공지한다.
3. 제2항의 공지는 저자명, 논문명, 논문수록 권(호), 취소일자, 취소사유 등이 포함되어야 한다.

제 13조(결과 통지) 위원장은 조사결과에 대한 위원회의 결정을 서면으로 작성하여 지체 없이 부정행위를 제보한 자와 논문 투고자 등 관련자에게 이를 통지해야 한다.

제 14조(이의 신청)

1. 부정행위를 제보한 자 또는 논문 투고자는 위원회의 결정에 대하여 통보받은 날로부터 7일 이내에 서면으로 위원회에 이의 신청을 할 수 있다.
2. 위원장은 이의 신청이 있을시 위원회를 소집하고 재적위원의 과반수 이상의 찬성으로 이의 신청이 인정되면 재심의를 진행하여야 한다.

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 제정 즉시 시행한다.

제 2조(적용범위) 『박물관 보존과학(Conservation Science in Museum)』지에서 발생하는 부정행위에 관한 제반 사항은 다른 규정에서 특별히 규정한 것을 제외하고는 이 규정이 정하는 바에 따른다.

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 2014년 4월 1일부터 시행한다(일부개정 2014. 4. 1.).

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 박물관보존과학 제 18집부터 적용한다.(일부개정 2017. 8. 7.).

『박물관 보존과학』 원고 투고규정

제정 2014. 7. 18.
일부개정 2017. 8. 7.
일부개정 2019. 8. 5.

제 1조 (정의)

원고는 논문과 자료로 구분되며, 보존과학 분야에 기여할 수 있는 연구 성과물이어야 한다.

제 2조 (적용)

본 규정은 박물관 보존과학에 투고되는 모든 원고에 적용된다.

제 3조 (원고투고)

- ① 투고자는 첨부 1. “박물관 보존과학 원고작성방법”에 따라 작성한 논문을 편집위원회에 제출하여야 한다.
- ② 공동 집필일 경우, 주저자(연구책임자)와 공저자를 구분하고, 주저자/공저자 순으로 표시한다.

제 4조 (원고내용)

- ① 논문: 타 학술지에 게재된 원고나 이미 발표된 논문과 중복되는 내용은 투고하여서는 안되나 학위논문은 예외로 한다.
- ② 자료: 국내외에 소개되지 않은 신자료여야 한다.

제 5조 (원고매수)

- ① 논문: 200자 원고지 100매 내외, 도판(사진, 도면 포함) 20매 내외
- ② 자료: 200자 원고지 50매 내외, 도판(사진, 도면 포함) 20매 내외

제 6조 (원고제출)

- ① 원고는 온라인 투고를 원칙으로 하되, 편집 간사의 E-mail 투고도 허용한다.

제 7조 (원고심사)

- ① 마감일 이내에 접수된 원고는 편집위원회에서 선정한 심사위원회의 심사를 거친 후 게재 여부를 결정한다.
- ② ‘수정 후 게재’, ‘수정 후 재심사’로 평가된 논문은 필자에게 즉시 통보하여, 10일 이내에 수정 보완 후 「심사위원 수정제 의 답변서」와 함께 다시 제출하여야 한다. 단, ‘수정 후 재심사’의 경우는 필자에게 재심사 수락 여부를 먼저 확인한다.

제 8조 (투고자의 권리와 제한)

- ① 투고된 모든 원고는 반환하지 않는 것을 원칙으로 한다.
- ② 투고 원고에 대한 저작권은 저작자에게 있다. 단, 박물관 보존과학에 게재된 원고에 한해 학술 및 홍보를 위한 일부 인용 또는 그 활용에 대해서는 저작물의 허락이 이루어진 것으로 본다.

제 9조 (기타)

- ① 필자의 연락 가능한 전화번호, 핸드폰번호, e-mail주소를 원고 말미에 명기하여야 한다.
- ② 필자의 원고 교정은 3회 이내로 한정한다.
- ③ 본 규정에 명시되지 않은 사항은 편집위원회의 의결을 따른다.

