

조선시대 백자 연적 편(片)을 활 용한 3차원 디지털 복원 기술 연구

A Study on the 3D Digital
Restoration Technology Using
a Shard of a Joseon Dynasty
White Porcelain Water
Dropper

신우철¹, 김경중², 위광철^{3,*}

¹한서대학교 문화재보존과학연구소

²경기도자박물관

^{3*}한서대학교 문화재보존학과

Shin Woocheol¹, Kim Kyungjoong²,
Wi Koangchul^{3,*}

¹The Research Center of Conservation Science
for Cultural Heritage, Hanseo University

²Gyeonggi Ceramic Museum

^{3*}Department of Cultural Heritage
Conservation, Hanseo University

요약

일부분만 편으로 발굴된 도자기의 경우 원형의 형태를 유추하기 어려워 복원에 한계가 있다. 수작업 방식에 한계가 있는 경우, 디지털 기술을 통해 복원이 이루어지고 있는데, 도자기의 원형을 추정하고 복원의 방향성을 설정한다. 본 연구에서는 디지털 기술에 대한 정보를 획득하고, 활용 가능성을 확인하기 위해 백자연적 편을 대상으로 디지털 복원을 진행하였다. 결과, 문양과 색상 정보가 입혀진 3차원 데이터를 획득하였으며 하나의 편을 통해 원형의 모습을 확인하였다. 이러한 기술은 유물과의 최소한의 접촉으로 손상 가능성을 최소화할 수 있다. 디지털 기술은 추정복원으로 왜곡의 위험성이 항상 존재하며 사용자의 숙련도에 따라 결과물의 차이가 나타나므로 주의가 필요하지만, 도면화 작업 등 활용 가능성이 뛰어날 것으로 판단된다.

주제어 : 3D 스캐닝, 3D 모델링, 텍스처 매핑, 디지털 복원, 디지털 활용

Abstract

The restoration of ceramics excavated in fragments is limited by the difficulty of inferring the overall shape of the original object. However, recent innovations in digital technology can help to overcome the limits of conventional restoration using handwork. This study explored the potential of digital technology by digitally restoring a shard from a white porcelain water dropper excavated at a kiln site at Sindae-ri. In order to complete the digital restoration, 3D scanning was applied to obtain scan data, and 3D modeling and texture mapping were performed. In this way, three-dimensional data with patterns and color information was acquired and the original form of the water dropper could be ascertained based on the shard. The study found that the data acquired from digital restoration can be used for various purposes, including for obtaining data on cross-sections or missing portions of a relic.

Keywords : 3D scanning, 3D modeling, Texture mapping, Digital restoration, Digital utilization

* Corresponding Author:
Wi Koangchul

Tel : 82-041-660-1043

E-mail : kcwi@hanseo.ac.kr

투고일: 2019.10.6.

심사(수정)일: 2019.11.1.

게재확정일: 2019.11.10.

1. 서론

광주 조선백자 요지는 1467년부터 1883년까지 사옹원 분원이 설치되어 운영되었던 곳으로, 현재까지 약 400 여기의 요지가 확인되었다. 그중 중요성이 인정되는 78 개소의 요지는 국가사적 제314호로 지정되어 보존·관리되고 있다. 광주에서는 분원 설치 전부터 질 좋은 백토를 이용하여 왕실에 공납하는 자기를 생산하고 있었으며 가마터의 특성상 많은 양의 조선백자가 출토되고 있다.

출토된 도자기 유물은 온전히 발굴되는 경우보다 수많은 편(片)의 상태로 발굴되는 경우가 빈번한데, 이는 도자기를 고온에서 굽는 과정에서 수축 현상으로 인해, 상품성이 떨어져 깨진 상태로 버려진 도자기가 많기 때문이다. 이 외에도 도굴, 토압, 식물 뿌리, 토양 내 염분, 발굴 후 급격한 환경의 변화 등 다양한 원인에 의해 파손된 상태로 발굴된다.

