

# 경주 서봉총 출토 금관(보물 339호)의 보존처리와 제작기법 연구

Conservation Treatment and  
Production Technique of the  
Golden Crown (Treasure  
No. 339) Excavated from  
Seobongchong Tomb in  
Gyeongju

권윤미\*

국립춘천박물관

Kwon Yoonmi\*

Chuncheon National Museum

\* Corresponding Author :  
Kwon Yoonmi

Tel : 82-33-260-1535

E-mail : happycon@korea.kr

## 요약

본고는 경상북도 경주시 노서동 129호분(서봉총)에서 출토된 금관(보물 339호)의 보존처리와 제작기법 조사결과를 정리한 것이다. 서봉총 금관은 일제강점기인 1926년 조선총독부박물관에서 진행한 발굴조사를 통해 출토되었으며, 현재 국립중앙박물관 소장품이다. 국내에 현존하는 신라 금관은 총 6점으로, 그 중 서봉총 금관은 신라 금관의 전형을 보이면서도 새장식이 달린 돔형의 반구형장식이 존재하는 유일한 사례이다. 출토이후 금속재료와 접착제 등으로 수리되었으나, 형상이 일부 변형되고 수리재료로 인한 금관의 손상이 야기되어 보존처리를 진행하였다. 이 글에서는 서봉총 금관의 보존처리 및 원형복원의 전 과정과 특히 유물의 안정성을 위해 중점을 둔 접합부 보강 방법을 상세히 서술하고, 보존처리 중 조사를 통해 확인된 제작과정의 특징을 소개하고자 한다. 또한 서봉총과 유사형태의 신라관의 제작기법을 비교하여 서봉총 금관과 다른 신라관의 관계성을 검토하고자 하였다. 서봉총 금관의 제작당시 기본 장식은 금제 영락이었으며, 이후 세움장식의 영락 일부를 곡옥으로 교체하고 관테에는 곡옥을 새로 연결하여 장식을 수정한 정황을 새롭게 확인하였다. 이러한 현상이 다른 금관에도 적용되었는지 알아보기 위해 국내 신라 금관 6점의 장식기법을 모두 비교한 결과 천마총 출토 금관에서 동일한 방식의 수정 흔적과 여러 유사성을 확인하였다.

**주제어** : 금관, 서봉총, 보존과학, 고대금속, 제작기술

## Abstract

This study summarized the results of the conservation treatment and investigation on the production method of the golden crown (Treasure No. 339) excavated from Tomb No. 129 (also known as Seobongchong Tomb) in Noseo-dong, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do Province. The golden crown from Seobongchong Tomb was discovered during the excavations conducted by the Museum of the Government-General of Korea in 1926 during the Japanese colonial era. It is currently in the collection of the National Museum of Korea. A total of six Silla golden crowns have survived in Korea, among which the crown from Seobongchong Tomb is the only example with a dome-shaped hemispherical decoration attached with a bird ornament while otherwise showing the typical features of Silla crowns.

The crown had been repaired following its excavation using metallic materials and adhesives, but due to the partial deformation and damage brought about by the repair materials, it required further conservation treatment. This article describes in detail the overall process of the conservation treatment and the restoration of the original form of the golden crown from Seobongchong Tomb, particularly the method of reinforcing the joints to secure the stability of the crown. It presents the characteristics of the crown's production as revealed in the investigation during the conservation treatment, and further analyzes the relationship of this crown from Seobongchong Tomb with other Silla crowns through a comparison of their production techniques.

The investigation revealed that the crown was primarily decorated with golden sequins at the time of its production. At a later point some of the sequins in the upright ornament were replaced with comma-shaped jade beads and additional comma-shaped jade beads were added to the headband. In order to determine if such modifications to the decoration had occurred with other Silla crowns, the decoration of the six extant Silla golden crowns were investigated. The crown from Cheonmachong Tomb features traces of this same modification to the decoration and possesses other similarities with the crown from Seobongchong Tomb.

**Keywords** : Golden crown, Seobongchong Tomb, Ancient metal, Production technique

투고일: 2021.10.01. 심사(수정)일: 2021.10.13. 게재확정일: 2021.10.28.

## 1. 서론

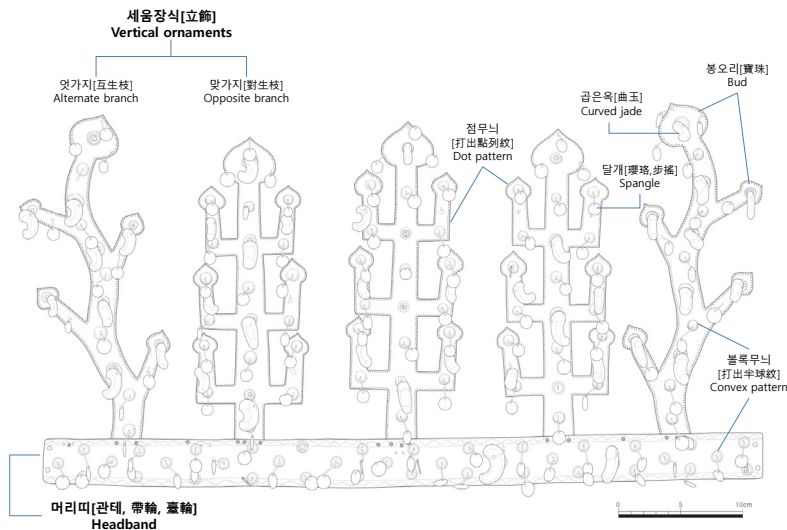
서봉총은 경상북도 경주시 시내지역에 위치한 신라시대의 적석목곽분으로, 노서리 129호분이라고도 불린다. 일제강점기인 1926년에 최초로 발굴조사되었으며, 2016~2017년 국립중앙박물관에서 재발굴조사를 진행하여 무덤의 규모와 구조, 제사와 관련된 유구들을 새롭게 확인한 바 있다<sup>[1]</sup>.

서봉총에서는 금관을 비롯하여 금제 수하식, 금제 이식, 금제 과대 등의 장신구류, '延壽元年'명 은제합, 칠기, 유리용기, 각종 마구류, 농공구등 다양한 매장품이 출토되었으며, 무기류가 부장되지 않는 점들을 통해 피장자의 성별을 여성으로 유추하고 있다<sup>[2]</sup>. 서봉총에서 출토된 수많은 부장품 중 금관은 무덤의 명명에 중요한 요인이 되었는데, 1926년 당시 발굴현장에 방문한 스웨덴의 왕족이자 고고학자였던 구스타프 아돌프 왕세자의 발굴참여를 계기로 스웨덴의 한자표기인 '瑞典'의 '서(瑞)'와 금관의 새 장식에서 연유한 '봉(鳳)'을 합쳐 서봉총(瑞鳳塚)이라 명명하였다.

현재까지 국내에서 확인된 신라 금관은 총 6점으로, 발굴로 확인된 금관은 황남대총 북분과 금관총, 서봉총, 금령총, 천마총 출토품 등 5점이며 나머지 1점은 도굴 후 국가에서 압수한 금관으로 경주시 교동의 폐고분에서 도굴된 것으로 알려져 있다. 신라 금관의 기본구조는 머리띠 형태의 관테에 나뭇가지 모양의 세움 장식을 리벳으로 고정한 것으로, 교동 금관을 제외한 5점의 금관은 모두 정형화된 양식을 보이고 있다. 도1은 신라 수지형대관의 부분 명칭으로 도면은 서봉총 보고서를 일부 수정하여 표기하였다<sup>[2],[3]</sup>. 서봉총을 포함한 5점의 금관은 관테의 정면과 좌우측면에 出자형의 맞가지세움장식 3개와 그 양쪽으로 엇가지세움장식이 1개씩 배치되어 있다. 관테와 세움장식에는 원판모양의 금제 영락이나 곡옥을 금사로 매달아 장식하였다. 서봉총 금관은 현재까지 확인된 신라관 중 새 장식이 달린 반구형의 내부 구조물이 존재하는 유일한 사례이다. 반구형장식이 있는 형태의 관으로는 대구 달성고분군(구 비산동, 내당동 고분군) 37호분 제1곽과 강릉 초당동 B-16호분에서 출토된 금동관 등이 있다. 이들 관과의 비교는 4장에서 다루고자 한다.

본 논고에서는 서봉총 금관의 보존처리 및 원형복원의 전 과정과 특히 유물의 안정성을 위해 중점을 둔 접합부 보강 방법을 상세히 서술하고, 보존처리 중 조사를 통해 확인된 제작과정의 특징을 소개하고자 한다. 또한 제작기법 상의 특징을 유사 형태의 신라관들과 비교하여 서봉총 금관과 다른 신라관의 관계성을 종합적으로 검토하려 한다.





도 1. 신라 수지형대관의 부분 명칭

## 2. 보존처리 대상 및 개요

보존처리의 대상은 경상북도 경주시 노서동 129호분(서봉총)에서 출토된 금관 1점 및 같은 유구에서 수습된 곡옥 6점이다. 표1은 보존처리 대상과 제원을 정리한 것이다. 대상품들은 1926년 조선총독부박물관에 의해 발굴되어 1939년에 조선총독부박물관 소장품으로 등록되었으며, 현재 국립중앙박물관 소장품으로 관리되고 있다.

서봉총 금관은 출토 이후 한번 이상 수리를 거친 것으로 확인되며, 과거 수리과정에서 일부 변형이 있어 원형복원의 필요성이 제기되어왔다<sup>[4]</sup>. 이에 금관의 형상복원 및 안전한 관리를 위하여 국립중앙박물관 고고역사부와 보존과학부에서 대상유물의 실사와 관련 연구자 자문회의를 추진하고 보존처리를 진행하게 되었다. 보존처리는 문화재청 국가지정문화재 형상변경 허가 승인을 받은 후 문화재위원 자문회의를 거쳐 처리방침과 계획을 수립한 후 착수하였으며, 2016년 3월부터 7월까지 약 5개월간 진행하였다.

표 1. 보존처리 대상

| 등록번호        | 명칭           | 수량 | 보존처리 전 사진   | 시대 | 제원  | 재질                 | 비고                    |
|-------------|--------------|----|---|----|---|--------------------|-----------------------|
| 본관<br>14319 | 금관           | 1점 |  | 신라 | H36×ø 18cm,<br>(관테 55.5×3.7cm)<br>803.3g                                  | 금은합금,<br>옥, 유리     | 보물<br>339호            |
| 본관<br>14338 | 각종소옥<br>연계완륜 | 6점 |  | 신라 | 총53.3g<br>① 17.97g,<br>② 11.26g,<br>③ 11.86g, ④ 6.8g,<br>⑤ 3.86g, ⑥ 1.54g | 옥(1~5번),<br>유리(6번) | 출토<br>당시<br>함께<br>수습됨 |

### 3. 보존처리 과정

#### 3.1 보존처리 전 조사

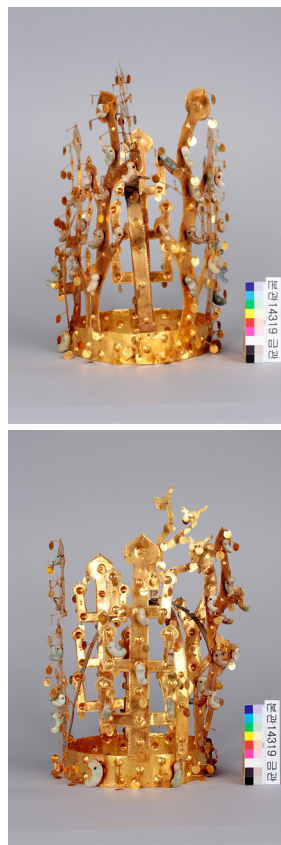
대상품의 특성과 상태를 조사하고 이를 토대로 보존처리 계획을 수립하기 위해 보존처리 전 조사를 진행하였다. 실측과 육안관찰 기록, 사진촬영, 현미경 관찰 등을 통해 유물의 형상과 구조적 특징, 수리부의 현황을 파악하고 손상상태를 정밀하게 조사하였다. 그밖에 관련 기록과 자료를 수집하여 출토 당시와 현재의 상태를 비교 하며 금관의 원형이 변형된 부분을 확인하고 보존처리 방침을 수립하였다. 보존처리 전 상태는 다음과 같다.

##### 3.1.1. 금관

금관은 전체높이 약36cm, 지름은 약18cm로, 재질은 금과 은의 합금이다. X-선형 광분석기(XRF)를 사용한 표면성분 분석결과 19~20K 순도의 금관을 기본으로 제작되고 부속구의 종류에 따라 조금씩 순도의 차이가 있는 것으로 보고되었다<sup>[5],[6]</sup>. 긴 직사각형의 관테(55.5×3.7cm)에 3단 맞가지장식 3개와 엇가지장식 2개를 리벳으로 고정하였다. 관의 내부에는 금제띠 2매(좌우방향 56.6×1.6cm, 전후방향 56.8×1.6cm)를 십자형으로 교차한 후 관테에 고정해 돛형의 구조물을 세웠으며(이하 반구형 장식), 교차부 위에 세 마리의 새가 가지 끝에 앉은 모양의 금관 장식을 부착하였다. 금관의 구조를 이루는 관테와 세움장식, 반구형장식, 새 장식은 모두 금제리벳을 사용하여 결합하였다.

관테와 세움장식, 반구형 장식에는 구멍을 뚫어 금제 원형 영락이나 옥과 유리

로 만든 곡옥을 금사로 매달아 장식하였는데, 곡옥의 일부는 결실되거나 손상되었다. 출토사진과 유리건판사진, 유물 표면의 흔적으로 보아 본래 서봉총 금관에 장식된 곡옥은 관테에 6개, 3개의 맞가지장식에 각 10개, 2개의 엇가지 장식에 각 9개로 총 54개로 추정된다. 그 중 결실된 곡옥은 관테의 4개와 세움장식 부분의 10개로 총 14개이며 손상된 곡옥은 세움장식에 위치한 2개이다.



|   |   |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

(a) 앞  
(c) 우

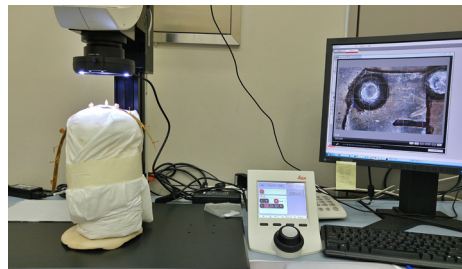
(b) 뒤  
(d) 좌

도2. 보존처리 전

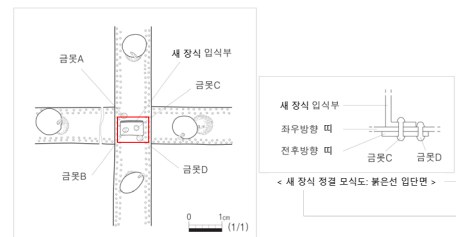
보존처리 전의 서봉총 금관은 반구형 장식과 새 장식이 파손되어 수리된 상태였다. 새 장식에서 가장 위쪽에 위치한 새의 다리부분은 파손되어 접착제로 수리되어 있다<sup>[도5(b)]</sup>. 그 밖의 다른 파손부는 뒷면에 접착제를 발라 금속판을 길게 덧대어 고정하고, 그 위로 금속선을 여러겹 감는 방식으로 수리되어 있었다<sup>[도5(c),(e),(h)]</sup>. 새 장식은 원래 하단을 'L'자로 구부려 반구형 장식의 꼭대기에 리벳으로 고정하는 구조였으나<sup>(도4)</sup>, 받침대 역할을 하는 하단의 꺾인 부분이 부러진 상태였다. 'L'자형 황동판 2매를 하단 양쪽에 접합하여 받침대로 삼아 정수리 부분에 금속선을 감아 고정되어 있었

다[도5(f),(g)].

