

# 평창 발견 석조보살좌상의 보존처리와 3차원 디지털기술을 활용한 복원

Conservation Treatment of  
the Seated Stone Bodhisattva  
Discovered in Pyeongchang  
and Restoration of the Statue  
Using 3D Digital Technologies

조성연\*, 권윤미, 최보배

국립춘천박물관 보존과학실

Jo Seongyeon\*, Kwon Yoonmi,  
Choi Bobae

Conservation Science lab, Chuncheon  
National Museum

\* Corresponding Author:  
Jo Seongyeon

Tel : 82-33-260-1534  
E-mail : chfhrhd@gmail.com

## 요약

석조보살좌상(신수5971)은 1974년 강원도 평창군에서 발견되었다. 2002년 국립춘천박물관이 개관하면서 옮겨진 보살상은 파손 부위가 넓어 복원이 쉽지 않았다. 본 논문에서는 3D스캐닝과 3D프린팅 기술을 활용하여 전체적인 형태와 손상정도를 파악하여 정확한 형태 복원이 불가능한 결실부를 복원하였다. 표면 장식에 사용된 안료의 종류를 파악하기 위하여 광학 현미경으로 관찰하고 이동형 X-선 형광분석기(p-XRF, Potable X-ray Fluorescence Analyzer)로 주성분을 분석한 후 보존처리하였다. 보존처리는 천연 접착제인 아교를 사용하여 열화 된 옷칠을 안정시키고 석재강화제(OH-100)를 사용하여 강화하였다. 조사 결과 불석[(沸石), 제올라이트(Zeolite)] 표면 위에 옷칠을 바르고 그 위에 금을 올리는 도금 기법과 흰색의 안료는 연백(鉛白), 적색의 안료는 연단(鉛丹)과 주사(朱砂)로 확인되었다. 3D 기술을 이용한 역설계 방법으로 복원된 결실부는 잔존 편을 대칭시켜 만들었기 때문에 남아있는 보살상의 형태와 유사하게 제작할 수 있었다. 그러나 출력물은 보살상 파손 부위가 굴곡져 있어 이격 없이 삽입하기 어려우며 출력물의 접합부 수정·보완 작업이 필요하였다. 또한 현재까지 3D 프린팅 재료의 물성연구가 부족하여 자료 수집에 어려움이 있었다. 이러한 문제점들은 향후 좀 더 연구해야 할 과제이다.

**주제어** : 석조보살좌상, 보존처리, 3D, 접합, 복원

## Abstract

A stone seated bodhisattva (Sinsu5971) was discovered in Pyeongchang-gun, Gangwon-do in 1974 and was transferred to the Chuncheon National Museum upon its opening in 2002.

The statue had damage to wide areas and was thus difficult to restore. This study utilized 3D scanning and 3D printing technologies to identify the overall form of the statue and the degree of damage, which allowed the restoration of lost portions that otherwise could not have been accurately restored to their original shape. Prior to the conservation treatment, the pigments used to decorate the surface were investigated using an optical microscope, and their main components were analyzed with a p-XRF (Potable X-ray Fluorescence Analyzer). The deteriorated lacquered surface was stabilized using animal glue and consolidated with stone strengthener (OH-100). The investigation found that the surface of the statue was made of zeolite that was lacquered and then gilded. As for pigments, white lead was used for the white color and red lead and cinnabar were used for red. The lost portions were redesigned by mirroring the remaining parts with 3D technologies. However, it was difficult to affix the 3D printing outputs to the statue without visible gaps since the damaged parts suffered flexion. The portions of the outputs to be connected to the statue were thus modified and supplemented. It was also difficult to collect data on the properties of 3D printing materials due to the lack of previous in-depth study. These obstacles are subjects for further study.

**Keywords** : Stone Seated Bodhisattva, Conservation treatment, 3D, Joining, Restoration

투고일: 2018.10.12. 심사(수정)일: 2018.11.16. 게재확정일: 2018.11.22.

## I. 서론

최근까지 문화재의 복원은 대부분 수작업에 의존하여 이루어져 왔다. 그러나 근래 3D 기술이 비약적으로 발전함에 따라 문화재의 보존과 복원에도 이를 적용한 시도가 늘어나고 있다. 평창군 대화면에서 발견된 석조보살좌상은 2002년 국립춘천박물관이 개관하면서 보살상의 머리와 보관부분이 1/3 가량 결실되고 파손되어 전체적인 형상을 알 수 없이 전해져 왔다. 수작업으로 추정복원 할 경우 정확한 대칭을 이루기 위해 너무 많은 시간과 노력이 요구된다. 본 논문에서는 보살상의 주요 결실부의 정확한 형태와 크기를 찾기 위해 3D 스캐닝과 3D프린팅 기술을 보존처리에 도입하여 정확한 복원이 될 수 있도록 하였다. 또한 과학적 조사로 보살상 표면에 남아있는 채색안료의 종류와 제작 도구의 형태를 파악하고자 하였다. 불석 표면은 오염물이 부착되어 있으며 옷칠과 도금층은 들뜨고 약해져 있었다. 오염물제거와 약화된 옷칠층 안정화, 마모된 석재 표면 강화와 3D 출력물 접합 및 복원을 목적으로 보존처리를 실시하였다.