발굴된 도자기는 편(片)의 분류가 가능하고, 결손된 부분의 형태를 확인할 수 있는 경우 보존·복원되고 있으나, 일부분만 편(片)으로 발굴된 경우 원형의 형태를 유추하기 어려워 보존·복원에 한계가 있다.

최근 디지털 기술의 발달로 수작업을 통한 보존·복원에 한계가 있는 경우, 디지털 기술을 통해 보존·복원이 이루어지고 있다. 디지털 기술을 활용한 문화재의 보존·복원은 2003년 유네스코에서 발표된 '디지털 문화유산과 보존에 대한 헌장'^[1]을 토대로 연구·개발되고 있으며, 문화재의 기록화, 복원, 활용 등의 내용이 중점적이다.

디지털 복원은 전승되어온 유·무형의 문화유산을 디지털 기술을 통해 가상공간에 원형의 모습대로 복원, 활용될 수 있도록 디지털 데이터화하는 것을 말한다. 디지털 기술을 활용한 유물 복원은 리버스 엔지니어링의 활용으로 실물 복원에 앞서 결과물을 예측할 수 있으며 이는 유물의 손상을 최소화할 수 있다는 장점이 있다^[2]. 우리나라에서는 2016년 국립중앙박물관에서 소장 유물인 백자 수주를 대상으로 디지털 기술을 통해 실물 복원한 사례가 있으며 이후 디지털 기술은 문화유산의 보존·복원에 활발히 활용되고 있다.

디지털 기술을 활용한 기록화는 기존의 필름, 도면, 사진 등 아날로그 방식으로 기록된 것을 3D 스캐닝, 프린팅, 전자 도면 등 멀티미디어 디지털 기기에서 이용할 수 있는 방식으로 표현하는 것을 말한다^[3].

이에 본 연구에서는 경기도자박물관에서 발굴한 신대리 요지 출토 백자철화죽문 팔각형연적 편을 대상으로 하여 디지털 복원을 진행하고자 한다. 3D Scanning을 통해 현재 상태를 기록하고, 일부분의 편을 통해 원형의 모습을 유추, 디지털 복원하고자 한다. 복원된 데이터는 Texture mapping을 통해 문양 및 색상을 입혀 유물 복원 및 도면화 작업 등 디지털 기술의 활용 가능성을 판단하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

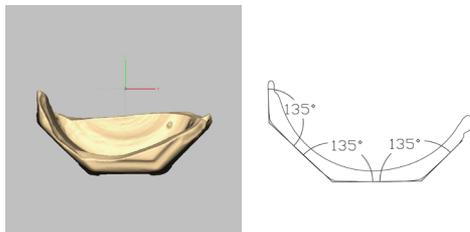
연적은 벼루에 사용하기 위한 물을 담아두는 그릇으로, 먹을 갈거나 물감을 풀 때 적절한 양의 물을 부어주는 도구이다. 형태는 대부분 내부가 보이지 않는 닫힌 형태에 두 곳에 작은 구멍이 뚫려있다. 하나는 공기가 연적 안으로 들어가는 숨구멍이며 다른 하나는 용기 내부의 물이 밖으로 나오는 물구멍이다. 물구멍을 아래쪽으로 기울이고 다른 숨구멍을 손가락 끝으로 여닫아 내부로의 공기압력을 조절함으로써 소량의 물방울이 배출되도록 한다^[4].

삼국시대 이후 벼루와 함께 연적도 함께 쓰였을 것으로 추정되며, 고려시대에는 주로 청자연적을 만들었다. 조선 시대에는 백자로 된 연적이 발달하면서 원형 및 다각형, 상형 등 다양한 형태로 만들어졌다.

신대리 요지에서 출토된 백자철화죽문팔각형연적 편은 회청색을 띠는 유약 위에 철화 안료를 사용하여 죽문을 부분적으로 시문하였다. 굽은 투각 되어 있으며 상면에 하나의 단을 두고 있는 것이 특징이다^(도1). 모서리와 면의 개수, 외면의 각도를 측정한 결과, 외면의 각도는 135° 로 팔각형 연적으로 확인되며 3개의 면이 연속되는 형상으로 온전히 남아있어 이를 활용한 디지털 복원이 가능할 것으로 판단된다^(도2).