※ 첨부 1. 박물관 보존과학 원고작성방법

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 제정 즉시 시행한다.

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제 18집부터 적용한다.(일부개정 2017. 8. 7.).

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제 22집부터 적용한다.(일부개정 2019. 8. 5.).

『박물관 보존과학』 원고 작성방법

제정 2011. 12. 30.
일부개정 2014. 7. 18.
일부개정 2017. 8. 7.

1. 원고는 한글 및 워드 프로그램을 사용하여 작성한다.

2. 원고의 구성

1) 제목, 저자명, 연구기관명(연구자의 기관명을 각주에 표시)

- 공동 집필일 경우, 주저자(연구책임자)와 공저자를 구분하고, 주저자/공저자 순으로 표시한다.

2) 국문초록

- 하나의 문단으로 작성하되 400자 이내(띄어쓰기 포함)로 한다.

3) 영문 초록

- 하나의 문단으로 작성하되 250단어 이내로 한다.

4) 중심어(Key Words)

- 중심어는 국문초록과 영문초록 하단에 각각 표기한다.
- 중심어는 국문, 영문 모두 각각 5개 이내로 제한한다.

5) 원고목차 및 소제목

- 장(章), 절(節), 항(項)의 번호는 1., 1.1., 1.1.1.의 순서로 매긴다.
- 목차에는 장과 절까지만 표시한다
- 머리말과 맺음말에도 번호를 매긴다.

6) 본문

- 한글 집필을 원칙으로 하되, 필요한 한자나 외래어는 괄호 속에 병기(併記)한다.
- 본문 중 인용문의 출전 표시는 각주를 따로 쓰지 않고 본문 말미에 참고문헌으로 기록하며, 원문 인용은 “ ”로 표시한다.
- 숫자는 아라비아 숫자를 사용하며 모든 기호와 단위는 원어로 기입한다.
- 원고 내에 사용된 사진, 도면, 지도 등은 모두 ‘도’로 통일하며, 원본도 함께 제출하여야 한다.
- 도(사진, 도면, 지도 등 포함), 표는 일련번호를 붙인다.
예) 도1., 표1.
- 괄호가 중첩될 때에는[...()...]와 같이 처리한다.

7) 참고문헌

- 참고문헌을 나타낼 때는 인용된 순서대로 아라비아 숫자로 일련번호를 붙여 인용 문장의 마지막에 대괄호[] 속에 표기한다.
예) 박물관 보존과학지의 참고문헌은 다음과 같다[1].
- 학술지: 저자명, 논문명, 학술지명 권(권하계), 면, 년도(괄호 안) 순으로 기입한다.
예) 홍길동, 황남대총 출토 철기유물의 보존, *박물관 보존과학* 12, p9-14, (2012).
- 단행본: 저자명, 서명(이텔릭체), 면, 출판사명, 출판도시, 출판년도(괄호 안)의 순으로 기입한다.
예) 홍길동, *박물관 보존과학 40년의 발자취*, p188-199, 보존과학 우리문화재를 지키다, 국립중앙박물관, 서울, (2016).
예) J. Campbell, *Castings 2nd ed.*, p99-116, Butterworth-Heinemann, Oxford, (2003).
- 학위논문: 저자명, 제목, 학교명, 학위명, 면, 출판년도(괄호 안)
예) 홍길동, *금속문화재 보존처리 신기술 개발 연구*, 한국대학교 대학원 문화재학과, 석사학위논문, p34-40, (2017).
- 웹사이트: 기관명(혹은 저자), 제목, 웹사이트 주소, 검색연도(괄호 안)
예) 국립중앙박물관, *보존과학 역할*, http://www.museum.go.kr/site/main/content/conservation_science_role, (2017).

- DOI 번호가 부여된 참고문헌의 경우, 참고문헌 작성 양식에 맞게 작성하되 제일 마지막에 링크를 추가하여 넣는다.