## II. 연구 대상

석조보살좌상(신수5971)은 1974년 평창군 대화면에서 발견되었고 1981년 국립중앙박물관이 인수하였다. 그 후 2002년 국립춘천박물관이 개관할 때 이관되었다. 보살상은 여러 개의 편이 접합된 상태였으며(도1) 사용된 접착제와 접합 시기의 기



(a)앞면  
(b)측면



도1. 석조보살좌상의 처리 전 상태

록은 없다. 석조보살좌상은 보관과 오른쪽 눈 밑, 코, 백호, 왼쪽 수인(手印)의 검지와 소지 부분이 결실된 상태였고 보관으로 추정되는 조각 4점과 귀 부분 1점이 접합되지 않은 채 남아있었다(도2). 보살상은 보관을 쓰고 긴 머리를 늘어뜨린 채 천의를 입고 대좌에 앉아있는 형태이다. 하나의 불석 덩어리를 통으로 조각하였으며, 내부는 목 아래부터 바닥면까지 약 2/3가량 파냈다. 바닥면은 판을 끼웠을 것으로 추정되는 반원형의 단이 있어 내부에 복장물을 넣었을 가능성이 있다(도3).

보관, 얼굴, 옷, 대좌는 부분적으로 벗겨진 옷칠과 도금이 관찰되었다. 이 밖에도 부분적으로 검은색, 흰색, 적색 안료가 관찰되었다. 보존처리 전 석조보살상의 높이는 57.3cm, 가로 40.9cm, 무게는 29.5Kg이었다.



도2. 5점의 파편



도3. 보살상의 바닥면

### Ⅲ. 석조보살좌상의 표면 채색층 조사

#### 1. 조사 방법

석조보살상 표면은 옷칠 및 도금, 채색 안료로 장식되었고, 내부 빈 공간을 파낼 때 사용한 도구의 흔적이 남아있다. 보존처리 전 옷칠 및 도금, 채색 안료, 내부 조각흔을 조사·분석하였다.

옷칠 및 도금, 채색안료, 조각흔의 형태는 광학현미경과 디지털카메라를 사용하여 관찰하였다. 도금과 채색 안료 성분 분석에 사용된 이동형 X선형광분석기(이하 이동형 XRF)는 비파괴 분석 장비로 파괴 분석이 불가능한 경우 성분 분석을 위해 많이 사용된다. 이동형 XRF는 편리한 휴대성과 더불어 분석 시간이 짧고, 파괴 분석이 불가능한 상황에서 성분 분석이 가능하다는 장점이 있다.

그러나 대기 상태에서 장비를 시료에 직접 접촉하여 측정하는 표면 분석 방식이기 때문에 부식과 풍화 이물질의 영향을 받을 가능성이 높다. 또한 원자번호 21번(Sc, scandium)이하의 낮은 에너지를 가진 경원소는 측정이 어렵다.

표1. 조사 목적과 방법

| 조사 위치   | 조사 목적       | 조사 장비  |
|---------|-------------|--|
| 옷칠 및 도금 | 도금 방법       | - 광학 현미경(LEICA, MZ7.5+Nicon, D3, Japan)<br>- 이동형 X선형광분석기<br>(Bruker, TiTan600, alloy application, Germany) |
| 채색 안료   | 안료 종류       | - 광학 현미경(LEICA, MZ7.5+Nicon, D3, Japan)<br>- 이동형 X선형광분석기<br>(Bruker, TiTan600, alloy application, Germany) |
| 조각흔     | 조각 도구 형태 추정 | - 디지털카메라(CANNON D3,100MM, Japan)   |

분석 결과는 분석 위치에서 측정된 원소들의 백분율로 표시된다. 즉 성분 함량은 구성 원소의 상대적인 비율을 나타내기 때문에 정량 분석에 한계가 있고, 시료를 구성하는 모든 성분의 비율을 대표한다고 단정 지을 수 없다. 따라서 본 조사에서는 주성분의 판별을 목적으로 이동형 XRF를 적용하였다.