도1. 백자철화죽문팔각형연적, 경기도자박물관



도2. 스캔 데이터 및 외면 각도

2.2. 연구방법

본 연구는 복원 범위 설정 → 3D Scanning → 3D Modeling → Texture mapping → 디지털 복원 활용방안 순으로 진행하였다.

3D Scanning은 대상물에 광원을 투사하여 3차원의 형상정보를 획득하는 기술로, 획득한 데이터는 3D Modeling에 활용하였다. 고정밀의 데이터를 획득하기 위해 턴 테이블과 연동되는 고정형 3D 스캐너(EinScan-pro+, Shining 3D 社, China)를 사용하였는데, 최대 0.05mm의 정확도를 가질 수 있게 설정하여 Scan을 진행하였다.

3D Modeling은 가상의 3차원 공간 속에서 수학적 모델을 만들어 가는 과정을 말한다. 본 연구에서는 3D Scanning을 통해 획득한 데이터를 활용하여 결손부를 생성, 디지털 복원을 진행하였다. 촉각과 힘 등 운동감을 느낄 수 있는 Haptice device인 3D pen 장치(Touch Haptic, 3D Systems 社, America)와 연동 프로그램(Freeform, 3D Systems 社, America)을 통해 정밀도가 요구되는 형태 및 문양 복원 작업을 진행하였다.

Texture mapping은 2차원의 이미지를 점, 선, 면으로 구성된 3차원 물체 표면에 적용시키는 과정을 말한다. Texture mapping은 모델링, 렌더링 등 다양한 기능을 제공하는 소프트웨어(3Ds Max, AutoDesk 社, America)를 사용하였다. High Polygon 데이터를 Low Polygon 데이터로 변환하기 위해 Mesh의 수를 줄여주었으며, Unwrap UVW를 통해 3차원 대상물의 전개도를 획득하였다. 획득한 전개도는 그래픽 편집기 소프트웨어(PhotoshopCC, Adobe System 社, America)를 활용하여 색상 정보를 구현하였으며, 3차원 대상물에 적용하여 디지털 복원을 마무리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 복원 범위 설정

복원 범위 설정은 기존의 원형 유물과 비교를 통해 복원 범위 및 방법에 대한 방향성을 설정하는 과정이다. 본 연구의 대상물인 백자철화죽문팔각형연적 편은 유물의 40%만 원형이 남아있어 왜곡이 발생하지 않도록 주의하여 진행하였다.

신대리 요지에서 출토된 백자철화죽문팔각형연적 편^(E1)은 회청색을 띠는 유약 위에 철화 안료를 사용하여 죽문을 부분적으로 시문하였다. 굵은 투각 되어 있으며 상단에 하나의 단을 두고 있는 것이 특징이다. 유물의 대부분이 결손되었지만, 남아있는 모서리의 개수를 통해 팔각 연적임을 추정할 수 있다.

현전하는 대표적인 백자팔각연적은 보물 제1458호인 백자청화철화시명나비문 팔각연적^(E3)과 보물 제1329호인 백자청화소상팔경문팔각연적^(E4)이 있다. 두 유물은 모두 팔각 기둥모양의 연적으로 가장자리에는 팔각 형태의 단을 만들었고 밑면

의 모서리에 꺾쇠 모양의 굽을 여덟 개 세웠다. 윗면은 편평하며 중앙부에 숨구멍을 내었다. 두 유물은 형태가 매우 유사하나 물구멍의 위치가 다르다는 차이점이 존재하는데, 백자청화철화시명나비문팔각연적의 경우 모서리에 물구멍이 부착되어 있으며, 백자청화소상팔경문팔각연적은 한 면에 물구멍이 부착되어 있다.