1926년 촬영된 출토사진(도6)을 보면 관 전체가 납작하게 눌러있는 상태로 출토되었으나, 이후 촬영 사진(도7)에는 접혀 있던 부분이 모두 펴져있으며 반구형 장식 상부와 새 장식 일부가 부러져 금속판과 금속선 등으로 보강된 것이 확인된다[도8(a)]. 하지만 그 외에는 관테와 반구형 장식, 새 장식의 연결부가 온전하고 관테에 곡옥들이 대부분 남아있는 상태로[도8(b),(c)], 현재의 모습과 차이가 있어 출토 이후 몇 차례 수리가 이루어진 것으로 보인다.



도3. 서봉총 출토 금관의 제작기법 조사



도4. 서봉총 금관의 반구형장식과 새장식의 결합구조

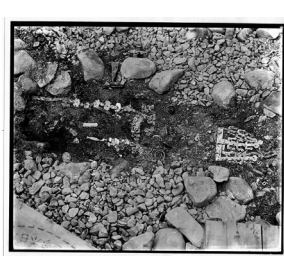
|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
|   | d | e |
| f | g | h |

- (a) 새 장식 분리 후
- (b) 새 장식 수리부
- (c) 반구형장식과 새 장식의 기존 수리모습
- (d) 분리된 새 장식 하단
- (e) c의 내면
- (f) c의 확대-새 장식 하단 측면
- (g) f의 정면
- (h) 반구형장식 띠 수리부-처리중

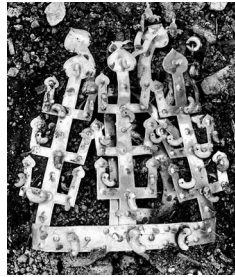


도5. 서봉총 금관 손상부 세부전





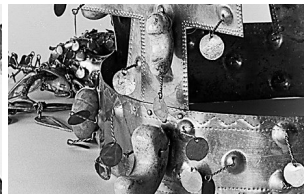
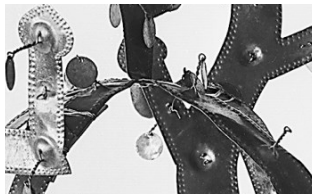
도6. 서봉총 금관 출토사진(1926년 촬영)



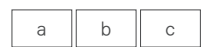
도7. 1934년 촬영 사진(건판17332)



(a) 건판16126  
(b) 건판16120 확대



도8. 도7의 세부

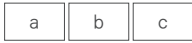


(a) 새 장식 수리부  
(b) 반구형 장식 수리부  
(c) 반구형 장식-관테 리  
벳결합부

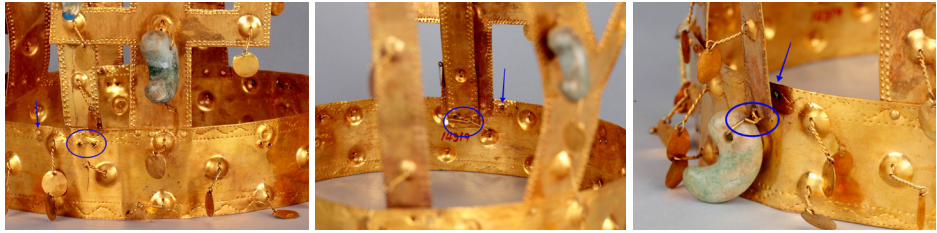
제작당시 관테에 금제 리벳으로 고정되었던 반구형 장식은 고정부 4곳이 모두 분리되었으며, 곡옥을 매달았던 투공을 활용하여 금사로 불안정하게 고정되어 있었다<sup>(도9,10)</sup>. 수리에 사용된 금사는 23~24K로, 금관의 제작당시 사용된 금사의 순도 17~19K와 구별되며 출토 이후의 보수 재료로 추정된다<sup>[4],[5]</sup>. 표2는 서봉총 금관의 부속별 금의 순도자료로 일부 곡옥과 관테에 사용된 금사의 재료특성이 금관의 다른 구성품과 차이가 있음을 보여준다<sup>(도11),[5],[6]</sup>.

표2. 서봉총 금관의 부속구별 금 순도

| 구 분         | 형태         | 순도(K)     | 비고      |
|-------------|------------|-----------|---------|
| 관테, 세움장식    | 금판         | 19.3~19.5 | 제작당시    |
| 연결선(영락), 영락 | 금사(얇음)     | 18.7~19.0 |         |
| 새장식, 반구형장식  | 금판         | 17.5~17.9 |         |
| 리벳          | 금못         | 17.4      |         |
| 연결선(곡옥)     | 금사(두꺼움)    |           |         |
| 연결선(곡옥/관테)  | 금사(얇음/두꺼움) | 23.3~23.8 | 후대 보수재료 |



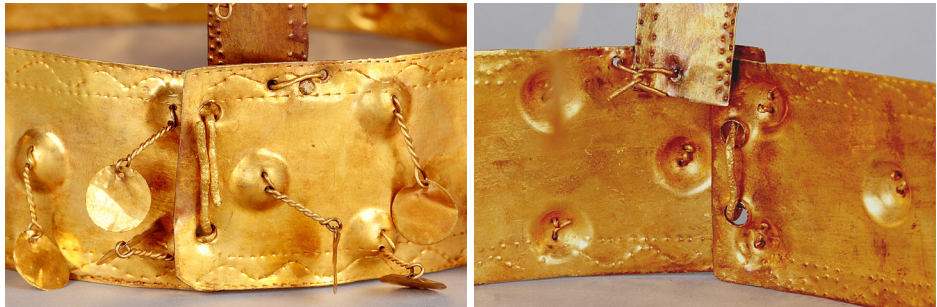
- (a) 정면  
(b) 좌측  
(c) 우측



도9. 반구형장식의 임시 고정상태(원: 금사고정, 화살표: 리벳)



- (a) 후면 밖  
(b) 후면 안



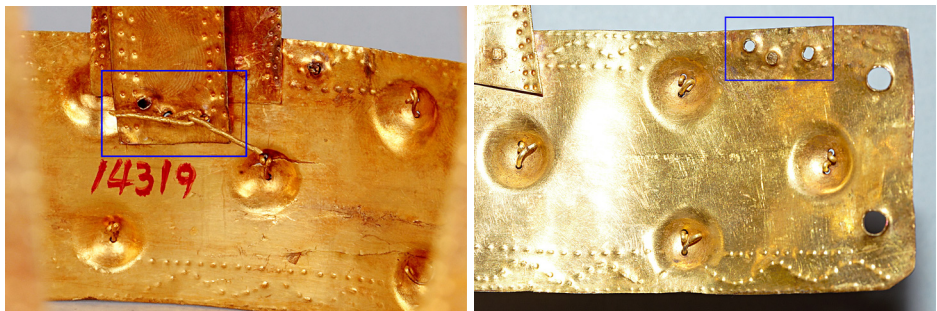
도10. 반구형 장식과 관테 고정모습



도11. 곡옥 고정부(원 금사와 근대의 수리용 금사)



- (a) 정면 반구형장식  
고정모습-처리전  
(b) 관테 우측끝 투공-  
반구형장식 후면  
고정부



도12. 기존 수리부 세부



보존처리 전 서봉총 금관은 반구형 장식의 앞뒤 방향이 바뀌어 있었는데, 관테와 새 장식은 정방향으로, 가운데 반구형 장식은 앞뒤가 반대방향으로 놓인 채 임시로 고정되어 있었다. 이는 관테와 반구형 장식의 투공 개수와 형태 비교로 확인되었다. 서봉총금관의 반구형장식 끝단 4곳 중 3곳은 투공이 1개씩이나 관테 정면에 고정되어 있던 끝단은 투공이 3개이다. 관테의 정면과 좌우측 상단에는 반구형장식 고정부로 확인되는 리벳구멍이 1개씩 존재한다. 관의 뒤쪽에 해당되는 관테의 오른쪽 끝단에만 3개의 투공이 존재하며 이곳의 투공형태는 정면에 고정된 반구형장식 끝부분의 것과 일치한다<sup>(도12)</sup>.

금관 본래의 형상이 변형된 것과 더불어 문화재 보존상 가장 우려된 부분은, 기존 수리재료와 유물표면의 마찰로 인한 손상 발생과 수리재료에서 발생한 부식물이 금관 표면을 오염시키고 있는 것이었다. 또한 전시 교체, 대여 등 이동 상황 중 각 파손부의 2차 손상이 우려되어 이를 중점적으로 보완할 필요가 있었다.

### 3.1.2. 곡옥

곡옥은 총 6점으로 크기와 형태, 재질이 통일되지 않고 저마다 다르다. 재질별로는 옥제질 5점과 유리제질 1점이며, 유리제 곡옥 1점은 푸른색의 투명한 재질로 구멍을 기준으로 머리 부분이 반파되어 접착제로 접합되어 있었다. 옥제품 5점은 곡옥을 고정하는데 사용한 금사의 일부가 머리 부분에 남아있었다. 해당 곡옥들은 2015년 보고된 성분분석 결과에서 곡옥에 남아있는 금사와 관테에 달려있는 곡옥의 금사 고리의 순도와 제작흔이 일치하는 것으로 확인되었다<sup>[4]</sup>.

1926년에 촬영된 유리건판 사진<sup>(도6)</sup>과 비교하면 보존처리 전의 금관<sup>(도2)</sup>에는 곡옥이 다수 결실된 상태였다. 6점 중 4점은 출토사진 속 곡옥의 형태 및 크기 대조를 통해 부착 위치를 확인 할 수 있었다.

### 3.2. 과거 수리재료 및 표면 오염물 제거

금관 표면에 손상을 주는 물질들을 제거하고 잘못 복원된 부분을 바로잡아 원형을 되돌리기 위하여, 분리부에 덧대져 있는 과거의 수리재료들을 제거하고 파손된 부분을 분리한 후 표면의 오염물을 제거하였다.

### 3.2.1. 금관 부속품 분리

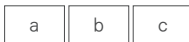
금관의 부속품 분리는 다음의 2단계로 나누어 진행하였다. 1단계는 원래 형상과 반대방향으로 수리되어 있는 부분의 해체과정이다. 새 장식을 분리한 후 반구형 장식과 관테를 분리하는 순서로 진행하였으며, 소도구를 사용해 분리부에 감겨있는 금속선을 조심스럽게 제거하고 묶여있던 부분들을 분리하였다<sup>[도13(a)]</sup>. 2단계는 유물 표면에 손상을 주고 있는 금속판과 금속선 등을 제거하는 과정으로, 이 단계에서는 남은 금속선을 풀어낸 뒤 금관편과 보강용 금속판의 접합부에 아세톤을 주사기로 주입하여 접착제를 녹여 분리하였다<sup>[도14]</sup>. 작업완료 후 반구형 장식은 새 장식을 포함하여 총 6개의 편으로 분리 되었다<sup>[도13(b)]</sup>.



- (a) 1단계  
(b) 2단계



도13. 과거 수리부 분리해체



- (a) 소도구를 사용해  
금속선 분리  
(b) 접합된 금속판 제거  
(c) 분리된 금관편과  
수리재료

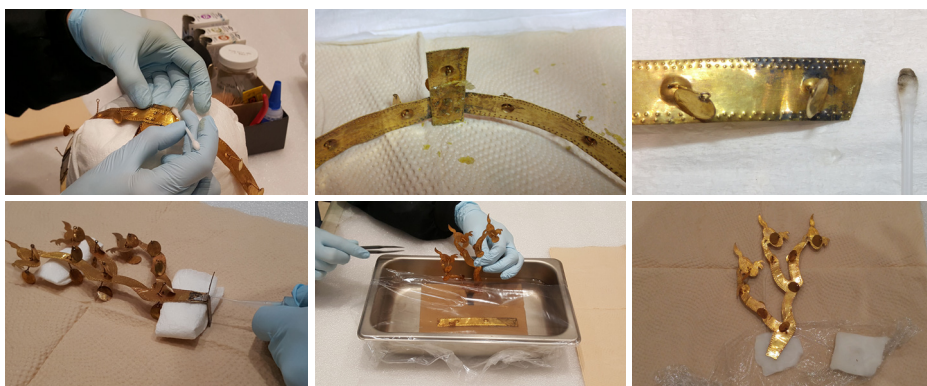


도14. 수리부 분리해체 과정

## 3.2.2. 이물질 제거

분리된 편 의 표면에는 열화된 접착제가 고착되어 있었으며, 보강재로 사용된 금속판과 금속선의 부식물과 각종 오염물이 금관 표면에 남아있었다. 표면의 이물질 들은 면봉과 붓, Alcohol과 Acetone을 사용하여 제거하였다<sup>(도15)</sup>. 이물질 제거 후 반구형 장식과 새 장식의 조립구조와 리벳 형태가 온전히 드러나 금관의 원 구조를 보다 명확히 확인할 수 있었다<sup>(도16)</sup>.

이 단계에서 반구형 장식의 길이와 결합구조, 고정위치를 최종확인하고 접합·복원결과를 모의 재현하여 접합부의 위치와 구조적으로 취약한 부분을 확인하였다<sup>(도17)</sup>.



도15. 반구형 장식의 이물질 제거

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

(a~c) 표면 부식물 및  
접착제 제거  
(d~f) 새 장식 하부  
수리재료 제거



도16. 서봉총 금관 반구형 장식

도17. 반구형 장식 복원  
시뮬레이션(OHP필름 사용)

|   |   |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

(a) 분리된 서봉총 출토  
금관의 반구형장식 편  
(b) 새 장식 편  
(c) 반구형장식 교차부  
리벳 세부  
(d) 반구형장식 교차부  
뒷면 세부

### 3.3. 보강재 제작

반구형장식은 새 장식과 두 개의 띠를 포함해 총 3장의 판재로 구성되었으며, 6부분으로 파손되어 있었다. 해당부의 금판 두께는 0.5mm 내외로, 구조상 받아야하는 힘에 비해 접합면적이 좁아 편 자체로는 접합이 불가하였다. 더욱이 파손당시 파단면의 변형이 발생해 접합면이 밀착되지 않아 더욱 접합에 어려움이 있었다. 이를 고려해서, 서봉총 금관의 현황에 적합한 보강재료와 안전한 접합방식을 검토하여 별도의 보강재를 제작하고 보존처리에 적용하였다.

#### 3.3.1. 접합부 보강재료

금관의 파단면 접합부를 지지하기 위한 보강재료는 기본적으로 다음의 조건들을 충족시켜야 했다.