## 2. 조사 결과

### 2.1. 옷칠 및 도금

옷칠은 두께가 얇을수록 붉은색을 띠고, 두꺼울수록 검은색을 띤다. 도금층은 옷칠 위에서 관찰된다(도4). 도금의 성분 분석 결과 금(Au)이 주 성분이며, 수은(Hg)은 검출되지 않았다. 따라서 옷칠을 접착제로 사용하고 그 위에 금을 얇게 붙이는 금박도금법으로 도금하였음을 알 수 있다.



도4. 옷칠과 도금






2.2. 채색 안료

보살상에서 관찰되는 채색 안료는 검은색, 흰색, 적색이다. 채색 안료의 성분 분석 결과는 표2에 정리하였다.

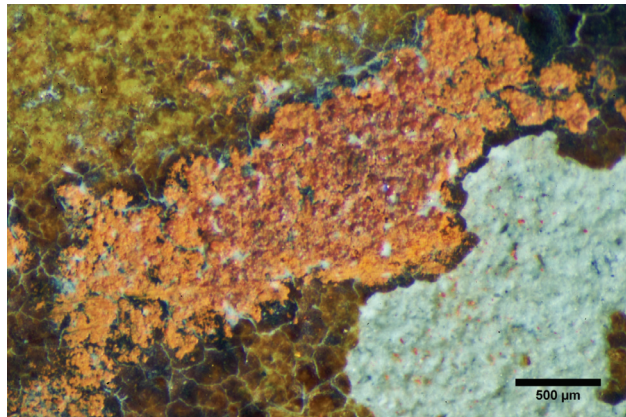
검은색 안료는 보살상 뒷머리에서 관찰되고, 성분 분석 결과 Al, Si, Pb, Fe 등이 검출되었다. 이는 장식 되지 않은 불석 표면의 주성분과 일치하는 결과로, 흑색 안료를 지시하는 주성분이 검출되지 않았음을 나타낸다. 불상이나 보살상의 경우 머리카락을 검은색으로 칠하는 사례가 많으며, 검은색은 먹을 활용한 안료가 주를 이룬다<sup>41)</sup>. 먹의 주성분은 탄소(C)로, 이동형 XRF로 분석이 불가능하다. 따라서 석조보살좌상의 뒷머리는 먹을 사용하여 채색했을 가능성이 높다.

표2. 채색 안료 분석 결과

| 연번 | 종류     | 안료 사진   | 주성분 원소 | 추정 안료   |
|----|--------|---|--------|---|
| 1  | 검은색 안료 |   | -      | 먹   |
| 2  | 흰색 안료  |  | Pb     | 연백<br>( $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ )   |
| 3  | 적색 안료  |  | Pb, Hs | 연단( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )<br>혹은<br>주사( $\text{HgS}$ ) |

흰색 안료는 분말 형태이고, 납(Pb)이 주성분이며 연백( $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ )으로 추정된다. 적색 안료는 분말 형태이고, 주홍빛을 띠는 안료 위에 붉은색 안료가 관찰된다. 주성분은 납(Pb)과 수은(Hg)이 주성분이고, 연단( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) 혹은 주사(HgS)로 채색하였을 것으로 추정된다.

현미경 관찰 결과 불석 위에 칠→도금→흰색 안료→적색 안료 순으로 채색된 것을 확인하였다(도5).



도5. 적색 안료 현미경사진

채색층은 옷칠과 도금층 위에서 관찰될 뿐만 아니라 바탕재료 위에서도 확인된다. 이는 처음 제작 당시 칠했던 옷칠과 도금이 손상된 후 나중에 덧칠하는 과정에서 채색되었을 가능성이 있음을 시사한다.

### 2.3. 조각에 사용된 도구 흔적

석조보살좌상(신수1971)은 접합 후 완형을 이루기 때문에 암석학적 분석을 위한 시료 채취가 불가능 하였으므로 육안관찰을 진행하였다. 그 결과 석조보살좌상은 백색을 띠며,세밀한 조각이 가능한 무른 재질로써 한 덩어리를 통으로 조각하였다. 이는 불석의 조형적 특성으로 언급된 바 있다[2]. 육안관찰 결과 및 국립중앙박물관 소장품 석조불좌상(본관5190)의 연구 결과를 참고로 본 연구 대상인 석조보살좌상이 불석(Zeolite)으로 제작되었다고 판단하였다[3]. 석조보살좌상 내부는 마지막 연마공정을 거치지 않아 예리한 도구의 흔적이 그대로 남아있다(도6 a). 조각흔은 납작하고 평평한 형태이며, 폭은 10mm와 16mm이다(도6 b). 조각흔은 내부를 향하는 쪽이 더 깊고 날카롭게 남아있으므로 밖에서 안쪽 방향으로 힘을 가했다는 것을 알 수 있다. 조각흔의 형태와 방향으로 보아 석조보살좌상 내부 조각에 사용된 도구는 끌

(chisel)과 같은 형태이며, 폭이 다른 두 종류의 도구를 사용하였음을 알 수 있다.