본 연구의 대상물은 일부분 남아있는 상면에서 하나의 단을 확인할 수 있는데, 이는 백자청화철화시명나비문팔각연적과 형태가 매우 유사하다. 또, 굽의 형태 및 시문 된 기법을 살펴보면 매우 유사한 형태임을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 백자청화철화시명나비문팔각연적의 형태와 유사하게 디지털 복원을 진행하였다.



도3. 백자청화철화시명나비문팔각연적, 조선18C, 호림박물관



도4. 백자청화소상팔경문팔각연적, 조선19C, 국립중앙박물관

3.2. 디지털 복원

3.2.1. 3D Scanning

3D Scanning은 대상물에 광원을 투사하여 3D 형상정보를 획득하는 기술이다. 스캔 데이터는 유물의 현재 상태를 기록하고 활용하기 위한 기초 데이터로, 높은 정밀도를 지닌 스캐너를 통해 획득되어야 한다. 본 연구에서는 EinScan-Pro(Shining 3D 社, China) 스캐너^(E7)와 턴테이블의 연동을 통해 흔들림 없이 최대 0.05mm의 정확성을 지닌 고정밀 데이터를 획득하였다. 턴테이블을 활용하여 저부, 몸통부, 구연부를 60도 간격으로 각 6회, 총 18회를 스캔하여 광원이 닿지 않는 사각지대를 최소화하였다. 중첩된 데이터를 기준으로 스캔 데이터를 병합하였으며 형상정보 및 texture 데이터를 획득하였다. 3D 스캔은 디지털 복원 대상인 백자청화죽문팔각형연적 편^(E5)과 백자연적 편^(E6)을 대상으로 진행하였다. 백자연적 편은 물구멍이 온전히 남아있는 편으로 후에 3D Modeling 과정에서 물구멍 데이터로 활용하기 위해 3D 스캔을 진행하였다.



도5. 백자철화죽문팔각형연적 편(좌), 스캔 데이터(우) 도6. 백자연적 편(좌), 스캔 데이터(우)



도7. EinScan-Pro+



도8. Touch Haptic

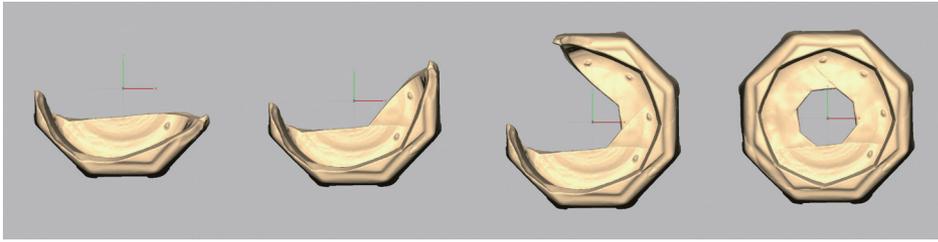
3.2.2. 3D Modeling

3D Modeling은 가상의 3차원 공간에서 수학적 모델을 만들어 가는 과정을 말한다. 획득한 스캔 데이터를 활용하여 결손된 부분의 디지털 복원을 진행하였다. 디지털 복원은 최대한 원 유물과 유사하게 진행하기 위해 데이터의 활용도를 최대한 높였으며, 결손되어 확인할 수 없는 부분만 백자청화철화시명나비문팔각연적을 참고하여 복원을 진행하였다. 복원 과정은 옆면 복원 → 바닥면, 윗면 복원 → 물구멍 복원 → 숨구멍 뚫기 순으로 진행하였다.

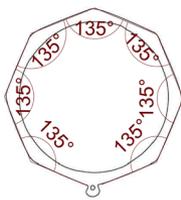
본 연구에서는 Haptic device인 3D Pen 장치^(E8)를 활용하여 디지털 복원을 진행하였는데, Haptice device는 사용자가 직접 촉각과 힘 등 운동감을 느끼게 하는 기술로써, 보다 정확하고 빠른 작업을 할 수 있도록 도와준다.