첫째, 가역성 있는 재료일 것

둘째, 금관 표면의 제작기법을 가리지 않도록 투명한 것

셋째, 금관의 구조상 뒤틀린 채 힘을 계속 받아야만 하는 반구형장식의 접합부를 안전하게 지지할 수 있을 만큼 강도가 있을 것

넷째, 충격에 깨어져 2차 손상을 유발하지 않도록 탄성과 유연성을 가질 것

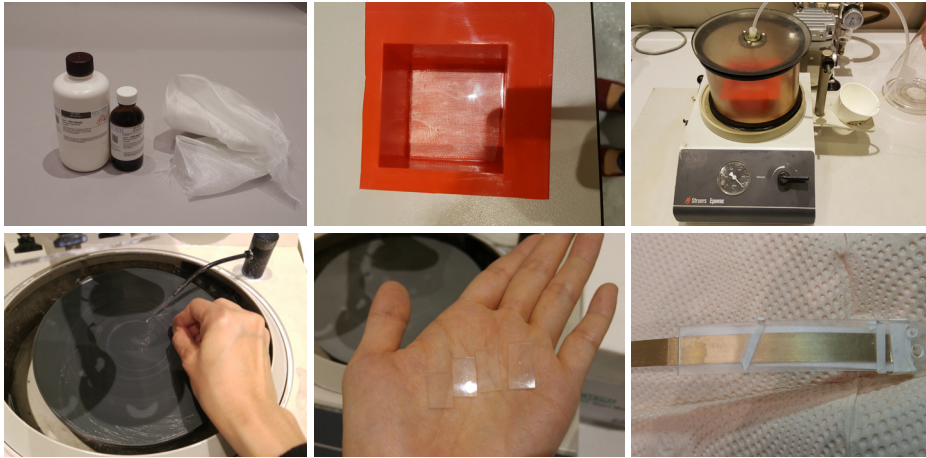
다섯째, 접합부의 뒷면 곡면에 맞게 자유롭게 가공이 가능할 것 등이다.

위의 조건들을 만족시키기 위해 접합부 보강재로 사용되는 직조유리섬유+아크릴계 수지(Paraloid® B-72) 도포, 직조유리섬유+에폭시계 수지(Araldite® Rapid) 도포, 아크릴판 등 다양한 재료를 검토하였으나 모두 조금씩 해당 조건에 미흡하여 새로운 재료를 고민하게 되었다. 최종적으로 선정한 재료는 투명도가 높은 에폭시계 수지(Epotek® 301) 내부에 직조유리섬유를 넣어 콜드마운팅 방식<sup>1)</sup>으로 제작한 판재이다.

선정재료의 장점은 다음과 같다. 먼저 아크릴판과 비교하여 가역성이 높아 추후 재처리시 유물의 손상위험이 적고, 수지판 내부의 직조유리섬유로 인하여 충격발생시 파손 위험 적다. 또한 투명도가 높아 보강재 접합 후에도 유물 표면의 관찰이 가능한 점과, 원하는 두께와 크기로 직접 제작 가능하며 절단과 표면처리가 쉽고, 유물에 밀착되게 곡률 성형이 용이하여 보강부의 안정성을 높일 수 있다는 점 역시 주요한 장점이다. 이에 따라, 각 접합부의 보강을 위해 직조유리섬유를 넣은 에폭시 판을 제작하여 사용부에 맞게 재단해 보강재를 준비하였다(도18).

1) 콜드마운팅(Cold Mounting): 조각관찰용 시편제작에 사용되는 방법으로, 마운팅용 틀에 시료를 고정한 후 합성수지를 틀에 부어 그대로 굳혀서 수지안에 시료를 고정하는 방식. 투명도가 높은 마운트를 만들기 위해서는 진공탈기과정이 필요하다.





도18. 접합부 뒷면 보강재 재료와 제작과정 (Epotek® 301+직조유리섬유 보강판)

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

- (a) 재료준비, 직조유리섬유  
(b) 마운팅 몰드에 유리섬유  
(c) 수지 주입  
(d) 재단후 절단면 연마  
(e) 완성된 보강재 샘플  
(f) 접합준비-편위치 표시

### 3.3.2. 아크릴 지지대

서봉총 금관의 보존처리 과정에서 향후 전시 및 포장, 이동 시 금관의 안정성을 위해 금관 외연부와 반구형장식부를 분리 가능한 형태로 보존처리하는 안이 논의 되었으며, 최종적으로 반구형장식을 관테 대신 아크릴지지대에 고정하여, 구조물이 단독으로 세워지고 금관 내부에 탈착이 가능하도록 하였다. 이 아크릴 지지대는 반구형 장식의 구조 지지대와 금관 외연부 고정용 보조대를 겸할 목적으로 제작하였다. 지지대를 만들기 위해 관테의 내부 규격에 맞게 지름 18cm의 아크릴 관을 제작한 후, 반구형 장식의 끝부분이 관테에 고정되는 위치와 면적, 리벳구멍 등을 아크릴 바깥면에 표시하고 핸드그라인더 등을 이용하여 금관의 두께만큼 깎아 총 4곳의 홈을 만들었다<sup>[도19(a)]</sup>. 아크릴 지지대의 뒤쪽에는 관테의 결구 구멍 위치와 동일하게 타공해, 보존처리 후 관테와 지지대를 실리콘 튜브를 씌운 낚시줄로 묶어 고정할 수 있게 하였다<sup>2)</sup>.

2) 고정방식은 처리완료 전 진행된 2차 지문회의에서 결정하였다. 아크릴 리벳, 금사, 직물끈, 낚시줄 등 다양한 제안이 있었으며 금관의 결구방식과 유물관리의 안정성을 고려하여 최종적으로 결정하였다.

|    |    |    |
|----|----|----|
| a1 | b1 | c1 |
| a2 | b2 | c2 |

- (a) 반구형 장식 고정부  
(b) 아크릴 관테와 금관 내부  
설치 모습  
(c) 관테 결구 구멍 타공전  
및 타공후 위치확인



도19. 아크릴 지지대 제작과정

### 3.4. 접합과 보강

서봉총 금관의 보존처리 중 접합과 보강 과정은 크게 두 가지 목적에 중점을 두고 진행하였다. 첫째는 임의로 고정된 관테와 반구형 장식, 봉황장식의 방향을 바로잡아 올바른 위치에 고정하는 것이고, 둘째는 반구형 장식과 새장식의 파손부를 접합하고 안전한 재료로 보강하여 유물의 안정성을 높이는 것이다. 처리과정은 ①파손된 반구형 장식편 접합 및 보강→②새 장식 접합 및 보강→③접합 완료된 반구형 장식을 아크릴 지지대에 고정하는 순서로 진행되었으며, 과정별 내용은 다음과 같다.

#### 3.4.1. 반구형장식 편 접합 및 보강

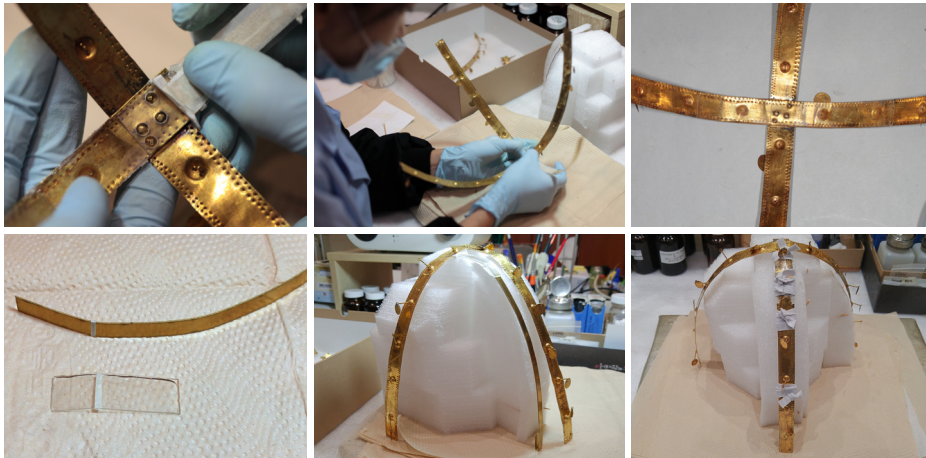
각 편은 접합 면적이 너무 좁고 파단면의 변형이 있으며, 반구형장식의 구조상 접합부가 비틀리는 힘을 지속적으로 견뎌야 하는 상황이었다. 단면접합만으로는 접합 상태 유지가 불가능하였기 때문에 접합부와 그 주위의 면 전체를 보강재로 지지하여 힘을 분산시키는 방법을 선택하였다. 이는 금관의 재질이 안전한 금은합금이었기 때문에 가능한 방법이다.

보강을 위해 미리 제작한, 직조유리섬유를 넣어 만든 에폭시 판을 사용부에 맞게 재단 후 드라이어로 부분 가온하여 유물 뒷편의 곡면에 맞게 성형하였다. 금관의 부품 간 결합방식을 보여주는 리벳부분은 보강재에 구멍을 내어 제작흔적을 가리지 않도록 가공하였다<sup>[도20(d)]</sup>. 그 후 보강재를 반구형 장식의 파손부 뒷면에 에폭시계 수지인 Araldite® Rapid로 접합하여 접합과 보강을 진행하였다.

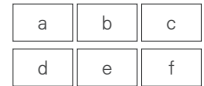
접착제가 경화하는 동안 접합면을 유지하기 위해 반구형 장식의 길이와 곡면에



맞게 황동판을 재단하여 임시지지대를 만들었다<sup>[도20(d),(e)]</sup>. 정확한 접합위치를 확인하여 황동판 위에 Epotec® 301+직조유리섬유 보강판을 임시고정하고, 보강판 위에 분리된 편을 접합한 뒤 접합부가 움직이지 않도록 탄성이 있는 면고무줄띠를 일정한 간격으로 묶어 수지가 경화될 때까지 고정하였다<sup>[도20(f)]</sup>.



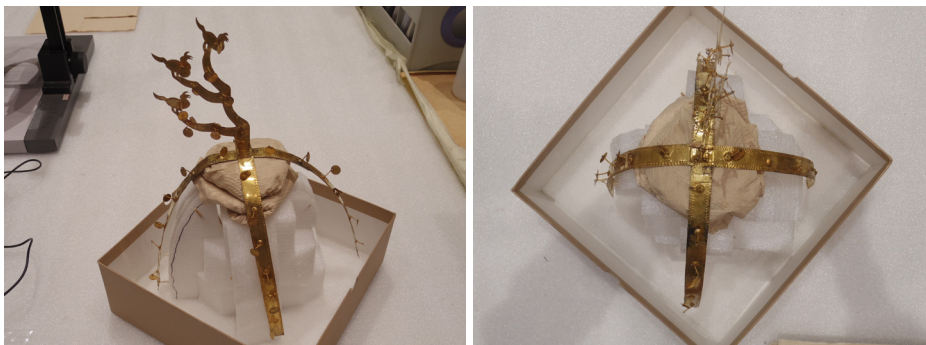
도20. 반구형장식 접합 과정



(a~c) 상부편 접합 · 보강  
(d~f) 접합 · 보강

#### 3.4.2. 새 장식 접합 및 보강

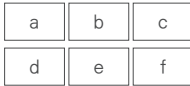
반대방향으로 고정되어 있던 새 장식과 반구형장식의 위치를 바로 잡아 다시 접합하고<sup>(도21)</sup>, 접합부의 안정성을 높이기 위해 직조유리섬유를 넣은 에폭시판으로 1' 자형 보강재를 제작해 접합부 뒷면을 보강하였다<sup>[도22(e)]</sup>. 보강재는 Araldite® Rapid를 사용해 고정하였다. 보강재 제작 시, 새 장식을 고정한 리벳의 위치에 구멍을 내어 보강재와 접합부의 이격을 해소하는 동시에 제작기법을 가리지 않도록 하였다.



도21. 새장식과 반구형 장식 접합 후 형상

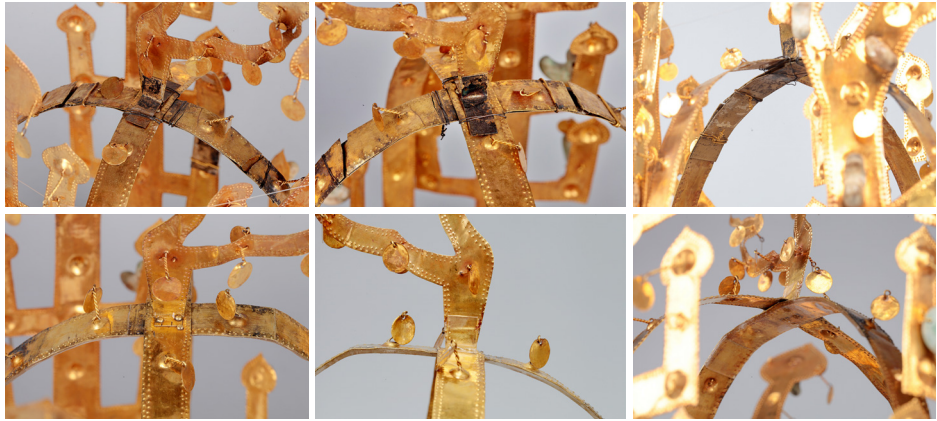


(a) 접합후 옆  
(b) 접합후 위



(a~c) 과거 수리모습

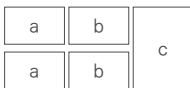
(d~f) 보존처리 후



도22. 반구형장식 세부

### 3.4.3. 반구형장식과 아크릴 지지대 고정

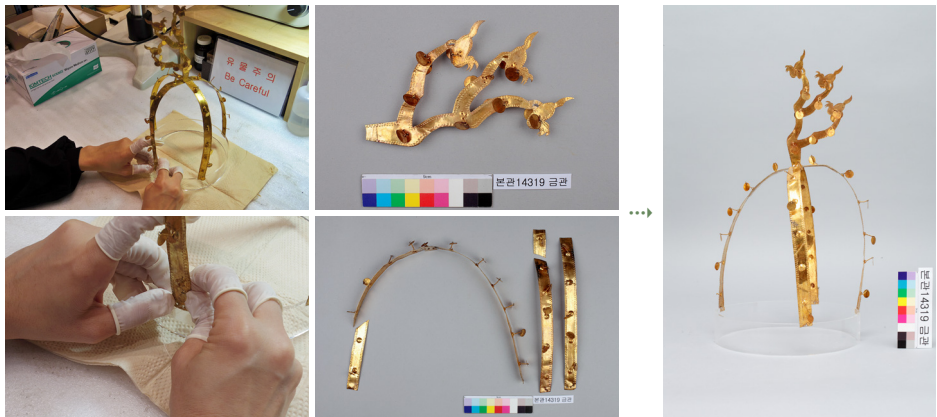
준비된 아크릴 지지대에 접합과 보강이 완료된 반구형장식의 네 방향을 맞추어 놓고 끝단이 제자리에 위치하는지 확인하였다. 반구형장식의 각 끝부분은 Epoxy계 접착제 Araldite® Rapid를 사용하여 아크릴지지대의 해당위치 홈에 고정하였다<sup>(도23)</sup>. 안전을 위해 4곳 모두 리벳구멍을 활용하여 낚시줄로 추가 고정하였다<sup>(도24)</sup>. 이렇게 고정된 반구형장식 프레임은 대관부와 결합 시 관테에 남아있는 고정리벳 뒤편에 반구형장식의 각 끝단이 자연스럽게 자리하게 된다<sup>(도25)</sup>.