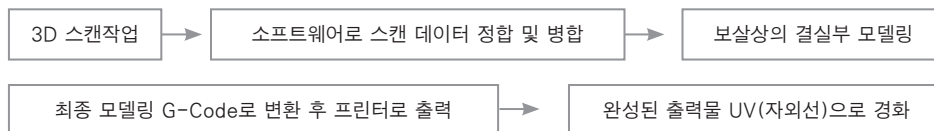


도6. 보살상의 내부

- a b
- (a) 보살상 내부 도구  
흔적
- (b) (a) 확대 사진

## IV. 디지털기술을 활용한 결실부 제작

석조보살좌상(신수1971)은 소형유물이고, 복원부 접합면이 경사져있으며 여러 편이 접합된 상태였다. 때문에 기존의 석조 문화재 복원 방법인 동일 재료로 복원 후 봉을 삽입하여 접합하는 방식은 무리가 있다고 판단하였다. 따라서 3D프린터를 이용한 복원 방식을 선택하였다. 복원 재료는 복원부의 형태변화가 거의 없고, 색감이나 질감 표현에도 용이한 UV아크릴화합물을 선정하였다. 또한 향후 3D 프린터 재료의 개발, 재복원 등의 상황을 고려하여 탈부착이 가능한 형태로 제작하였다. 보살상의 3차원 디지털 원형 정보 기록, 복원부 출력은 2017년 3월부터 2018년 4월까지 국립공주대학교 문화재보존과학과 디지털솔루션 연구실과 함께 진행하였다.



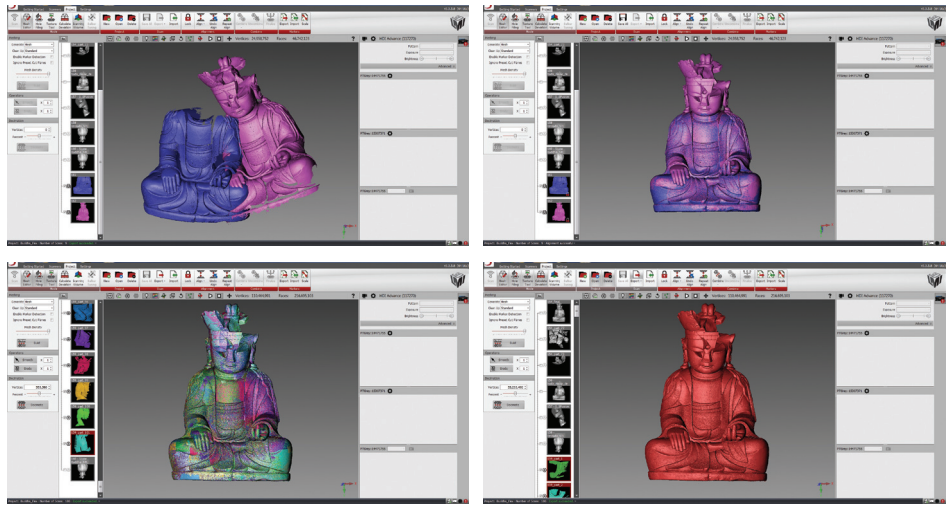
도7. 3D 디지털 복원과정

### 1. 3D 스캐닝 및 스캔데이터 정리

스캐너는 LMI TECHNOLOGIES 사의 HDI Advance R3X로, 백색의 구조광과 두 대의 스테레오 카메라를 이용한 삼각측량 방식을 사용하였다. 이는 280만 화소의 분해기능을 가지며, 0.88초의 고속 스캔이 가능하고, 렌즈에 따라 30~80 $\mu$ m의 정

밀도로 신속하고 고품질의 3D 스캔 데이터를 획득할 수 있다. 스캐너의 구동에 사용된 소프트웨어는 Flexscan3D이며, 현장에서 측정한 점들로부터 바로 폴리곤을 생성하여 정합 및 병합을 수행하였으며. 광원이 도달하지 못하는 형상부분의 경우 중첩영역이 3곳 이상 나올 수 있도록 계산하여 스캔하였다. 여러 컷의 원시 스캔 데이터를 기준좌표에 맞추기 위해 자동 정합 과정을 거쳐 에러 값을 최소화 하였다. 정합과정을 거친 데이터는 하나의 데이터 군으로 생성하기 위해 병합 과정을 수행하였다(도8). 데이터 후처리와 편집은 Geomagic DesignX를 이용하였다.