대상물인 백자철화죽문팔각형연적 편은 8개의 면 중 3개의 면이 온전히 남아있었는데, 축을 기준으로 회전하여 옆면의 형태를 가장 먼저 잡아주었다. 옆면은 원 데이터를 총 3번 복사, 회전하여 하나의 데이터로 완성하였다^(E9). 결손된 부분에 데이터를 위치하고, 면을 자연스럽게 연결·병합하는 과정에서 각 면의 곡률이나 편평도는 일정하지 않고 왜곡될 가능성이 존재하는데, 외면의 각도를 기준으로 모델링을 진행하여, 각 면의 곡률이 크게 왜곡되지 않도록 하였다^(E10).

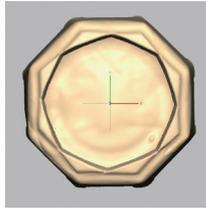
완성된 옆면의 형상을 기준으로 결손된 바닥면과 윗면을 채워 평평한 하나의 면으로 만들었으며 이를 통해 전체적인 형상을 완성하였다^(E11, 12).



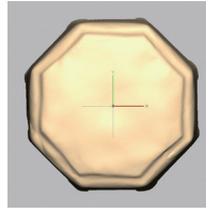
도9. 중심 축 회전을 통한 형상 복원 과정



도10. 복원 후 외면 각도



도11. 바닥면 복원

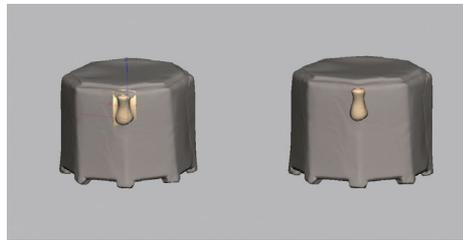


도12. 뚜껑면 복원

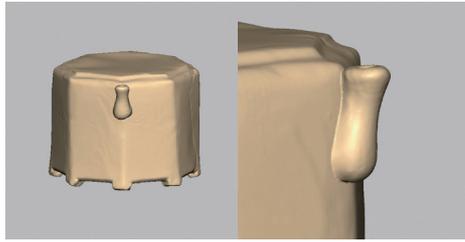
물구멍 부분은 인위적으로 복원하지 않고 현존하는 유물의 물구멍 부분 스캔 데이터를 획득하여 병합하였다. 백자연적 편을 3D 스캔하여 스캔 데이터를 획득하고, 물구멍 부분의 데이터만 편집하였다^(도13). 전체적인 형태를 복원한 대상물의 알맞은 부분에 위치시킨 후 Boolean 작업을 통해 하나의 데이터로 결합하였다^(도14, 15). 이후 다양한 Tool을 활용하여 표면 및 질감처리를 진행하였으며 물구멍과 윗면에 숨구멍을 뚫어주어 형상 복원을 완료하였다^(도16).



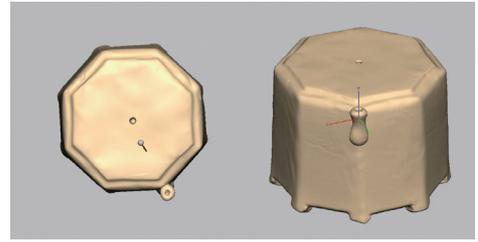
도13. 물구멍 스캔 데이터 편집



도14. 물구멍 데이터 위치 및 면 정리



도15. 물구멍 결합 및 표면처리



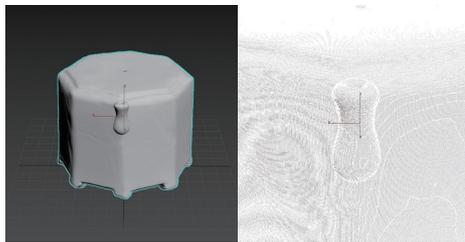
도16. 숨구멍 뚫기(좌), 형상 복원 완료(우)