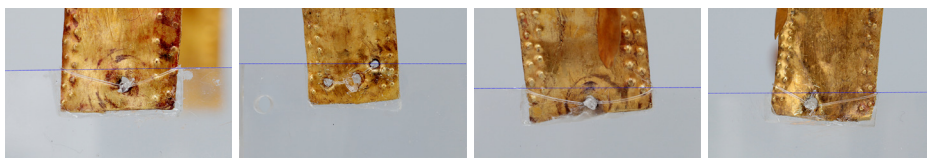
(a) 고정작업

(b) 접합 전

(c) 접합 후



도23. 반구형장식과 아크릴지지대 고정



도24. 도23의 (c) 세부-반구형장식 고정부



(a) 앞 (b) 뒤  
(c) 좌 (d) 우

(\*점선은 아크릴지지대의 테두리)



도25. 대관과 아크릴지지대 결합모습



(a) 앞-외부 (b) 앞-측면  
(c) 앞-내부 (d) 뒤-외부

### 3.5. 곡옥 연결

#### 3.5.1. 곡옥의 원위치 확인

금관과 함께 수습된 개별 곡옥 6점은 이번 보존처리를 통해 위치를 확인하여 금관에 다시 연결하였다. 그 중 옥재질 4점은 출토사진을 통해, 유리재질 1점은 출토사진과 남아있는 금사고리의 크기를 통해 곡옥이 결실된 채 고리만 남아있던 좌측 맞가지장식 최상단에 연결됨을 확인하였다. 곡옥 1점(곡옥-4)은 사진기록으로는 위치를 확인할 수 없었으나, 관테와 곡옥에 각각 남아있는 금사의 파단면 형태를 대조하여 분리된 개체임을 확인할 수 있었다<sup>(도26)</sup>. 도30과 표3은 보존처리 과정에서 새로 연결한 곡옥 6점의 위치와 복원현황 자료이다.



도26. 곡옥-4의 잔존금사 파단면 형상



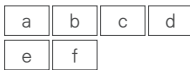
(a) 금관쪽 잔존 금사  
(b) a의 확대  
(c) 곡옥쪽 잔존 금사  
(d) c의 확대



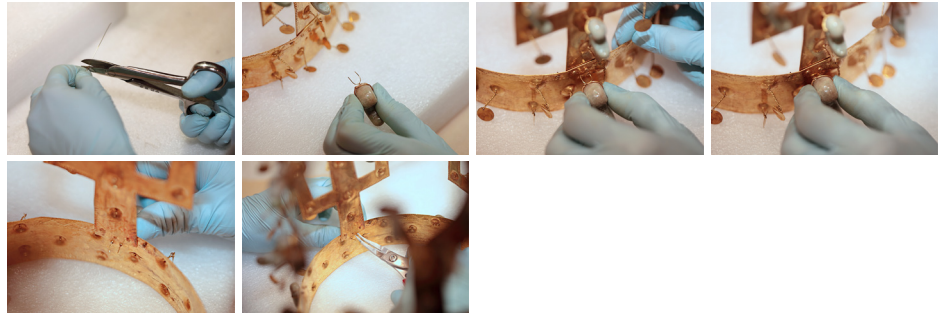
### 3.5.2. 연결 작업

#### 3.5.2.1. 옥제 곡옥(곡옥-1~5)

원재료와 보수재료를 구별하기 위해 곡옥의 연결에는 순도 24K 금사를 사용하였다. 금사의 꼬임방향과 고정형태 등은 가급적 본래의 방식대로 재현하였다<sup>(도27,28)</sup>. 금사를 절단하여 곡옥머리의 구멍에 통과 시킨 후 곡옥머리 뒤쪽에서 오른쪽으로 한번 꼬아 고정하였다. 금사의 양 끝부분을 관테에 남아있는 투공에 끼워 넣고 반대편에서 금사의 끝부분을 접어 빠지지 않도록 고정하였다. 곡옥-4는 끊어진 원래의 금사가 입식의 투공에 남아있어 보수용 금사를 끼워 넣을 공간이 없었다<sup>(도26)</sup>. 해당곡옥은 관테와 곡옥에 남아있는 금사에 낚시줄을 연결해 양쪽 파단면이 맞닿도록 위치를 잡아 고정하였다.



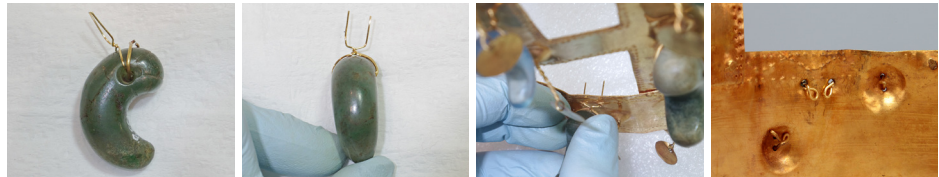
- (a) 금사 절단  
(b) 금사를 곡옥에 고정  
(c, d) 금판의 투공에 끼움  
(e) 금사 끝부분 고정



도27. 곡옥 설치 과정(곡옥-1)



- (a) 고정용 금사 연결:  
왼쪽은 보수재료,  
오른쪽은 원재료  
(b) 금사 꼬임 모습  
(c) 관테의 투공에  
곡옥 연결  
(d) 관테 안쪽 금사 마감  
모습



도28. 곡옥의 금사 연결 방식(곡옥-3)

#### 3.5.2.2. 유리제 곡옥(곡옥-6)

유리제 곡옥 1점은 머리 부분이 반파되어 접착제로 접합되어 있었다<sup>(도29)</sup>. Acetone으로 열화된 접착제를 제거하고 잔류물을 세척한 후, Acryl계 수지 Paraloid B-72 10wt%(in Xylene)를 사용해 주위의 균열을 강화처리 하였다. 그 후, 남아있는 금사 고리에 유리 곡옥의 머리와 몸체를 끼우고 순간접착제인 Loctite 401을 사용해 편을 접합하여 금관에 연결하였다.

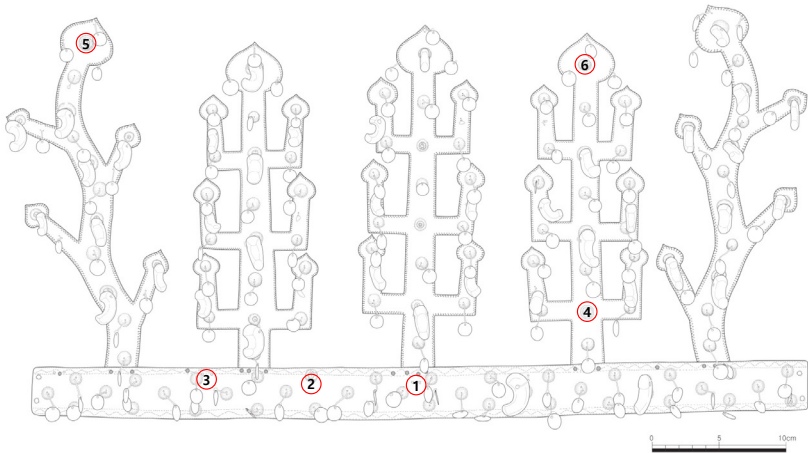


도29. 곡옥-6(유리)



a b

(a)처리 전  
(b)접착제 제거 후



도30. 서봉총 금관의 곡옥 위치 복원부(번호 1~6은 곡옥1~6번과 대응)

표3. 서봉총 금관 곡옥의 위치 복원 현황










| 번호   | 보존처리 전  | 보존처리 후   | 위치 확인            |
|------|---|--|------------------|
| 곡옥-1 |    |    | 출토사진<br>형태비교     |
| 곡옥-2 |    |    |                  |
| 곡옥-3 |    |    |                  |
| 곡옥-4 |   |   | 잔존금사<br>단면비교     |
| 곡옥-5 |  |  | 출토사진<br>형태비교     |
| 곡옥-6 |  |  | 출토사진,<br>잔존고리 형태 |

### 3.6. 마무리

보존처리 후 사진촬영하여 유물의 형상을 기록으로 남기고, 보존처리 과정과 사용재료, 처리 후 제원 변화, 보존처리 과정에서 확인된 내용 등을 보존처리 카드에 기록하였다.



표4. 서봉총 금관 보존처리 후 모습

|   | 전체  | 금관외연  | 반구형장식  |
|---|---|---|--|
| 앞 |    |    |    |
| 우 |   |   |   |
| 좌 |  |  |  |
| 뒤 |  |  |  |

### 3.7. 보존처리 결과

보존처리 후 금관의 제원은 높이 36cm에 지름이 18cm이고, 중량은 아크릴지지대를 포함하여 총 909.9g이다<sup>(표5)</sup>.

처리된 조사를 통해 금관의 원구조 및 제작과 관련된 다양한 흔적들을 새롭게 확인하였으며, 이를 토대로 반구형 장식의 접합과정을 시뮬레이션하고 구조적 취약성을 확인하여 새로운 보강방식을 검토하게 되었다. 금관 표면에 마찰로 인한 손상을 주던 과거의 수리재료(금속판, 금속선)를 제거하고 파손부의 보강재는 안전한 재료로 대체하였다. 함께 수습되어 별도의 번호로 관리되던 곡옥 6점은 위치를 확인하여 금관에 추가로 연결하였다.

출토 이후 방향이 바뀌어 있던 금관 부속품의 위치를 바로잡아 서봉총 금관의 본래 형태를 확인할 수 있게 되었다. 또한 반구형장식부와 대관부의 분리와 결합이 가능한 지지대를 제작하여, 향후 금관의 보관과 전시·연구가 안전하고 쉽게 이루어질 수 있도록 하였다<sup>(표4)</sup>.

표5. 서봉총 금관의 보존처리 전후 중량

|           |  |                              |
|-----------|--|------------------------------|
| 처리전 중량(g) | <ul style="list-style-type: none"> <li>금관 803.3 (※ 수리용 금속판 등 24.2g 포함)</li> <li>곡옥(6점) 53.3</li> </ul> | 총 856.6                      |
| 처리후 중량(g) | 1) 대관부(입식+곡옥) 734.2<br>2) 반구형(십자형장식+새 장식) 98.1<br>3) 아크릴지지대 약 77.6                                     | 총 909.9<br>(1+2 금관부분: 832.3) |

## 4. 서봉총 금관의 제작기법 조사

### 4.1. 서봉총 금관의 제작과정

서봉총 금관은 재료 준비 → 문양 새김 → 영락 설치 → 부품 결합 → 곡옥 설치의 순서로 제작되었다.

#### 4.1.1. 재료 준비

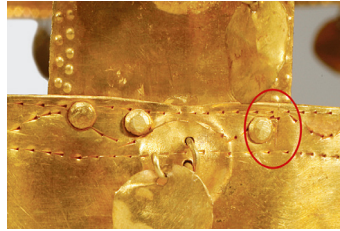
금관에 밑그림을 그리고 재단하는 과정이다. 서봉총 금관은 총 9매의 금판과 그 외 소형 부속으로 제작되었다. 구성요소별로 구분하면 총 6종으로, ①관테 1매, ②맞가지 세움장식 3매, ③엇가지 세움장식 2매, ④금판띠 2매(좌우방향 56.6×1.6cm, 전후방향 56.8×1.6cm), ⑤새 장식 1매, ⑥부속품(영락, 금사, 금제리벳, 곡옥)으로 구성되어 있다.

관테와 세움장식, 새 장식의 가장자리와 시문위치에는 재단선과 밑그림으로 추정되는 침선이 확인된다<sup>(도31)</sup>. 밑그림용 침선 외에도 부속품의 위치를 표시하기 위한 침

침선도 확인이 되는데, 관테의 상단에는 세움장식의 설치 위치에 표시되어있고 반구형장식에는 띠 2매 중 1매(전후방향)에만 뒷면에 타출반구문의 위치가 표시되어 있다(도32, 도33). 반구형장식의 경우 표시선이 있는 띠와 표시선이 없는 띠를 비교한 결과 타출반구문의 시문 간격이 동일하였다(도33). 기준이 되는 판에 먼저 타출하고 그 간격에 맞추어 나머지 부속의 반구문을 타출한 것으로 추정된다.



도31. 제작흔-재단용 밀그림 선(새 장식 벗)



도32. 제작흔-세움장식 위치표시 선(관테 정면)



도33. 반구형장식 타출문과 위치표시선(위:좌우방향띠, 아래:전후방향띠)



(a) 타출반구문 간격비교 및 침선위치

(b) 박스1

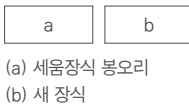
(c) 박스2

#### 4.1.2. 문양 새김

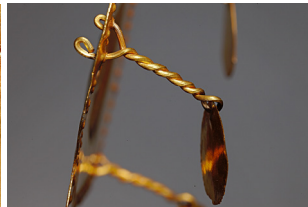
재단한 금판의 표면에 문양을 새겨 꾸미는 과정으로, 관테의 위·아래 가장자리에는 축조방식으로 - 두 줄의 선문과 그 사이에 파상문을 새기고 세움장식과 반구형장식의 가장자리에는 타출방식으로 점열문 두 줄을 새겼다. 새 장식판에는 한 줄의 점열문을 타출하였다. 관테와 세움장식, 반구형장식에는 일정한 패턴으로 반구문을 타출하였다. 반구문의 변형 없이 그 위로 축조문이 시문되어 있어 타출반구문은 축조문 시문 후에 작업된 것으로 추정된다(도34).

#### 4.1.3. 영락 설치

시문장식이 완료된 다음에는 영락을 연결하였다.<sup>3)</sup> 서봉총 금관의 영락은 금판을 지름 10mm가량의 원형으로 편칭하여 제작하였다. 새 장식과 세움장식의 봉오리를 제외하고 다른 부분의 영락은 모두 반구문을 타출하고 중앙에 구멍을 뚫어 금사로 매달았다. 영락 고정용 구멍은 상하로 작은 구멍을 투공한 형태로(이하 상하투공), 영락 위쪽에 작은 구멍을 뚫어 금사를 꿰고 오른쪽으로 5~8회 꼬아 기둥을 세운 뒤 금사의 양끝을 구멍에 끼우고 두 개의 투공 뒤에서 금사 끝을 각각 꺾어 고정하였다(도35,36)



도34. 타출반구문과 축조선문



도35. 영락고정 모습



#### 4.1.4. 부품 결합

금관의 구조를 세우는 단계로, 영락 설치 후 금관의 부속 조립이 이루어진 것으로 보인다.<sup>4)</sup> 세움장식과 관테의 연결부를 살펴보면 관테의 타출반구문과 영락 금사를 가리며 세움장식이 고정되어 있어 타출반구문에 영락을 고정한 후 관테의 뒷면에 세움장식을 결합하였음을 알 수 있다(도36). 구조결합은 관테에 세움장식을 고정하고, 두 개의 긴 금판띠를 십자로 교차하여 반구형장식을 만든 뒤 새 장식을 고정하였다(도37). 마지막으로 관테에 반구형 장식을 고정하여 금관의 형상을 완성하였다. 부품결합은 금제 리벳을 사용하였다.<sup>5)</sup>

3) 서봉총 금관의 영락장식 개수는 상부의 새 장식에 18개, 반구형장식의 띠부분에 24개, 관테에는 최초 39개에서 곡옥 연결부에 인접한 3개를 제거하여 최종 36개, 세움장식은 최초 131개에서 48개를 곡옥으로 교체하여 최종 83개이다. 현재 잔존수량은 총 157개로 반구형장식 띠부분의 4곳만 결실된 상태이다.

4) 금관총 출토 금관의 경우는 약간 다르다. 관테 뒷단의 일부 영락은 관테와 세움장식이 결합된 상태에서 투공 후 장식한 것으로 관찰된다.

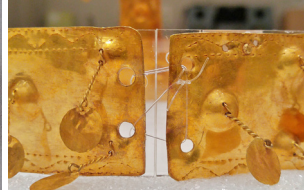
5) 세움장식을 관테에 고정할 때 사용된 리벳의 개수는 맞가지세움장식은 각각 3개씩 총 9개이며 왼쪽 엇가지세움장식은 3개, 오른쪽 엇가지세움장식은 2개이다. 반구형장식과 새 장식에는 4개의 리벳이 사용되었으며, 반구형장식을 관테에 고정하는 데에도 4개의 리벳이 사용되었다.