- |   |   |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
- (a) 개별 스캔 이미지  
 (b) 정합 과정  
 (c) 정합 결과  
 (d) 병합 결과

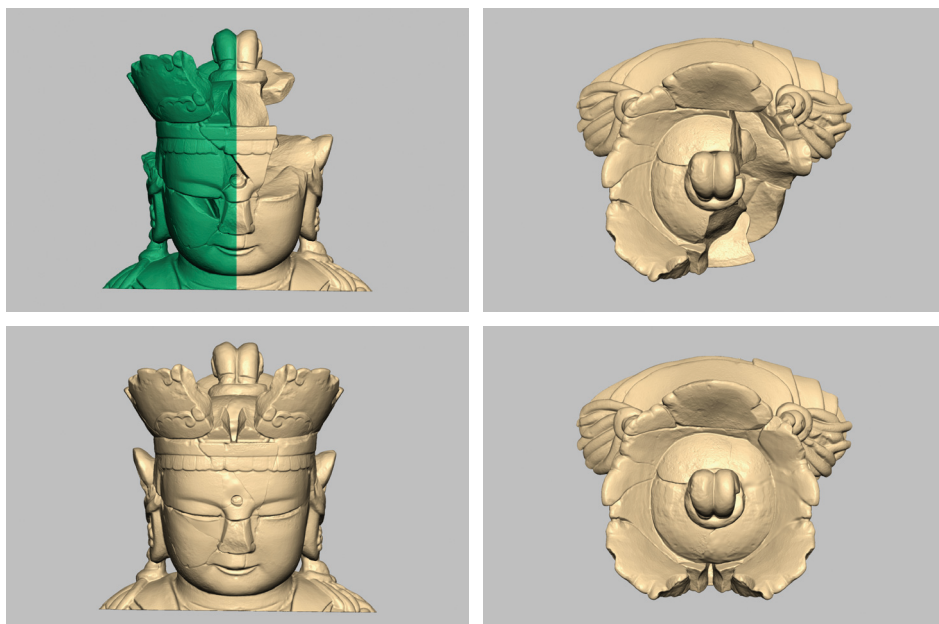


도8. 스캔데이터 정합과 병합 과정

## 2. 결실부 모델링

스캔하여 얻은 최종 데이터는 실물과 마찬가지로 좌측 두상과 보관 부분이 결실되어 있다. 보살상의 얼굴과 보관부분은 서로 대칭을 이루고 있으므로 도9과 같이 오른쪽 실물 데이터를 복제하여 결실부가 있던 공간에 위치시켰다. 이렇게 만들어진 데이터는 본래의 데이터와 어색하지 않도록 자연스럽게 수정 보완하였다. 정확한 위치를 알 수 없었던 보관부 2점의 편을 도10과 같이 결실부에 삽입된 복제 데이터의 외곽선과 문양을 이용하여 화살표로 표시된 위치에 삽입시켰다. 삽입된 좌측의 보관 편 위치가 보살상을 중심으로 우측 보관 편보다 조금 더 남아 있는 것이 확인되어 좌측 편의 1/3 가량의 데이터를 복제하여 우측 대칭부에 위치시켰다. 보관 정면 중앙부 2cm 가량의 결실부는 잔존 편으로는 확인이 어려워 자문회의를 거쳐 영천 은혜사 기기암 보살좌상의 보관의 이미지를 반영하여 모델링 수정 후 도11과 같이 완성되었다.





도9. 복제 데이터 결실부 삽입



도10. 2점의 보관부 편 위치

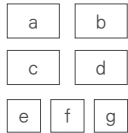


도11. 영천 은혜사 기기암 보살좌상(좌), 완성된 가상복원 모델링(우)



### 3. 결실부 출력

최종적으로 완성된 3D 모델은 SLA(Stereolithography)방식의 Projet 6000HD (United States of America)프린터를 사용해 출력하였다. 모델 데이터를 G-Code로 변환시켜 프린터에 전달 후 UV 아크릴화합물을 사용하여 총 15시간에 걸쳐 출력하였다.



- (a) 불두앞면
- (b) 불두좌측면
- (c) 불두우측면
- (d) 불두뒷면
- (e) 백호
- (f) 눈밑
- (g) 귀



도12. 3D 출력물

## V. 보존처리

### 1. 보존처리 전 상태

보존처리를 위해 표면의 오염성분과 상태를 파악하였다<sup>(도13)</sup>. 불석 표면에는 먼지가 고착되어 있었으며 많은 스크래치가 확인 된다<sup>(도14 a)</sup>. 채색층은 분말화가 진행되었다. 보살상 옷칠의 두께는 일정하지 않고 옷 주름과 같은 굴곡이 있는 부분에 좀 더 두

꺼워 옷칠이 들뜨는 상태가 다르다(도14 b). 도금층은 일부가 벗겨지고 들떠있는 상태이다. 보살상의 바닥면에서 내부 안쪽까지 나무뿌리가 관찰되고 바닥면 표면은 부분적으로 마모되었다. 불상의 보관 뒷부분 단면은 과거에 사용된 접착제가 확인 된다(도14 c).