3. 원고분량

- 1) 논문: 200자 원고지 100매 내외, 도판(사진, 도면 포함) 20매 내외
- 2) 자료: 200자 원고지 50매 내외, 도판(사진, 도면 포함) 20매 내외

4. 용지여백

위쪽: 25mm / 아래쪽: 25mm / 왼쪽: 25mm / 오른쪽: 25mm / 머리말: 0mm / 꼬리말: 0mm / 제본: 0mm

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 제정 즉시 시행한다.

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 2014년 7월 18일부터 시행한다.(일부개정 2014. 7. 18.).

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제18집부터 적용한다.(일부개정 2017. 8. 7.).

『박물관 보존과학』 원고 심사규정

제정 2011. 12. 30.
 일부개정 2014. 4. 1.
 일부개정 2014. 7. 18.
 일부개정 2017. 8. 7.
 일부개정 2018. 3. 6.
 일부개정 2019. 9. 4.

제 1조 (목적)

본 규정은 국립중앙박물관 보존과학부에서 발간하는 정기학술간행물인 『박물관 보존과학』의 투고 원고가 학술지에 게재되기에 적절한가를 판정하기 위하여 심사를 수행하는 절차와 기준을 정하는데 목적이 있다.

제 2조 (심사 절차)

접수된 논문과 자료의 심사절차는 다음의 순서에 의한다.

- ① 심사위원 선정 및 심사의뢰
- ② 심사결과 취합
- ③ 수정 후 재심사 원고 재심사 의뢰
- ④ 재심사 판정
- ⑤ 게재 여부 결정

제 3조 (심사위원)

- ① 모든 원고는 소정의 심사를 거쳐 게재 여부를 결정한다.
- ② 논문심사시 편집위원장은 편집위원의 추천을 받아 심사대상 원고 1편당 해당 분야 3인(내부 혹은 외부학자)의 심사위원을 위촉한다.
- ③ 심사위원은 관련 분야 교수, 관련분야 박사학위 소지자 및 학문적 업적이 있는 연구자로 한다.
- ④ 심사위원은 심사 대상 원고를 '게재가능', '수정 후 게재', '수정 후 재심사', '게재불가'로 판정한다.

제 4조 (심사위원 윤리규정)

- ① 심사위원은 학술지의 편집위원회가 의뢰하는 논문(또는 자료)을 심사규정이 정한 기간 내에 성실하게 평가하고 평가 결과를 편집위원회에게 서면으로 통보하여야 한다.
- ② 심사위원은 논문(또는 자료)을 개인적인 학술적 신념이나 필자와의 사적인 친분관계를 떠나 객관적 기준에 의해 공정하게 평가하여야 한다. 충분한 근거를 명시하지 않거나, 심사자 본인의 관점이나 해석과 상충된다는 이유로 논문(또는 자료)을 탈락시켜서는 안 되며, 심사 대상 논문을 제대로 읽지 않은 채 평가해서도 안 된다.
- ③ 심사위원은 학술지가 출판되기 전에는 논문 평가를 위한 특별한 경우가 아니라면 논문 내용에 대한 어떠한 공개 행위도 해서는 안 된다.

제 5조 (심사기준)

심사위원은 아래 평가항목으로 투고원고를 평가하여, 그 게재여부를 결정한다.