도36. 관테와 세움장식 결합부  
(좌측 엇가지)



도37. 반구형장식 교차부  
리벳팅 모습(내면)



도38. 관테 결구부

#### 4.1.5. 곡옥 설치

서봉총 금관의 제작에서 마지막 순서로 확인되는 것은 곡옥의 연결이다.

곡옥은 관테와 세움장식에 설치하였으며, 금사를 곡옥머리의 구멍으로 통과시킨 후 머리 바깥에서 한번 꼬아 곡옥이 수평으로 매달리게 하여 금관에 고정하였다. 관테 상단에는 정면과 후면, 그리고 각 세움장식의 사이에 투공하여 6점의 곡옥을 장식하였다. 후면 곡옥은 뒤쪽 반구형장식을 관테에 결합한 뒤 두 판을 한번에 뚫어 설치하였다. 다른 곡옥들은 반구형장식이나 영락 위치를 비껴가며 설치되거나, 중첩된 장식물을 제거하고 설치하기도 하였다. 세움장식에서는 영락을 일부 제거하고 영락이 달려있던 자리를 곡옥으로 교체하여 총 54개의 곡옥을 장식한 정황이 관찰된다<sup>6)</sup>. 이를 통해 금관의 부속결합과 시문, 영락 설치 이후에 진행되었음을 확인하였다.

#### 4.2. 국내 출토 고대관의 반구형 장식 비교

서봉총 금관과 같이 반구형장식이 있는 형태의 신라 고대관으로는 대구 달성고분군 37호분 제1곽<sup>[7]</sup>과 강릉 초당동 B-16호분에서 출토된 금동관<sup>[8],[9]</sup>, 그리고 울산 출토품으로 전하는 오쿠라 수집품<sup>[10]</sup>, 프랑스 기메 동양박물관 소장 금동관<sup>[11]</sup>이 있다<sup>(도 39,43,44)</sup>. 이 중 기메 동양박물관 소장 금동관은 동양문고 소장 우메하라 고고자료의 양산 출토 금동관과 동일품으로 추정된다<sup>[도42(c)],[12]7)</sup>.

표 6은 서봉총 금관과 이들 관의 반구형장식의 결합방식을 비교한 것으로, 총 5점의 관 중 서봉총 금관 외에 다른 4점은 청동에 금을 도금한 금동재질이다. 반구형장식의 상부장식은 서봉총 출토품은 새장식이고, 나머지 관들은 운주를 사용하여 장식하였다. 대구 달성고분군 금동관의 경우 현재 운주의 반구좌가 결실되어 없지만, 출토사진에서 반구좌가 확인된다<sup>(도39~41)</sup>. 운주장식의 고정방법은 달성고분군 출토품

6) 금관에 남아있던 곡옥 40개에 보존처리 후 6개가 추가되었고, 현재 결실된 곡옥은 총 8개이다.

7) 우메하라 고고자료에는 당시 교토 守屋孝藏 소장으로 기록되어 있다.



은 운주내부의 축 자체를 활용하였으며, 강릉 초당동 출토품은 리벳을 사용하였다<sup>[40,43],[7],[9]</sup>. 오쿠라 수집품과 기메 동양박물관 소장품은 내부구조 자료가 부족하여 확인할 수 없다.

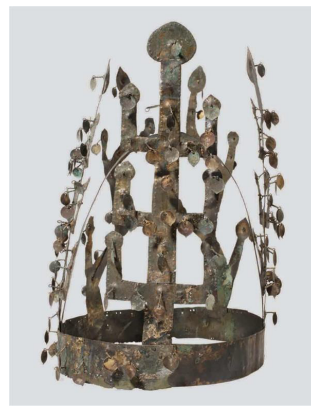
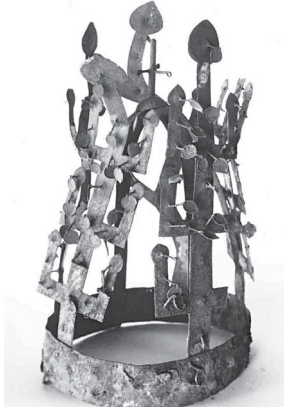
반구형장식의 고정 위치에서도 차이가 확인되는데, 이는 관테의 결구방식 차이가 일부 작용한 것으로 생각된다<sup>[46]</sup>. 달성고분군 출토품 등 금동관 4점은 관테를 리벳으로 고정한 방식으로, 앞/좌/우의 반구형장식 끝단은 맞가지장식의 뒤에 겹치고 뒤쪽 끝단은 대관의 뒤 편 중앙에 고정하였다. 달성유적과 초당동 출토품의 경우 맞가지장식 고정부의 리벳 3개 중 1개는 반구형장식 고정을 위한 것이다. 반면 서봉총 금관은 관테의 결구가 분리되어 있다<sup>[도38]</sup>. 서봉총 금관의 관테는 양 끝에 2개씩 투공이 있는데, 양쪽 구멍의 위치가 달라 리벳고정은 어렵고 유기물 끈 등으로 여밈을 하였을 것으로 추정된다. 서봉총 금관의 반구형장식은 맞가지장식의 위치와 중첩되지 않으며, 뒤쪽은 관테의 오른쪽 끝단쪽에 고정된다. 전체적으로 반구형장식의 앞뒤축이 관의 중심에서 약간 오른쪽에 위치하여, 관의 탈착 시 큰 폭으로 펼칠 수는 없지만 약간의 범위에서는 풀고 여밈이 가능하다. 양쪽의 끝이 겹쳐진다면 왼쪽 끝이 오른쪽 위에 겹쳐져야 타출반구문과 영락장식이 간섭되지 않는다.

그밖에, 반구형 장식과 유사한 형태의 자료로 경주 보문동 합장분 적석목관 출토품 중 금속띠가 십자로 결합된 반구형 금속품이 보고된 바 있다<sup>[13],[14]</sup>. 서봉총 금관의 반구형 장식에 비해서는 높이가 절반밖에 되지 않으나 프랑스 기메동양박물관 소장 금동관의 반구형장식(전 양산 금동관)과 같은 사례도 있어 참고할 만하다<sup>[11],[12]</sup>. 하지만 일제강점기의 보고자료로만 전할뿐 실물이 남아있지 않으며, 금속띠의 끝부분 네 곳이 바깥방향으로 꺾여있어 서봉총 금관과 같이 관 내부에 설치된 반구형장식으로 보기 어렵다는 견해도 있다<sup>[14]</sup>.

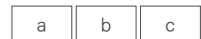


표6. 국내 출토 신라관의 반구형 장식 특징 비교

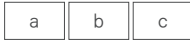
| 유적<br>항목         |                | 경주 서봉총   | 대구 달성고분군<br>37호분 제1곽                       | 강릉 초당동<br>B-16호묘   | 전(傳) 울산<br>(오쿠라 수집품) | 기메박물관<br>소장품   |
|------------------|----------------|--|--|--|----------------------|--|
| 재질               |                | 금관   | 금동관  | 금동관  | 금동관                  | 금동관  |
| 상부장식 형태          |                | 새모양 금판   | 운주   | 운주   | 운주                   | 운주   |
| 결<br>합<br>방<br>법 | 반구형장식<br>교차    | 리벳   | 운주 내부 축                                    | 리벳   | 미상                   | 미상   |
|                  | 상부장식-<br>반구형장식 | 리벳   |  | 리벳   | 미상                   | 미상   |
|                  | 관테-<br>반구형장식   | 리벳   | 리벳   | 리벳   | 리벳                   | 리벳   |
|                  | 관테-입식          | 리벳<br>(맞3개/엇2~3개)                                  | 리벳<br>(맞3개/엇2개)                            | 리벳<br>(맞3개/엇2개)  | 리벳<br>(맞2개/엇2개)      | 리벳<br>(맞3개/엇 미상)   |
|                  | 관테 결구          | 분리식<br>(끈으로 여밈 추정)                                 | 고정식<br>(리벳)                                | 고정식<br>(리벳)  | 고정식<br>(리벳)          | 고정식<br>(리벳)  |
|                  |                |  |  |  |                      |  |
| 반구형장식<br>고정위치    | 앞              | 맞가지장식의<br>오른쪽                                      | 맞가지장식<br>뒤                                 | 맞가지장식<br>뒤   | 맞가지장식<br>뒤           | 맞가지장식<br>뒤   |
|                  | 옆              | 맞가지장식과<br>엇가지장식 사이                                 |  |  |                      |  |
|                  | 뒤              | 관테 오른쪽<br>끝단                                       | 중간<br>(관테끝단 결합부)                           | 중간<br>(관테끝단 결합부)   | 중간                   | 중간   |
| 기타               |                | - 반구형장식 고정<br>상태로 관테<br>여밈가능<br>- 관테에 수식<br>연결부 없음 | - 관테에 수식<br>연결흔 있음<br>※ 부분 복원상태<br>로 검토 필요 | - 엇가지장식의<br>결가지 별도제작<br>후 리벳 결합<br>(*금령총과 동일)<br>- 관테에 수식<br>연결흔 있음<br>※ 결실부가 많아<br>정확한 위치 확인<br>어려움 | - 관테에<br>수식 연결       | - 관테에 수식<br>연결<br>- 반구형장식의<br>높이가 관<br>높이의 약 1/2임<br>※ 전 양산출토<br>금동관과 동일품<br>으로 추정 |



도39. 달성고분군 37호분 금동관



- (a) 출토 사진  
(건판21027)  
(b) 출토후 사진  
(건판24769)  
(c) 현재모습



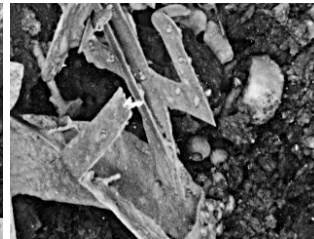
- (a) 상부장식  
(b) 상부장식 연결부 세부  
(c) 상부장식 복원도



도40. 달성고분군 37호분 금동관 세부



- (a) 정면 세움장식 뒤에 위치한 반구형장식과 상부 운주장식  
(b) 관테 후면 반구형장식 고정부  
(c, d) 측면 반구형장식 고정부



도41. 도39의 a 세부-반구형장식



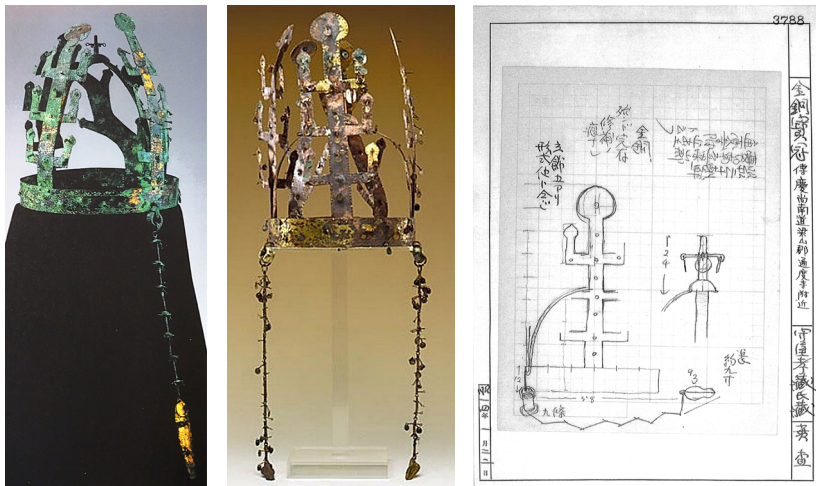
도42. 반구형장식과 관테 결합부 모습(1984년 복원)



도43. 강릉 초당동 출토 금동관

|   |   |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
| e | f |

- (a) 출토상태
- (b) 현재
- (c) 운주장식 X-선 이미지
- (d) 운주장식과 반구형장식 편
- (e) 운주장식 위-리벳
- (f) 운주장식 아래-교차부 리벳



도44. 기타 반구형장식 신라관

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
|---|---|---|

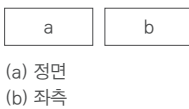
- (a) 일본 동경박물관 소장 전 울산 금동관(오쿠라수집품)
- (b) 프랑스 기메 동양박물관 소장 금동관
- (c) b의 도면-경남 양산 출토 금동관(우메하라 고고자료 3788)

#### 4.3. 서봉총 금관의 장식 수정 정황

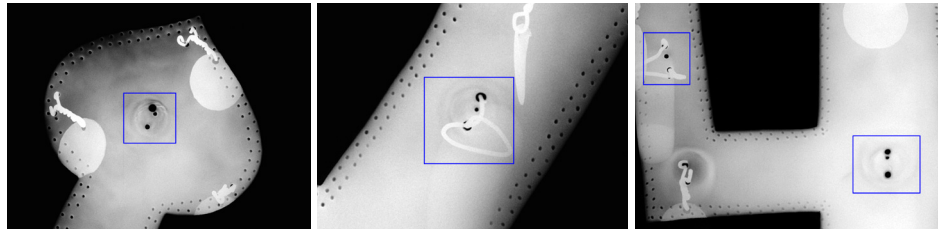
서봉총 금관의 곡옥 장식이 금관의 제작시점이 아니라 나중에 추가된 요소로 추정하게 된 근거는 다음과 같다.

#### 4.3.1. 곡옥과 영락의 투공방식 차이

서봉총 금관에는 영락이나 곡옥 등의 부속품 장식을 위한 한 쌍의 구멍이 각부에 존재한다. 이 중 영락 설치용 구멍은 상하로 작은 구멍 두 개를 투공한 형태로(이하 상하투공) 관 전체에서 동일한 양상이다. 이에 비해, 곡옥 설치용 구멍은 위치별로 두 가지 형태가 확인된다. 관테의 곡옥은 좌우 수평방향으로 투공(이하 좌우투공)하여 설치하였으나, 세움장식에서는 영락과 같은 상하투공에 설치하였다<sup>(도45)</sup>. 세움장식의 투공 중에는 한 쌍의 구멍 외에 구멍이 하나씩 더 뚫린 곳이 여러군데 관찰되는데<sup>(도46)</sup>, 이는 같은 세움장식에서도 영락 쪽에서는 확인되지 않고 곡옥이 설치된 곳에서만 확인되는 특징이다.



도45. 관테의 곡옥 고정부 좌우투공



도46. X-선 이미지: 세움장식의 곡옥고정부 투공 세부

#### 4.3.2. 곡옥과 영락 위치의 타출반구문 형상

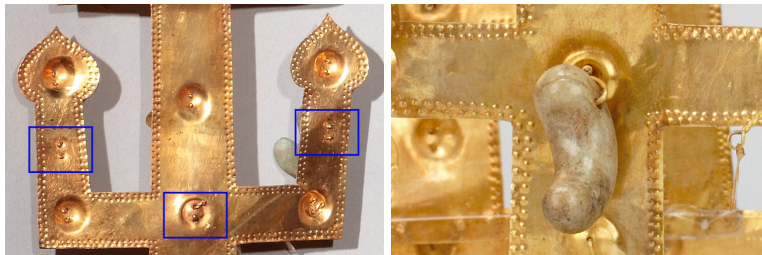
영락과 타출반구문의 위치는 금관의 제작당시 설계된 부분으로, 일정한 패턴을 보인다. 반면 곡옥의 고정부 형상은 두 가지 다른 유형이 확인된다.