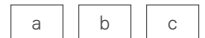
- (a) 정면  
(b) 좌측면  
(c) 우측면  
(d) 배면



도13. 처리 전 상태



도14. 처리 전 세부사진



- (a) 표면 스크래치  
(b) 옷칠  
(c) 이전 접착제

## 2. 세척

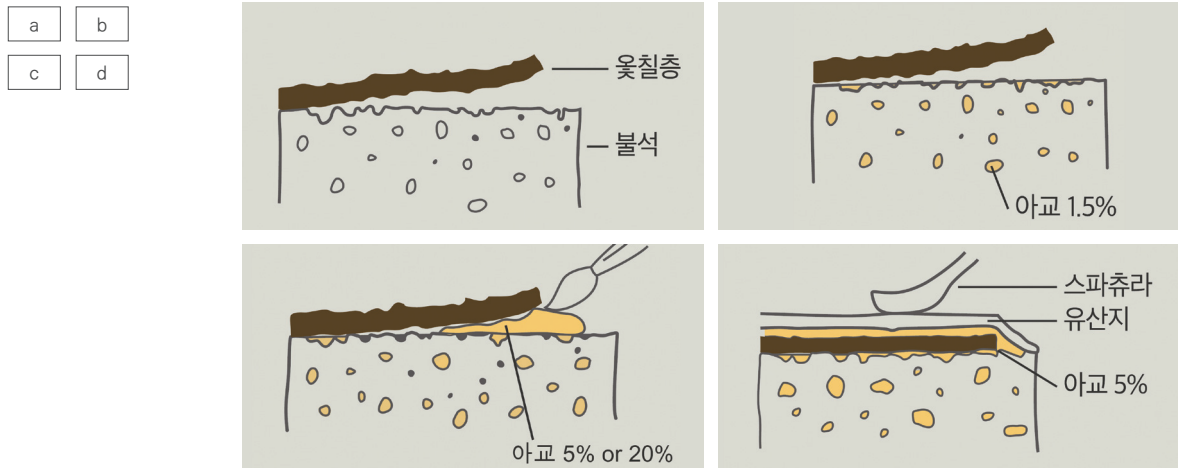
먼지 등의 이물질은 부드러운 붓을 이용하여 털어냈다. 건식세척으로 제거되지 않은 고착된 오염물질은 에틸 알코올(Ethyl Alcohol)과 증류수를 1:1로 혼합하여 면봉에 묻혀 오염물을 닦아냈다. 옷칠과 안료 부분은 세척 과정 중 발생할 2차 손상을 고려하여 습식세척은 하지 않았다. 과거 접합 당시 표면으로 흐른 과량의 접착제는 아세톤(Acetone)으로 제거하였다. 오염물 제거 후 24시간 자연건조하여 세척을 마무리하였다.

### 3. 표면 안정화

건조되어 들뜨고 열화된 옷칠층(도15 a)은 천연접착제인 아교를 사용하여 불석표면에 안정화시켰다. 아교는 증류수에 용해시켜 1.5wt%, 5wt%, 20wt% 농도로 제조하였다. 표면 안정화 과정은 먼저 옷칠층을 안착시킬 바탕층을 만들고 접착시킨 후 건조하는 순서로 진행하였다.

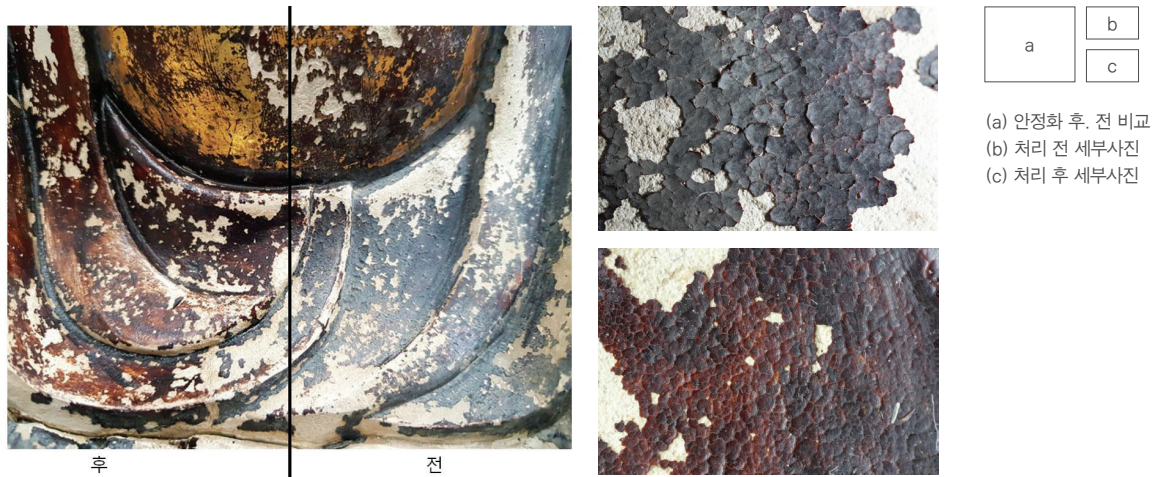
불석은 기공이 많은 석재이기 때문에 옷칠층을 그대로 접착시킬 경우 석재와 옷칠 간의 접촉 면적이 작아 접착력이 떨어질 수 있다. 따라서 옷칠이 안정적으로 고정될 수 있도록 석재 표면에 1.5wt% 아교를 도포하여 기공을 채워 바탕면을 만들어주었다(도15 b).