3.2.3. Texture mapping

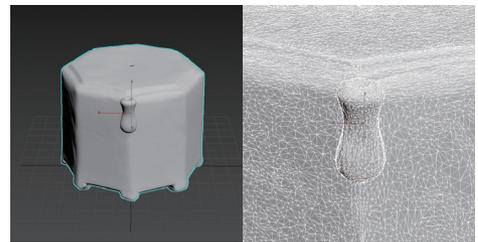
Texture mapping이란 사실감 있는 입체 데이터를 제작하기 위해 2차원의 이미지를 점, 선, 면으로 구성된 3차원 물체 표면에 적용시키는 과정을 말한다. 3차원 물체의 전개도를 2차원의 이미지로 펼친 후 채색을 진행하였다. 채색된 전개도는 다시 3차원 물체의 표면에 적용시켜 Texture mapping을 통해 마무리하였다.

3D Scanning과 3D Modeling 과정을 통해 획득한 형상 복원 데이터는 High polygon 데이터이다. 높은 정밀도로 인해 데이터의 크기가 무거워 Texture mapping 작업에 부적합하였다. 따라서 High polygon 데이터를 Low Polygon 데이터로 변환하는 과정이 필수적으로 진행되어야 한다.

Polygon은 면을 이루고 있는 다각형인데, Polygon의 수가 낮아지면 데이터의 정밀도도 함께 낮아지는 단점이 있다. 본 연구에서는 데이터의 정밀도에 크게 변화가 없는 선에서 Polygon의 수를 감소시켜 작업을 진행하였는데, 기존 2,632,104개^(도17)에서 5%인 131,604개^(도18)로 변환하였다.



도17. 100% 정밀도 및 Polygon 형태



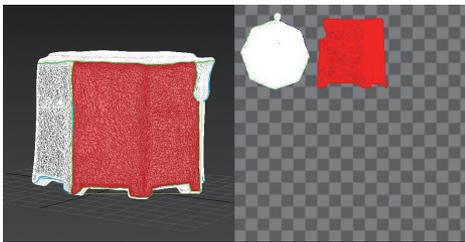
도18. 5% 정밀도 및 Polygon 형태

Unwrap UVW는 간단히 표현하면, 3차원인 대상물을 2차원의 전개도로 펼치는 과정이다. Unwrap UVW를 통해 획득한 전개도를 통해 최종적인 Texture mapping이 완료되므로 가장 중요한 단계이다. 전개도는 채색을 위해 겹쳐진 부분이 없도록 2차원의 이미지로 펼치는 과정이 가장 중요한데, 본 연구에서는 윗면, 아랫면, 옆면,

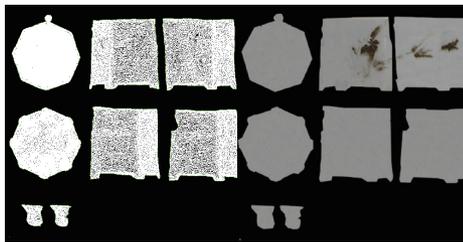
물구멍 부분으로 구분하였다. 옆면은 다시 2면씩 총 4부분으로 분리하였으며 물구멍은 3부분으로 분리하여 겹쳐진 부분이 없도록 하였다^(도19).

겹치는 부분이 없도록 펼쳐진 2차원 전개도는 PhotoShop CC 소프트웨어를 활용하여 채색을 진행하였다. 3D 스캔 과정을 통해 획득한 Texture 데이터와 유물 사진 촬영을 통해 획득한 색상 정보를 활용하여 전개도 위에 재구성하여 채색을 진행하였다^(도20). 이때, 2차원 전개도의 색상 정보는 3차원 표면에 적용했을 때, 굴곡으로 인해 문양의 위치가 변하게 된다. 적용 후 수정과정을 거쳐 이러한 이질감을 최소화 하였다.