첫 번째는 타출반구문 없이 금관 그대로에 구멍을 뚫어 곡옥을 연결한 유형으로, 맞가지장식의 겹가지 마디중간과 관테 부분이 해당한다<sup>[도47(a), 도48]</sup>. 곡옥을 고정하기 위해 바탕판을 타공한 형태가 관테 쪽은 좌우방향인 반면 세움장식 쪽은 상하방향으로 구별된다. 또 다른 유형은 타출반구문은 있으나 볼록한 앞면을 눌러 높이를 낮춘 자리에 곡옥을 설치한 형태로, 맞가지장식의 줄기와 엇가지장식 부분이 해당한



다<sup>(도47)</sup>. 이렇게 눌린 반구에는 모두 상하투공이 존재한다. 눌린 반구는 관테에서도 3 곳이 관찰되는데, 관테의 상단에 곡을 설치하며 인접한 영락을 제거하고 반구문은 납작하게 눌렀다. 눌린 반구의 가운데에는 상하투공의 흔적만 남아있고 장식은 남아있지 않다<sup>(도48,49)</sup>.

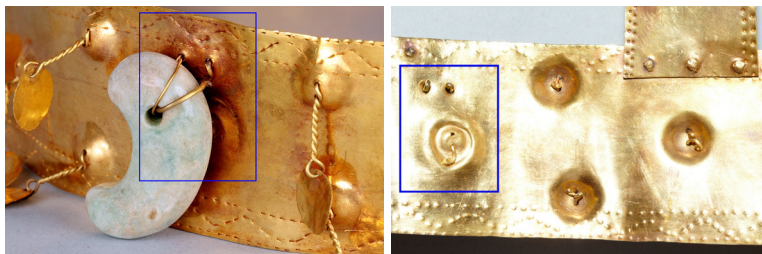
표7은 서봉총 금관의 장식 중 영락과 곡옥의 고정방식을 비교하여 정리한 것이다. 곡옥에 사용된 금사는 영락에 쓰인 것 보다 굵은 편이고 순도도 낮다. 세움장식의 곡옥은 금관 제작 시 뚫은 기존의 영락장식용 구멍을 활용하여 설치하고, 관테의 곡옥은 기존에 없던 자리에 새로 구멍을 내어 추가된 부분으로 추정된다. 금관에 장식된 곡옥의 재질과 세부형태 역시 다양하여 기존에 다른 용도로 사용하던 곡옥들의 재사용 가능성도 생각된다.



도47. 맞가지장식 곡옥설치부(박스표시)



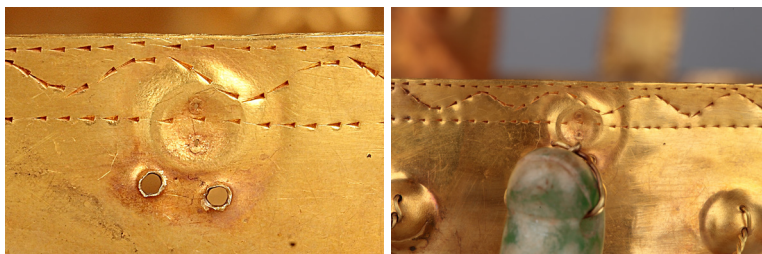
(a) 뒷면  
(b) (a)의 아래 앞면



도48. 관테의 곡옥고정부 바탕 모습-좌우투공 아래 눌린 타출반구문



(a) 앞면  
(b) 뒷면





도49. 관테의 곡옥고정부 형상



(a) 눌린 반구의 상하투공  
과 아래 좌우투공-  
곡옥 연결 전  
(b) 곡옥 연결 후

표 7. 서봉총 금관의 장식 고정방법 비교



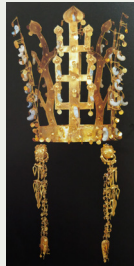

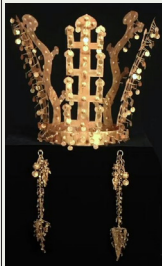

| 장식 | 재질            | 고정재료                  | 위치       | 고정부 투공 | 타출반구문   |   |
|----|---------------|-----------------------|----------|--------|---|---|
| 영락 | 금<br>(19~20K) | 금사<br>(얇음,<br>19~20K) | 새장식      | 상하     | ×   |   |
|    |               |                       | 세움장식     |        | <br>(반구)   |  |
|    |               |                       | 관테       |        |   |   |
| 곡옥 | 옥, 유리         | 금사<br>(두꺼움,<br>17K)   | 세움장식(줄기) | 상하     | <br>(놀린반구) |  |
|    |               |                       | 세움장식(가지) |        |   |   |
|    |               |                       |          |        | 관테  | 좌우  |

#### 4.4. 서봉총 금관과 국내 출토 신라 금관의 특징 비교(곡옥장식을 중심으로)

금관의 장식 고정부 주위의 형상과 투공 방식의 차이 등을 종합 했을 때, 제작당시의 서봉총 금관은 타출반구문과 영락장식을 기본형으로 하고 이후 부분적으로 영락장식 일부가 곡옥으로 교체(또는 대체) 되었을 가능성이 제기된다. 그렇다면 이어지는 질문은 곡옥장식이 없던 기존 금관을 수정하여 곡옥을 추가한 이유일 것이다. 물증으로 답을 확인할 수 있는 질문은 아니기에, 이러한 현상이 서봉총 금관에만 국한되는 것인지 다른 금관들에서도 공유되는 것인지 확인하고자 금관의 장식기법을 조사하여 함께 비교하였다. 표8은 각 요소들의 연관관계를 확인하고자 국내 출토 신라 금관 6점의 장식기법의 특징을 도식화한 것이다.

현재까지 국내에서 확인된 6개 금관의 곡옥과 영락의 고정부 형상의 비교 결과, 흥미롭게도 천마총 출토 금관에서 동일한 방식의 수정 흔적을 확인할 수 있었다. 천마총 금관은 다른 부분에서도 서봉총 금관과 유사한 특징이 확인된다. 두 관 모두 각 세움장식의 중심 봉오리, 맞가지장식의 끝가지 마디 중간 그리고 관테의 상단에 곡옥을 장식하였다. 서봉총 금관은 맞가지장식에서 줄기와 가지의 교차점에 곡옥을 장식하였으나 천마총은 줄기의 마디 중간에 장식한 것<sup>[도50(a)]</sup>, 그리고 엇가지장식의 곡옥 위치 등에서는 조금 차이가 있다. 곡옥의 장식위치에 타출반구문이 있는 경우 서봉총 금관과 동일하게 앞쪽을 눌러 낮추고 곡옥을 달았는데, 반구문에 상하투공이 있음에도 불구하고 이를 비워둔 채 위쪽에 좌우타공을 따로 하여 금사로 곡옥을 매단 것이 천마총 금관의 특징이다<sup>[도50(b),(d)]</sup>. 이를 통해 기존 타출반구문의 영락장식을 제거하고 곡옥을 새로 장식하였을 가능성이 높게 제기된다. 이러한 수정작업은 맞가지장식 끝가지의 곡옥들에서도 확인되는데, 해당위치에 반구문 없이 금판에 그대로 곡옥을 장식한 것은 서봉총 금관과 동일하나, 마찬가지로 상하투공이 존재하는 위쪽에 별도로 좌우투공하여 곡옥을 고정하였다<sup>[도50(d)]</sup>.

표8. 국내 출토 신라 금관의 장식 기법 비교

| 출토지    |                        |          | 황남대총 북분   |               | 금관총   |                  | 서봉총  |               | 천마총   |               | 금령총   |  | 교동  |  |
|--------|------------------------|----------|---|---------------|---|------------------|--|---------------|---|---------------|---|--|---|--|
| 사진     |                        |          |  |               |  |                  |       |               |                          |               |  |  |  |  |
| 국<br>양 | 재질                     |          | 옥   |               | 옥   |                  | 옥, 유리  |               | 옥   |               | 없음<br>(영락만<br>장식)   |  | 없음<br>(영락만<br>장식)   |  |
|        | 위치                     | 입식       | 봉오리,<br>교차점,<br>꺾임부   | 타출<br>반구<br>○ | 봉오리,<br>교차점   | 타출<br>반구<br>○    | [맞]봉오리<br>(大),<br>교차점<br>[엇]봉오리,<br>줄기마디   | 타출<br>반구<br>○ | [맞]봉오리(大),<br>줄기마디<br>[엇]봉오리(大)   | 타출<br>반구<br>○ |   |  |   |  |
|        |                        |          |   |               |   |                  | 가지마디   | 타출<br>반구<br>× | [맞]가지마디,<br>[엇]교차점  | 타출<br>반구<br>× |   |  |   |  |
|        |                        | 관테       | 중간단   |               | 중간단   |                  | 상단   |               | 상단  |               |   |  |   |  |
|        | 투공<br>형태 <sup>8)</sup> | 입식<br>관테 | 상하  | 상하            | 상하  | 좌우<br>(특기사항② 참조) |  |               |   |               |   |  |   |  |
| 좌우     |                        |          |   |               |   |                  |  |               |   |               |   |  |   |  |
| 관<br>양 | 입식                     |          | 타출점열(1열),<br>타출반구   |               | 타출점열(1열),<br>타출반구   |                  | 타출점열(2열),<br>타출반구  |               | 타출점열(2열),<br>타출반구   |               | 타출점열(2열), 타<br>출반구  |  | 타출반구  |  |
|        | 관테                     |          | 축조선문, 파상문,<br>원문, 타출반구  |               | 축조선문, 파상문,<br>타출반구  |                  | 축조선문, 파상문,<br>타출반구   |               | 축조선문, 파상문,<br>원문, 타출반구  |               | 타출점열(2열), 타<br>출반구  |  | 없음  |  |
| 특기사항   |                        |          |   |               | 금동제새모양장식<br>편 공반 출토(서봉<br>총 새장식과 제작<br>기법 유사)                                     |                  | ① 십자구조의 반구형<br>장식과 새 모양 상<br>부장식<br>② 곡옥 고정부에 타<br>출반구문이 있는<br>경우 앞에서 눌러<br>냈춘 후 곡옥 장식 |               | ① 곡옥설치부 타출문 2차<br>가공(서봉총과 유사)<br>② 곡옥고정용 좌우투공<br>아래에 비어있는 한쌍<br>의 상하투공이 존재(*<br>입식부) -서봉총 관테<br>에서도 일부 확인 |               | 엇가지장식의 겹가지를<br>별도 제작하여 리<br>벳으로 결합  |  | 타출반구문에는<br>입사귀 모양의<br>큰 영락 장식   |  |

8) 여기서 투공은 각각의 곡옥을 고정하기 위해 금관의 판재에 뚫은 구멍을 지칭한다.

|   |   |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

(a) 앞 (b) 뒤  
(c) 앞 세부 (d) 뒤 세부



도50. 천마총 금관의 곡옥 장식부

## 5. 결론

서봉총 금관의 보존처리를 통해 발굴이후 수습과정에서 변형된 부분을 바로잡아 원형을 되찾고 탈락되었던 일부 곡옥의 위치를 추가로 복원할 수 있었다. 대상 문화재는 구조상 접합부의 안정성이 낮은 상태였으며, 직조유리섬유를 넣은 예폭시판을 접합부의 보강재료로 적용하여 금관의 보관과 전시에 있어 안정성을 높이하고자 하였다. 또한 유물의 관리와 전시 및 연구활동에 있어 위험도를 줄이고 접근성을 높이기 위해 금관의 내부 구조물인 반구형장식 부분을 분리하여 지지대를 만들고 바깥 부분인 대관부에 탈착 가능한 구조로 보존처리하였다. 대상 문화재의 특성과 상황에 맞게 기존의 재료를 새롭게 적용하고, 보존처리의 과정에서 대상품의 안정성과 소장품 관리상의 요소를 고려하여 새로운 방식의 시도를 할 수 있었던 것은 서봉총 금관의 보존처리 과정에서 얻은 주요한 성과이다. 문화재의 상황별 다양한 cleaning 방법과 접합·보강 방법 등을 고민하여, 문화재 손상을 최소한으로 줄이며 가장 효과적이고 안정적인 처리 방법의 모색이 계속적으로 필요할 것이다.



그 밖에 보존처리 과정에서 다양한 제작흔적을 추가로 확인하고, 금관의 곡옥 장식과 관련하여 최초 제작당시의 모습에서 수정된 정황을 확인할 수 있었던 것 역시 또 하나의 성과이다. 서봉총 금관의 제작당시 기본 장식은 금제 영락이었으며, 이후 세움장식의 영락 일부를 곡옥으로 교체하고 관테에는 곡옥을 새로 연결하여 장식을 추가한 정황을 확인하였다. 이러한 현상이 다른 금관에도 적용되는지 확인하고자 국내 신라 금관 6점의 장식기법을 비교한 결과 천마총 출토 금관에서 동일한 방식의 수정 흔적과 여러 유사성을 관찰할 수 있었다. 서봉총과 천마총 출토 금관에서의 같이 금관의 장식을 수정하여 곡옥을 추가하는 행위에 유의미한 이유가 있는지, 공통된 작업 특성들이 어떤 상관관계를 가지는지 앞으로도 학제 간 다양한 연구를 통해 풀어지기를 기대한다.

#### 〈 사 사 〉

자문을 주신 국립대구박물관 함순섭 관장님과 보강재료의 검토와 제작과정에 도움을 주신 국립부여박물관 박학수 학예연구실장님께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 국립중앙박물관, 경주 서봉총Ⅱ(재발굴 보고), 일제강점기 자료조사보고 35, p182-201, 국립중앙박물관, 서울, (2020).
2. 국립중앙박물관, 경주 서봉총Ⅰ(유물편), 일제강점기 자료조사보고 13, 국립중앙박물관, 서울, p144-198, (2014).
3. 함순섭, 新羅 樹枝形帶冠의 展開過程 研究, 경북대학교 석사학위논문, p2-28, (2012).
4. 국립중앙박물관, 과학으로 풀어 보는 서봉총 금관, p38-39, 국립중앙박물관, 서울, (2015).
5. 유혜선, 신용비, 윤은영, 서봉총 출토 금제품의 성분, 경주 서봉총Ⅰ(유물편), 일제강점기 자료조사보고 13, p201-220, 국립중앙박물관, 서울, (2014).
6. 신용비, 신라 금제품의 화학조성과 누금기술, 공주대학교 박사학위논문, p41-44, (2021).
7. 국립대구박물관, 대구 달성유적Ⅱ-달성고분군 발굴조사보고서(1), 일제강점기 자료조사보고 14, p98-107, p237-253, 국립대구박물관, 대구, (2015).
8. 국립춘천박물관, 권력의 상징, 冠: 경주에서 강원까지, p76-91, 국립춘천박물관 기획특별전 도록, 춘천, (2008).
9. 허일권, 권희홍, 강릉 초당동 금동관(金銅冠)의 복원·복제품 제작과 해체복원, 동원학술논문집 12, p141-165, 한국고미술연구소, (2011).
10. 국립문화재연구소, 일본 도쿄국립박물관 소장 오구라 컬렉션 한국문화재, p39, 국립문화재연구소, (2005).
11. 국립문화재연구소, 프랑스 국립기메동양박물관 소장 한국문화재, p54, 예맥, (1999).
12. 동양문고, 우메하라 고고자료, [http://124.33.215.236/umehara2008/ume\\_query.htm](http://124.33.215.236/umehara2008/ume_query.htm), (2021).
13. 국립경주문화재연구소, 신라고분 기초학술조사연구, p92-96, 국립경주문화재연구소, 경주, (2007).
14. 국립경주박물관, 경주 보문동 합장분(구 경주 보문리부부총), 국립경주박물관 학술조사보고 24, p56, 국립경주박물관, 경주, (2011).
15. 문화재청, 문화재대관(국보 금속공예), p120-127, 문화재청 동산문화재과, 대전, (2008).
16. 국립경주박물관, 경주의 황금문화재, p14-25, 국립경주박물관, 경주, (2015).