- ① 논문제목의 적절성
- ② 형식요건 및 체제의 정연성
- ③ 논리성
- ④ 독창성
- ⑤ 학술적 가치 및 수준
- ⑥ 참고문헌의 적절성
- ⑦ 요약문의 적절성

제 6조 (심사판정)

- ① 심사위원은 심사 위촉 후 15일 이내에 위촉받은 논문을 심사하고, 심사결과와 심사평을 원고와 함께 편집위원회에 반송하여야 한다.
- ② 심사위원이 심사 위촉 후 30일 이내에 심사의견을 제출하지 아니할 경우에는 심사의뢰를 취소할 수 있다. 이 경우 원고는 즉시 본 편집위원회 앞으로 반송하여야 한다.
- ③ 원고의 심사는 '게재가능', '수정 후 게재', '수정 후 재심사', '게재불가'로 판정하고, 그 결과에 따라 게재 여부를 결정한다.
 1. '게재가능'은 원고의 수정 없이 그대로 게재할 수 있다.
 2. '수정 후 게재'로 판정한 경우 심사위원은 해당사항을 구체적으로 심사평란에 지적하여 이를 수정 또는 보완할 것을 요구할 수 있다.
 3. '수정 후 재심사'로 판정된 경우 필자에게 즉시 통보하고, 재심사 수락 여부를 확인한다. 원고 필자가 재심사를 원할 경우, 필자는 10일 이내에 심사위원의 지적사항을 수정한 원고를 편집위원회에 제출해야 하며, 편집위원회는 동일한 심사위원에게 수정 원고 재심을 의뢰한다.
 4. 기타의 경우로 심사위원의 의견이 나뉠 때에는 심사위원 다수 의견을 반영하여 편집위원회에서 최종 게재 여부를 결정한다.
 5. 제출된 원고가 기 발표된 연구와 뚜렷한 차이가 없거나 기타 박물관 보존과학에 게재하기 부적합하다고 판단될 경우 '게재불가'로 판정할 수 있으며, 심사위원은 그 이유를 구체적으로 심사평란에 지적하여야 한다.
- ④ 편집위원회는 최초 심사 또는 재심에서 2인 이상의 '게재가능' 또는 '수정 후 게재' 판정을 받아 회부된 원고와 심사평 및 답변서를 검토하고 게재 여부를 최종 승인한다.
- ⑤ 심사내용은 필자에게만 통보하고 공표하지 않는다.

제 7조 (이의異意 제기)

심사 판정 결과에 이의가 있을 경우, 투고자는 이의 내용을 판정일로부터 15일 이내에 편집위원회에 이의를 제기할 수 있다. 편집위원장은 접수된 이의 내용을 검토하여 사안에 따라 직접 처리 또는 편집위원회의 심의를 부쳐 처리하고 그 결과를 투고자에게 통보하여야 한다.

제 8조 (기타)

본 규정에 명시되지 않은 사항은 당해 편집위원회의 의결을 따른다.

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 제정 즉시 시행한다.

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 2014년 4월 1일부터 시행한다.(일부개정 2014. 4. 1.).

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 2014년 7월 18일부터 시행한다.(일부개정 2014. 7. 18.).

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제18집부터 적용한다.(일부개정 2017. 8. 7.).

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제19집부터 적용한다.(일부개정 2018. 3. 6.).

부칙

제 1조(시행일) 이 규정은 박물관 보존과학 제22집부터 적용한다.(일부개정 2019. 9. 4.).

편집위원

정용재 - 한국전통문화대학교/위원장

고형순 - 강원문화재단연구소

김수철 - 한국전통문화대학교

박지선 - 용인대학교

박학수 - 국립중앙박물관

백영미 - 한국전통복식연구소

이은주 - 안동대학교

허우영 - 삼성미술관 리움

박경도 - 국립광주박물관

황현성 - 국립중앙박물관

편집실무

고수린 - 국립중앙박물관 학예연구사

박물관 보존과학 제24집

CONSERVATION SCIENCE IN MUSEUM VOL.24

발행일

2020. 11. 30.

발행처

국립중앙박물관

04383 서울시 용산구 서빙고로 137

Tel. 02-2077-9445 Fax. 02-2077-9932

<http://www.museum.go.kr>

디자인 & 원색분해

(주)계문사

발간등록번호

11-1370063-000060-10

이 책의 저작권은 국립중앙박물관에 있습니다.

copyright©2020 National Museum of Korea