채색이 완료된 2차원 전개도는 다시 3차원 대상물에 적용하여 Texture mapping 을 완료하였다. 위 과정을 통해 백자철화죽문팔각형연적 편의 디지털 원형복원을 완료하였다^(도21, 22).



도19. 전개도 펼쳐기



도20. 채색 전 전개도(좌), 채색 후 전개도(우)



도21. 백자철화죽문팔각형연적 편의 디지털 원형복원 전.



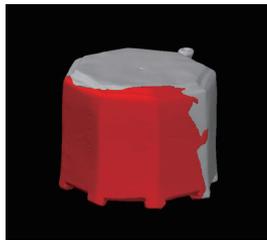
도22. 백자철화죽문팔각형연적 편의 디지털 원형복원 후

3.2.4. 디지털 복원 활용방안

디지털 기술의 장점은 3D Scanning을 통해 획득한 3차원 데이터를 다양하게 활용할 수 있다는 점이다. 3D 스캐너를 통해 유물의 현재 상태를 3차원의 데이터로 기록할 수 있으며, 획득한 데이터는 3D Modeling을 통해 결손부를 복원할 수 있다. 복원된 데이터^(도23, 24)는 3D 프린터를 통해 출력하여 실물 복원에 활용할 수 있으며 복원에 앞서 결과물을 확인하고, 수정 작업이 가능하다.

유물의 도면화 작업은 유물의 정확한 형태, 사용 흔적 등 관찰 결과를 그림으로 나타내어 기록한 것인데, 유물 정보를 보존하고 전달하는 중요한 수단이다. 과거에는 바디, 측정자 등을 이용하여 수작업으로 그렸으며 최근에는 캐드나 일러스트레이터 등을 이용하여 전자 도면화 작업이 이루어지고 있다. 3D 디지털 기술을 활용하면 유물의 도면화 작업도 손쉽고 빠르게 진행할 수 있는데, 소프트웨어를 활용하여 원하는 부분의 단면 정보를 획득할 수 있으며 단면에 대한 치수 정보도 손쉽게 획득할 수 있다^(도25, 26).

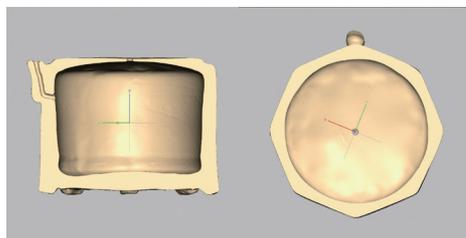
또 Texture mapping을 통해 사실감 있는 입체 데이터는 사이버 박물관, 영상기기를 활용한 전시 등 다양한 방법으로 전시효과를 기대할 수 있는데, 유물에 대한 정보가 없어도 도자기 편 한 조각으로 원형의 모습을 확인할 수 있도록 한다. 이처럼 디지털 기술을 활용한 복원은 복원 외에도 기록화, 도면화, 디지털 전시 등 다양하게 활용할 수 있다.



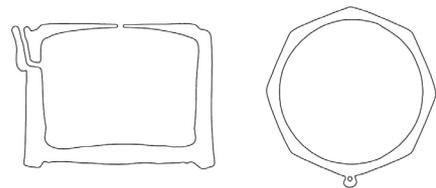
도23. 원 유물(붉은색)과 복원된 데이터(회색)



도24. 복원된 데이터



도25. 복원된 백자철화죽문팔각형연적의 단면정보



도26. 복원된 백자철화죽문팔각형연적의 도면화

4. 맺음말

본 연구에서는 백자철화죽문팔각형연적 편을 대상으로 디지털 복원을 진행하였다. 디지털 복원을 통해 원형의 모습을 유추할 수 있었으며 디지털 복원에 대한 주의사항 및 장·단점을 다음과 같이 정리하였다.

첫째, 디지털 복원은 일부분의 편을 가지고도 유물형태의 자료들이 남아있다면 디지털 기술을 통해 원형의 형태를 구현할 수 있다. 하지만 정확한 기록이나 동일한 유물이 남아있지 않는 이상 추정에 불과하며, 유물의 오류 및 왜곡된 정보를 전달할 수 있다. 따라서 유물에 대한 자료조사 및 전문가와의 협의, 고증 등이 선행되어야 한다.