# 무령왕릉 출토 금동은제식리 보존처리 및 제작기법

Conservation Treatment and  
Production Method on the  
gilt-bronze-and-silver shoes  
excavated from the Tomb of  
King Muryeong

장수비<sup>1</sup>, 최덕순<sup>2</sup>,  
김성곤<sup>1</sup>, 곽홍인<sup>1\*</sup>  
국립공주박물관<sup>1</sup>, 국립청주박물관<sup>2</sup>

Jang Subi<sup>1</sup>, Choi Deoksoon<sup>2</sup>,  
Kim Seonggon<sup>1</sup>, Gwak Hongin<sup>1\*</sup>  
Kongju National Museum<sup>1</sup>,  
Cheongju National Museum<sup>2</sup>

\* Corresponding Author :  
Gwak Hongin

Tel : 82-41-850-6364  
E-mail : hongin@korea.kr

## 요약

금동은제식리는 무령왕릉에서 출토된 무령왕의 식리로 결실된 부분이 많아 재조사의 필요성이 꾸준히 제기되었다. 이에 과학적인 보존처리 및 분석을 진행하여 제작 기법을 연구하였다. 보존처리는 형태 복원 및 편 접합에 중점을 두고 실시하였다. 그 결과, 우측 식리 상연과 뒤축 일부 편을 접합하여, 결합방법 및 발등 결합에 사용된 원두정의 개수를 확인하였다. 성분 분석결과, 외판 등은 순동에 수는 아말감 금도금을 한 것으로 추정되며, 내판은 순은을 사용하였다. 금동은제식리의 주문양은 봉황문, 연화문, 6엽 화문이며, 전체적으로 연화문의 비율이 높다. 각 판의 결합은 영락사, 금동사, 원두정, 사면정을 사용하였다. 내·외판 결합은 영락사를 사용하였는데, 내측판의 중앙과 후면에는 금동사로만 결합하여 장식 기능과 결합 기능을 구분하여 사용한 것으로 추정된다. 또한 제작과정에서 금동제판과 은제판의 외면에는 광쇠질한 흔적이 확인되지만, 은제판의 내면에서는 확인되지 않아 내면보다 외면의 마무리에 중점을 둔 것으로 추정된다.

**주제어** : 무령왕릉, 금동은제식리, 제작기법, 재질분석, 결합방법

## Abstract

The gilt-bronze-and-silver shoes, excavated from the Tomb of King Muryeong, revealed many defective parts, which constantly raised in-depth re-investigation and reporting. In that point, scientific treatment and analysis were conducted to investigate the manufacturing techniques applied. The conservation treatment was carried out with an emphasis on the restoration of the original form and joining parts. As a result, the upper part of the right shoe and some part of the back heel were joined, confirming the joining method and the number of rivet used for instep bonding. From the component analysis, it is presumed that the outer plate was gilded with mercury amalgam on pure copper, and pure silver was used for the inner plate. The main pattern of the gilt-bronze-and-silver shoes includes designs of phoenix, lotus, and six-petal flower, while the lotus pattern is high in terms of ratio. Thus, youngnaksu(twisted gilt-bronze thread), geumdongsa(gilt-bronze thread), wondujeong (rivet), and samyeonjeong(quadrangular cleats) were used for bonding each plate. Twisted gilt-bronze thread was used to join the inner and outer plates, while the center and rear of the inner plate were combined with only gilt-bronze threads. From the fact, it is presumed that the joining method was different whether the function was decoration or just bonding. Regarding the manufacturing process, traces of burnishing were confirmed on the outer surface of the gilt-bronze and silver shoes, but no burnishing traces were identified on the inner surface of the silver plate, which is likely to prove more importance put on the finishing of the outer plates rather than that of the inner.

**Keywords** : Tomb of King Muryeong, Gilt-bronze and silver shoes, Manufacturing technique, Material analysis, Joining method

투고일: 2021.10.01. 심사(수정)일: 2021.10.13. 게재확정일: 2021.10.28.

## 1. 서론

1971년, 무령왕릉에서 피장자의 정보를 알려주는 묘지석을 포함하여 5200여 점에 달하는 다양한 재질의 유물이 출토되었다. 이 중 금동식리(金銅飾履)는 무령왕과 왕비 목관 후면에서 각각 한 쌍씩 출토되었다. 금동을 재료로 장식한 금동식리는 주인의 신분과 권위를 상징하는 위세품적 성격을 지니며, 이를 제작하기 위해서는 숙련된 금속공예기술이 필요하다. 이러한 금속공예기술은 시기와 상황에 따라 변화·발전하는데, 무령왕릉 출토 금동은제식리(金銅銀製飾履, 왕)는 절대연대가 확실하여 백제 금속공예기술 연구의 기준점으로 중요한 위치에 있다<sup>[1],[2],[3],[4]</sup>. 이전에도 금동은제식리에 대한 연구는 이루어졌지만 훼손이 심하고, 결실된 부분이 많아 재조사의 필요성이 꾸준히 제기되었다<sup>[5],[6]</sup>.

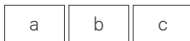
이에 2019년부터 2021년까지 금동은제식리의 보존처리를 실시하여 원형을 최대한 복원해 주고자 하였으며, X선 조사 및 XRF 분석 등 과학적 분석을 실시하여 금동은제식리의 제작기법을 밝히고자 하였다.

## 2. 연구대상 및 연구방법

### 2.1. 연구대상

『무령왕릉(武寧王陵) 발굴조사보고서(發掘調査報告書)』에 따르면 금동은제식리는 출토 당시 상태가 매우 좋지 않았다고 기록되어 있으며, 출토 당시 사진을 통해서도 확인이 가능하다<sup>(도1),[7],[8]</sup>. 보존처리 기록은 확인되지 않지만, 무령왕릉 발굴 이후 보고서 발간 및 전시를 위해 보존처리된 것으로 추정된다.

금동은제식리는 외측판, 내측판, 바닥판 세 부분으로 구성되어 있으며, 각 판은 은제판과 금동제판을 금동사(金銅絲)로 결합하여 한 판으로 제작하였다. 바닥판은 전면이 들려 있으며, 사면정(四面釘)을 10개 배치하였다<sup>[9]</sup>. 금동제판에는 투조(透彫), 타출(打出), 점선조기법(點線彫技法)을 사용하여 문양을 표현하였고, 은제판은 문양을 새기지 않았다.



- (a) 좌측 식리 외측판  
(b) 좌측 식리 내측판  
(c) 우측 식리 외측판

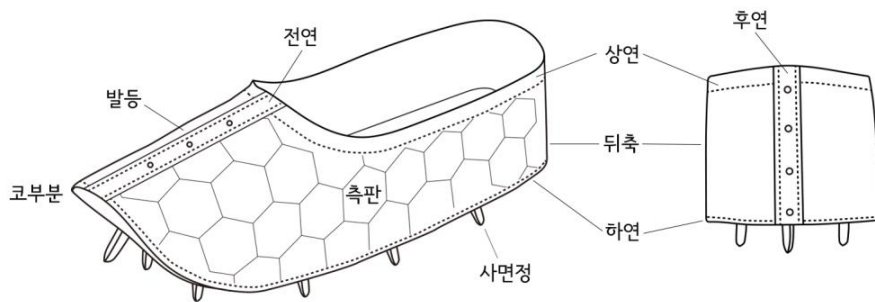


도 1. 출토 당시 사진(국립문화재연구소 제공)<sup>[8]</sup>



## 2.2. 금동은제식리 세부 명칭

금동식리의 세부 명칭은 연구자에 따라 사용하는 용어가 상이하여, 본 연구에서는 다음과 같이 정하고자 한다<sup>(도2)</sup>. 금동제판은 바깥쪽 판이므로 외판, 은제판은 안쪽 판이므로 내판, 금동제판을 투조하여 금동제원형영락(金銅製圓形瓔珞)으로 장식한 면(面)은 발의 바깥쪽에 해당하므로 외측판, 점열문(點列文)을 시문하여 장식한 면은 발의 안쪽에 해당하므로 내측판이라 하고자 한다. 발목 부분에 해당하는 부분은 상연(上緣), 측판의 하단부에서 바닥판 쪽으로 꺾여 들어가는 'L'자 형태 부분은 하연(下緣), 결합부 중에서 발등 부분은 전연(前緣), 뒤측 부분은 후연(後緣)으로 하고, 이를 통틀어 이연(履緣)으로 하고자 한다. 바닥판에는 사각추형태의 금동못이 결합되어 있으며, 이를 사면정으로 하고자 한다<sup>[1], [10], [11]</sup>.



도2. 세부 명칭

## 2.3. 연구방법

금동은제식리의 재질 특성을 조사하기 위하여 비파괴 분석기인 에너지 분산형 이동형 X선 형광분석기(Portable XRF Spectrometer, Artax400, Bruker Nano GmBH, Germany)를 사용하여 표면을 분석하였으며, 분석조건은 분석면적 0.65mm, 전압 50 kV, 전류 600mA, 측정시간 150s이다. 각 성분 원소를 정량 분석하기 위하여 표준시료를 통해 검량선을 작성하였고, 정확성과 재현성을 검토하였다. 각 표준시료의 정보는 표1과 같다. 수은(Hg)은 정량 분석에서 제외하고 검출 여부만 표기하였다.

그리고 육안으로 확인이 어려운 문양, 결합방법, 제작흔적은 실체현미경(Leica M205A, Sony a7RIV)과 X선 조사(VIX-150, SOFTEX, Japan)를 통해 확인하였다.

표 1. 정량 분석에 이용한 표준시료의 성분 함량(wt.%)

| Element<br>Sample | Au    |       | Ag   |       | Cu    |       |       | Zn     |       |       | Ni    |       |
|-------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Silver925         | -     |       | 92.5 |       | 7.5   |       |       | -      |       |       | -     |       |
| EMR-EB506         | 58.86 |       | 3.90 |       | 35.65 |       |       | 1.891  |       |       | -     |       |
| EMR-EB507         | 75.10 |       | 3.02 |       | 14.69 |       |       | 2.107  |       |       | 4.99  |       |
|                   | Cu    | Sn    | Pb   | Zn    | Fe    | Ni    | Mn    | Al     | Si    | Sb    | P     | S     |
| SN2               | 82.7  | 13.58 | 1.93 | 1.24  | 0.033 | 0.102 | 0.004 | 0.0004 | 0.003 | 0.099 | 0.079 | 0.033 |
| TL3               | 62.30 | 1.50  | 1.02 | 32.75 | 0.36  | 0.90  | 0.205 | 0.91   | 0.034 | -     | -     | -     |
| Bronze            | Cu    | Sn    | Pb   | Zn    | Fe    | Ni    | P     | S      | Bi    | As    | Sb    |       |
|                   | 76.8  | 8.0   | 12.0 | 1.1   | 0.02  | 1.5   | 0.01  | 0.03   | 0.01  | 0.02  | 0.5   |       |

### 3. 보존처리

#### 3.1. 보존처리 전 상태

금동은제식리는 과거에 보존처리가 진행되어 측판과 바닥판 접합, 금동제판 편 접합, 부식물 제거 등이 이루어진 것으로 확인되었다. 그러나 식리의 형태가 왜곡된 채 접합되었으며<sup>[도3(a),(c),(e)]</sup>, Epoxy계 수지로 접합한 일부 편은 기존 편과 문양이 일치하지 않았다<sup>[도3(g)]</sup>. 그리고 노출된 도금층에 부식물이 일부 형성된 것을 확인하였다<sup>[도4(e)]</sup>.

보존처리 전, 금동은제식리의 최대 길이는 좌측 39.4cm, 우측 36.7cm이며, 바닥부터 상연의 제일 높은 지점까지의 높이는 좌측 12.5cm, 우측 12.5cm이다. 발등의 폭이 가장 넓은 부분은 좌측 13.4cm, 우측 14.1cm이다<sup>(표2)</sup>. 보존처리는 왜곡된 형태를 원형으로 복원하는데 중점을 두었으며, 유물 분류 작업 및 재조사에서 확인된 편을 접합하고자 하였다.

#### 3.2. 보존처리 과정

##### 3.2.1. 편 분류 작업 및 재조사

무령왕릉 발굴 당시 중요 수습품을 제외한 현실 내 잔존물은 별도의 보관상자에 보관되어 있었다. 국립공주박물관이 현 위치로 이전된 해인 2004년부터 2005년까지 보관상자 내 유물 분류 작업을 실시하였고, 금동제식리(金銅製飾履, 왕비)는 일부 편이 확인되어 보존처리(2017년)를 거쳐 복원하였다<sup>[12]</sup>. 이후 2021년까지 재조사를 실시하여 금동은제식리의 좌측 식리 측판, 우측 식리의 발등 부분 상연과 뒤축 일부 편 등을 확인하였다.

### 3.2.2. 부식물 및 기존 접착제 제거

부식물 제거는 금 도금층에 형성된 부식물 위주로 제거하였다<sup>[도4(e)]</sup>. 부식물은 치과용 소도구와 초음파 스케일러를 사용하여 제거하였으며, 부식물 제거 후, 표면에 부식억제제인 Benzotriazole 3wt.%(in Ethyl Alcohol) 용액을 3회 도포하여 안정화처리를 실시하였다<sup>[도4(f)]</sup>.

기존에 사용된 접착제를 제거하기 위하여 X선 조사를 실시하여 정확한 구조를 파악하였으며, 접합에 사용된 Epoxy계 수지는 Acetone, 메스, 열드라이기를 사용하여 제거하였다<sup>[도3(e),(g)]</sup>.

### 3.2.3. 형태 복원

측판과 바닥판의 접합은 코부분과 뒤축을 기준으로 곡률을 유지하면서 Cyanoacrylate계 접착제인 Loctite로 접합하였고, 유리섬유와 Acryl계 수지인 Paraloid B-72 5~20wt.%(in Xylene) 용액을 사용하여 보강하였다. 유리섬유는 인장강도가 높고, 내화학성과 치수 안정성이 좋으며, Paraloid B-72와의 굴절률 차이가 크지 않아 육안상으로 이질감을 적게 준다는 장점이 있다<sup>[13]</sup>.

### 3.2.4. 접합 및 복원

재조사에서 확인된 편은 Acryl계 접착제인 HMG B72 Acrylic Adhesive와 Cyanoacrylate계 접착제인 Axia로 접합하였으며, 결실부 복원에는 Epoxy계 수지인 Araldite에 무기안료를 혼합하여 제작한 판과 Cellulose계 접착제인 Cemedine-C에 Microballoon, 무기안료를 혼합하여 사용하였다. 우측 식리의 뒤축 은제판은 제작기 법상 연결되지 않는 것으로 확인되었지만, 안전상의 문제로 Araldite 판으로 고정하였다<sup>[도4(h)]</sup>. 복원 완료 후, Paraloid B-72 5wt.%(in Acetone) 용액을 표면에 2회 도포하여 강화처리하였다.

### 3.3. 보존처리 결과

유물 분류 작업 및 재조사에서 확인된 우측 식리 발등 상연과 뒤축 일부 편 등을 접합하였으며<sup>[도3(b),(d), 도4(b),(d)]</sup>, 기존 편과 문양이 일치하지 않는 편은 원위치를 찾아 재접합하였다<sup>[도3(h)]</sup>. 좌측 식리는 발등 부분의 양 측판과 바닥판의 곡률을 조정하여 원래보다 0.9cm 앞에 위치해 있던 뒤축의 원형을 복원하였으며<sup>[도3(b),(d),(f)]</sup>, 우측 식리는 측판이 전체적으로 비스듬하게 기울어져 뒤축 양 측판 은제판의 높이가 서로 달랐으나<sup>[도4(g)]</sup>, 이를 비슷하게 조정하였다<sup>[도4(h)]</sup>. 금동은제식리의 형태 복원 결과, 최대 길이는 좌측 식리가 38.3cm, 우측 식리가 38.2cm로 크기가 비슷해졌다<sup>(표2)</sup>.