얇은 옷칠은 높은 농도의 아교를 사용할 경우 건조 후 과량의 아교가 남는다. 반면 옷칠이 두꺼울수록 강도가 크기 때문에 낮은 농도의 아교로 접착하면 건조 후 다시 들뜨는 현상이 발생하였다. 따라서 옷칠층이 얇은 부분은 5wt%, 두꺼운 부분은 20wt% 농도의 아교를 사용하였다(도15 c). 유산지와 아교로 칠층이 부러지지 않고 힘을 고르게 받아 눌러주기 위해 세필붓으로 아교 5wt% 도포하여 접착하였다. 그 후 따뜻한 물에 담가 데운 스파츄라(표면온도: 30~32℃)로 밀어 눌러준 다음 3시간 자연 건조하였다(도15 d).



도15. 표면 안정화 작업 도식화

건조 후에는 80℃ 물을 솜에 적서 물기를 살짝 제거하고, 유산지 위에 올려놓아 표면의 아교를 불린 다음 핀셋으로 유산지를 벗겨냈다. 표면에 남은 여분의 아교는 면봉으로 제거하였다. 안정화 처리 전·후 옷칠 상태는 도16과 같다.



도16. 표면 안정화 전·후 비교도

#### 4. 재질 강화

석조보살좌상의 재료로 사용된 불석은 경도가 6을 넘지 않는 무른 암석이고, 파단면과 접착면은 마모 및 2차 파손의 우려가 있기 때문에 석재강화제(OH-100)로 강화하였다. 석재강화제가 불석 내부에 스며들 수 있도록 주사기를 사용하여 주입하였다(도17). 강화제가 완전 경화될 때까지 1주일간 자연건조 하였으며, 총 4회 실시하였다.



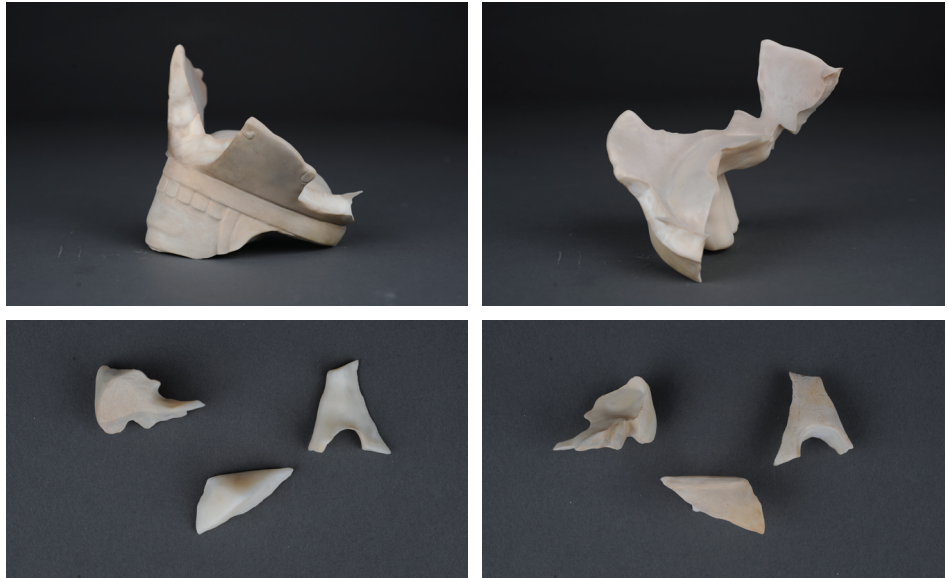
도17. 불두 단면 강화

#### 5. 색맞춤

석조보살상 표면은 유백색 바탕이고, 부분적으로 붉은색과 황색으로 오염되어 있었다. 3D 출력물은 UV 아크릴화합물이며, 표면이 매끄럽고 광택이 있어 보살상에



없으면 이질감이 있었다. 사포(#220, #320)로 표면을 연마하여 요철을 만든 후 에어 브러쉬로 아크릴물감을 분사하여 채색했다. 붓을 사용하는 경우 아크릴 물감이 두 겹게 발리고, 붓자국이 남아 이질감을 더하는 경향이 있어 에어브러쉬를 사용하였다. 아크릴 물감 건조 후 채색층 보호를 위해 matt picture varnish를 덧발라 색맞춤을 마무리하였다(도18).