둘째, 원 유물의 데이터를 최대한 활용하여 복원된 데이터의 이질감을 최소화하여야 한다. 결손부에 대해 인위적으로 복원하기보다는, 현존하는 유물이 존재한다면 이를 활용해야 한다. 본 연구에서는 연적의 물구멍 부분이 결손되었는데, 물구멍 부분이 온전히 존재하는 다른 백자연적의 3D 스캔 데이터를 획득하여 물구멍 복원을 진행하였다.

셋째, 획득한 데이터는 손쉽게 도면화 및 실측을 진행할 수 있으며 디지털 전시 등 다양하게 활용할 수 있다. 디지털 복원된 데이터는 색상 정보를 지니고 있어 사실감 있는 정보 전달이 가능하다. 하지만 3D 스캐너와 사진 촬영을 통해 획득한 색상 정보는 유물의 원 색상표현을 정확히 나타내지는 못하므로 전시에 활용할 경우 수정·보완이 필요하다.

넷째, 디지털 복원을 통해 획득한 결손부 데이터는 비접촉식 방법으로 복원을 진행할 수 있다. 3D 프린터를 통해 결손부를 출력하여 실물 복원을 진행할 수 있지만, 출력물의 재질적 이질감, 수축 현상 등의 문제점도 나타난다. 결손부를 축소하여 출력한 뒤 표면에 기존 복원제를 올려 '지지대'의 역할로 활용하는 등의 추가적인 연구가 필요하다. 비접촉식으로 복원이 진행되므로 유물에 대한 손상 가능성을 최소화할 수 있다.

다섯째, 디지털 기술을 활용하기 위해서는 다양한 기기와 소프트웨어가 필요하다. 본 연구에서는 3D 스캐너를 통해 데이터를 획득한 뒤, 다양한 모델링 기기와 프로그램을 사용하였다. 이처럼 3차원 디지털 과정은, 하나의 기기 또는 프로그램이 아니라 다양하게 사용되므로, 일반적인 접근이 어렵다.

최근, 디지털 기술은 문화유산에 적용되어 다양한 방법으로 활용되고 있다. 국내에서는 실제 유물을 대상으로 디지털 기술을 활용한 복원 및 전시가 이루어지고 있으며 지속적으로 발전하여 디지털 기술의 활용 가능성이 매우 크다. 하지만 디지털 기술은 다양한 소프트웨어와 기기를 활용할 수 있는 전문적인 지식이 필수적이기에

문화유산을 다루는 연구자에게는 일반적인 접근이 어렵다. 디지털 기술을 활용한 유물 복원은 3D 프린터의 재질적 이질감 등 다양한 문제가 존재하며 도면화 작업은 시간 단축 및 정확성 등의 장점이 있으나 문양의 표현 등에는 한계가 있어 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구를 통해 3차원 디지털 기술에 대한 정보를 획득하고 나아가 다양한 방면에서 활발한 연구가 이루어지길 바란다.

참고문헌

1. UNESCO, Charter on the Preservation of Digital Heritage, http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SE, (2019).
CTION=201.html
2. 이해순, 3차원 디지털 기술을 활용한 도자기 복원 연구, 한서대학교 일반대학원 문화재학과, 박사학위논문, p149, (2016).
3. 이강훈·김일민·조세홍, 문화유산 디지털 복원 프로젝트 사례 및 활용 연구, 한국디지털 콘텐츠학회지 **5(1)**, p4, (2009).
4. 안지인, 조선 백자 연적의 현대적 재해석, 서울대학교 대학원 디자인학부 도예전공, 석사학위논문, p.3, (2015).
5. 오승준, 위광철, 3차원 디지털 기술을 활용한 도자기 복원 방법 비교 연구, 문화와 융합 **40(2)**, p595-614, (2018).