도18. 3D 출력물 색맞춤 후

## 6. 접합 및 복원

3D 프린터로 출력한 복원부와 파손부의 접착면 사이에는 이격이 있기 때문에 아크릴계 수지 Parloid B-72 50wt%(in Acetone)를 사용하여 접합하고, 접착면 틈으로 시아노아크릴레이트계 순간접착제(AXIA, Axia835)를 흘려 넣어 가장자리 부분을 접합하였다.

보관 편 4개와 오른쪽 귀는 비스듬한 각도로 접합되기 때문에 이들의 무게를 지탱할 수 있는 접착 강도가 필요했다. 따라서 에폭시계 수지인 Araldite (속건성 5분 에폭시, HUNTSMAN)와 시아노아크릴레이트계 순간접착제로 접합하였다.

보관 중심부분은 모델링 형태로 결실부를 100% 복원하여 출력할 경우 접합 시 보관 편 조각과 접합이 불가능 하여 일부 공간을 비워둔 채 출력하였다(도19 a). 보관편과 3D출력물 사이의 빈 공간은 복원부 접합 후 에폭시계 수지 Quick Wood®로 별도 제작하였고, 색맞춤 후 Parloid B-72 50wt%(in Acetone)접합하였다(도19 b).





a b  
(a) 1차 3D 출력물  
(b) 최종 3D출력물 +  
에폭시 수지 복원

도19. 보관 결실부 복원



도20. 석조보살좌상의 보존처리 후 상태

## IV. 고찰 및 결론

3D스캐닝과 3D프린팅 기술을 활용하여 전체적인 형태와 손상정도를 파악하여 정확한 형태 복원이 불가능한 결실부를 복원하였다. 표면 장식에 사용된 안료의 종류를 파악하기 위하여 광학 현미경으로 관찰하고 이동형 X-선 형광분석기(p-XRF, Potable X-ray Fluorescence Analyzer)로 주성분을 분석한 후 보존처리하였다. 보존처리, 조사·분석, 3차원 디지털 기술을 활용한 복원 결과는 다음과 같다.

첫째, 석조보살좌상 표면은 오랜 시간 외부에 노출되어 들뜬 부분이 많고 박락이 진행되어 취약한 상태였다. 따라서 천연 접착제인 아교로 접합하고, 물리적 손상을 최소한으로 하였다. 옷칠 안정화 과정에서 얇은 옷칠층은 5wt%농도의 아교를 사용하였으며, 두꺼운 옷칠은 20wt% 아교를 사용하였다.

둘째, 현미경 조사 결과 표면장식은 바탕재료인 불석 위에 칠→도금→안료(흰색, 적색) 순서로 채색되었음을 확인하였다.

셋째, 복원부는 석조보살좌상 3D스캔 데이터를 활용하여 남은 부분을 대칭시켜 출력하였다. 출력된 복원부는 수정·보완을 거쳐 접합·복원하였다. 3차원 디지털 기술을 이용한 복원작업은 짧은 시간 안에 원하는 형태를 제작할 수 있다는 것이 장점이었다. 그러나 파손 부위가 굴곡져 있어 이격 없이 삽입하기 어려우며, 출력물의 접합부 수정·보완 작업이 여러 차례 필요하였다. 또한 다양한 출력재료들이 개발되고 있으나 이를 유물과 접합하기 위한 물성연구가 되어있지 않아 접착제 선택에 있어 어려움이 있었다. 따라서 이러한 문제점은 향후 심도깊은 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 국립문화재연구소, *안료 비파괴 분석 길라잡이*, p21, 국립문화재연구소, 대전, (2016).
2. 이희정, 조선후기 경상도지역 佛石製 佛像의 등장과 유형, *불교미술사학* **14**, p35-70, (2012).
3. 조연태, 석조불좌상(石造佛坐像)의 보존과 과학적 특성 연구, *박물관보존과학* **12**, p1-7, (2011).
4. 이해순·위광철, 3D 프린팅을 이용한 백지수주의 복원 연구, *박물관보존과학* **16**, p112-137, (2015).
5. 한국광물자원공사, 광물자원용어사전, <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=400612&cid=42441&categoryId=42441>, (2018).