표2. 금동은제식리 처리 전 · 후 제원

(단위 : cm)

| 측정 위치         | 좌측 식리 |      | 우측 식리 |      |
|---------------|-------|------|-------|------|
|               | 처리 전  | 처리 후 | 처리 전  | 처리 후 |
| 최대 길이         | 39.4  | 38.3 | 36.7  | 38.2 |
| 최대 발등 길이      | 14.9  | 14.9 | 13.3  | 15.0 |
| 최대 발등 너비      | 13.4  | 11.9 | 14.1  | 13.6 |
| 높이(바닥-코부분)    | 8.5   | 10.0 | 10.7  | 10.5 |
| 높이(바닥-발등 최고점) | 12.5  | 13.3 | 12.5  | 12.5 |
| 높이(바닥-뒤축 최고점) | 13.0  | 12.6 | 13.0  | 12.5 |





도3. 좌측 식리 처리 전 · 후 사진

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | b |   |   |
| c | d |   |   |
| e | f | g | h |

- (a) 외측판 처리 전
- (b) 외측판 처리 후
- (c) 내측판 처리 전
- (d) 내측판 처리 후
- (e) 코부분 세부 처리 전
- (f) 코부분 세부 처리 후
- (g) 금동제판 편 재접합 처리 전
- (h) 금동제판 편 재접합 처리 후



도4. 우측 식리 처리 전 · 후 사진

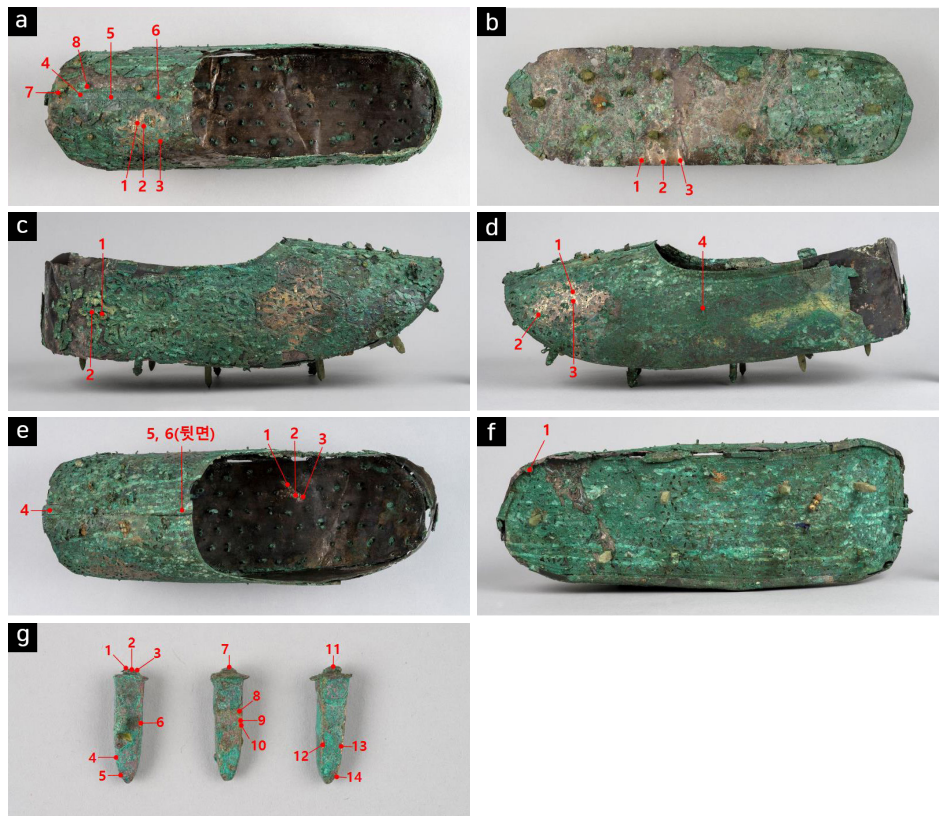
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | b |   |   |
| c | d |   |   |
| e | f | g | h |

- (a) 외측판 처리 전
- (b) 외측판 처리 후
- (c) 내측판 처리 전
- (d) 내측판 처리 후
- (e) 부식물 제거 처리 전
- (f) 부식물 제거 처리 후
- (g) 뒤측 세부 처리 전
- (h) 뒤측 세부 처리 후

## 4. 연구결과

### 4.1. 성분 분석결과

성분 분석결과, 좌·우측 식리의 외판, 원두정의 정두부, 영락, 영락사, 금동사, 사면정은 금(Au), 구리(Cu), 수은(Hg)이 주성분으로 검출되어 순동에 수은 아말감 금도금을 한 것으로 추정된다<sup>(도5),(표3)</sup>. 하지만 우측 식리의 원두정 신부는 구리(Cu)가 98.93wt.% 검출되어 순동으로 확인되며, 원두정의 정두부만 수은 아말감 금도금을 한 것으로 추정된다. 그리고 좌·우측 식리의 내판은 은(Ag)이 99wt.% 내외로 검출되어 순은을 사용한 것으로 추정된다. 우측 식리의 외판과 바닥판 금동사, 사면정 결합부 일부에서 은(Ag)이 1wt.%이상 검출되었으며, 이는 내판의 영향으로 추정된다. 또한, 좌측 식리 원두정의 정두부와 우측 식리 내·외판 결합 금동사에서는 납(Pb)이 1wt.% 이상 검출되어 추가적인 검토가 필요하다<sup>[14],[15]</sup>.



도5. 성분 분석위치

표3. 성분 분석결과

| 유물명   | 분석위치           | 분석번호 | 화합조성(wt.%) |       |       |      |      | 합계  | 비고   |
|-------|----------------|------|------------|-------|-------|------|------|-----|------|
|       |                |      | Au         | Ag    | Cu    | Sn   | Pb   |     |      |
| 좌측 식리 | 외판             | a-1  | 42.11      | 0.30  | 57.18 | 0.04 | 0.37 | 100 | Hg검출 |
|       |                | a-2  | 58.80      | 0.40  | 40.29 | 0.04 | 0.46 | 100 | Hg검출 |
|       |                | a-3  | 67.25      | 0.48  | 31.63 | 0.07 | 0.57 | 100 | Hg검출 |
|       | 내판             | b-1  | 0.21       | 98.94 | 0.46  | 0.07 | 0.31 | 100 |      |
|       |                | b-2  | 0.18       | 98.93 | 0.51  | 0.02 | 0.36 | 100 |      |
|       |                | b-3  | 0.12       | 99.23 | 0.33  | 0.02 | 0.29 | 100 |      |
|       | 원두정(정두부)       | a-4  | 10.86      | 0.18  | 86.93 | 0.04 | 1.99 | 100 | Hg검출 |
|       |                | a-5  | 12.86      | 0.15  | 85.82 | 0.04 | 1.14 | 100 | Hg검출 |
|       |                | a-6  | 6.55       | 0.27  | 92.18 | 0.06 | 0.94 | 100 | Hg검출 |
|       | 영락             | a-7  | 13.83      | 0.18  | 84.99 | 0.07 | 0.93 | 100 | Hg검출 |
| 우측 식리 | 외판             | d-1  | 71.51      | 0.41  | 27.39 | 0.07 | 0.61 | 100 | Hg검출 |
|       |                | d-2  | 50.81      | 1.23  | 47.45 | 0.05 | 0.46 | 100 | Hg검출 |
|       |                | d-3  | 64.76      | 0.37  | 34.24 | 0.06 | 0.57 | 100 | Hg검출 |
|       | 내판             | e-1  | 0.18       | 99.12 | 0.45  | 0.02 | 0.22 | 100 |      |
|       |                | e-2  | 0.15       | 98.99 | 0.61  | 0.05 | 0.19 | 100 |      |
|       |                | e-3  | 0.17       | 98.90 | 0.71  | 0.03 | 0.20 | 100 |      |
|       | 원두정(정두부)       | e-4  | 68.14      | 0.51  | 30.50 | 0.05 | 0.80 | 100 | Hg검출 |
|       |                | e-5  | 32.09      | 0.27  | 66.63 | 0.07 | 0.93 | 100 | Hg검출 |
|       | 원두정(신부)        | e-6  | 0.01       | 0.20  | 98.93 | 0.04 | 0.81 | 100 |      |
|       | 영락             | c-1  | 22.00      | 0.16  | 77.13 | 0.04 | 0.67 | 100 | Hg검출 |
|       | 영락사            | c-2  | 23.19      | 0.29  | 75.56 | 0.08 | 0.88 | 100 | Hg검출 |
|       | 금동사(내·외판 결합)   | d-4  | 5.02       | 0.14  | 93.44 | 0.07 | 1.33 | 100 | Hg검출 |
|       | 금동사(촉판·바닥판 결합) | f-1  | 38.00      | 1.28  | 59.73 | 0.04 | 0.95 | 100 | Hg검출 |
| 사면정1  | 결합부            | g-1  | 11.42      | 0.68  | 87.65 | 0.09 | 0.16 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-2  | 29.75      | 2.27  | 67.62 | 0.19 | 0.18 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-3  | 34.05      | 1.50  | 64.18 | 0.07 | 0.20 | 100 | Hg검출 |
|       | 신부             | g-4  | 29.17      | 0.37  | 70.23 | 0.07 | 0.15 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-5  | 16.57      | 0.26  | 82.94 | 0.06 | 0.16 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-6  | 34.55      | 0.38  | 64.70 | 0.13 | 0.23 | 100 | Hg검출 |
| 사면정2  | 결합부            | g-7  | 15.55      | 0.38  | 83.25 | 0.06 | 0.77 | 100 | Hg검출 |
|       | 신부             | g-8  | 39.46      | 0.40  | 59.59 | 0.14 | 0.40 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-9  | 36.82      | 0.36  | 62.51 | 0.09 | 0.22 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-10 | 50.98      | 0.49  | 48.12 | 0.13 | 0.28 | 100 | Hg검출 |
| 사면정3  | 결합부            | g-11 | 7.33       | 0.41  | 91.88 | 0.04 | 0.34 | 100 | Hg검출 |
|       | 신부             | g-12 | 47.10      | 0.45  | 52.01 | 0.12 | 0.32 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-13 | 32.75      | 0.34  | 66.48 | 0.13 | 0.30 | 100 | Hg검출 |
|       |                | g-14 | 44.15      | 0.23  | 55.29 | 0.06 | 0.27 | 100 | Hg검출 |

## 4.2. 문양구성 및 표현기법

양 측판 및 바닥판의 외판은 귀갑문을 기본으로 배치하였으며, 귀갑문의 테두리는 이면(裏面)에서 정면(正面)으로 타출한 점열문(點列文)을 중심으로 위·아래에 세점열문(細點列文)이 1조를 이루게 표현하였다. 귀갑문 안에는 봉황문, 연화문, 6엽 화문이 일정한 패턴을 이루게 표현하였는데, 이러한 점은 무령왕릉 식리의 주요 특징이다<sup>[6]</sup>. 하지만 각 판의 귀갑문 안에 표현된 문양구성이나 표현기법에서 일부 차이를 보인다.

### 4.2.1. 외측판

좌·우측 식리 외측판의 귀갑문은 뾰족한 부분이 위·아래(○)로 향해있으며<sup>[도6(a), 도7(a)]</sup>, 귀갑문의 크기는 가로 3.7~3.9cm, 세로 4.0~4.2cm, 한 변의 길이 2.0~2.5cm이다. 귀갑문의 결절점(結節點)과 중앙에는 금동제원형영락(이하 ‘영락’)을 달아 장식하였으며, 한 귀갑문에 총 7개의 영락이 달려 있다<sup>[도8(b),(d)]</sup>.

귀갑문 안에는 봉황문과 연화문을 주문양으로 표현하였으며, 봉황문은 봉황의 형태만 지투기법(地透技法)으로 투조하였고<sup>[도8(a),(b)]</sup>, 연화문은 문양투기법(文樣透技法)으로 투조하였다<sup>[도8(c),(d)]</sup>. 좌측 식리는 결실된 부분을 제외하고 봉황문이 10개, 연화문이 11개가 잔존하며<sup>[도6(a),(b)]</sup>, 발등 부분에는 봉황문과 연화문을 각각 연속으로 2개씩 배치한 부분도 있지만 비교적 교차로 배치하였다<sup>[도6(b)]</sup>. 우측 식리는 결실된 부분을 제외하고 봉황문이 16개, 연화문이 10개가 잔존하며<sup>[도7(a),(b)]</sup>, 발등 부분에서 중앙 부분까지는 봉황문과 연화문을 교차로 배치하였으나, 후면에는 봉황문을 연속으로 7개 배치하였다<sup>[도8(i)]</sup>. 가장자리 부분의 귀갑문 6면이 완성되지 않은 부분은 봉황문과 연화문이 아닌 다양한 문양으로 구성하였다. 좌측 식리는 상연과 이어지는 부분에 문양을 표현하지 않았지만<sup>[도8(e),(f)]</sup>, 우측 식리는 화엽과 삼각형 등의 문양을 투조하여 문양구성에서 좌·우측 식리가 차이를 보인다<sup>[도8(g),(h)]</sup>.



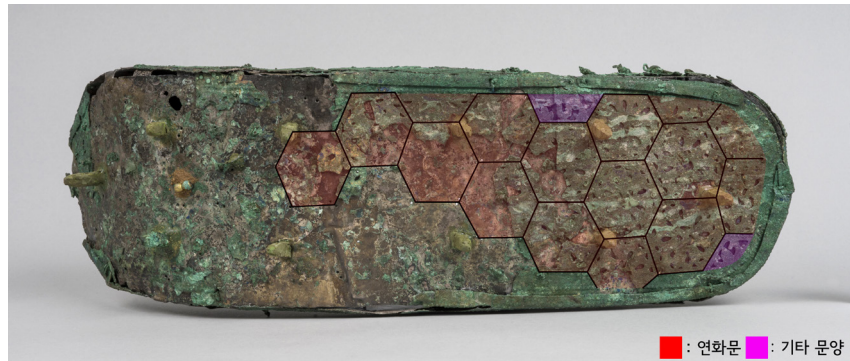
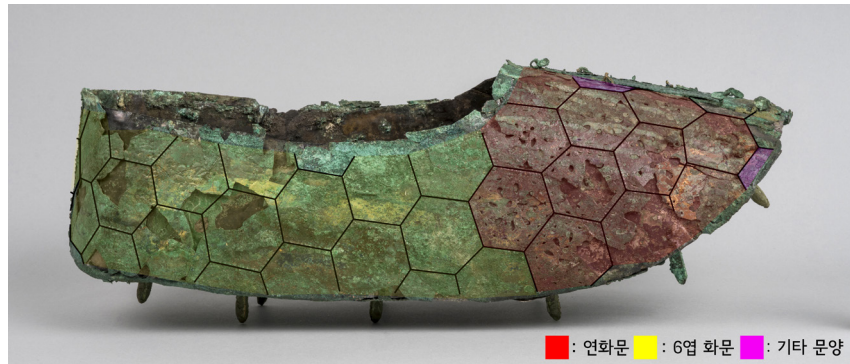
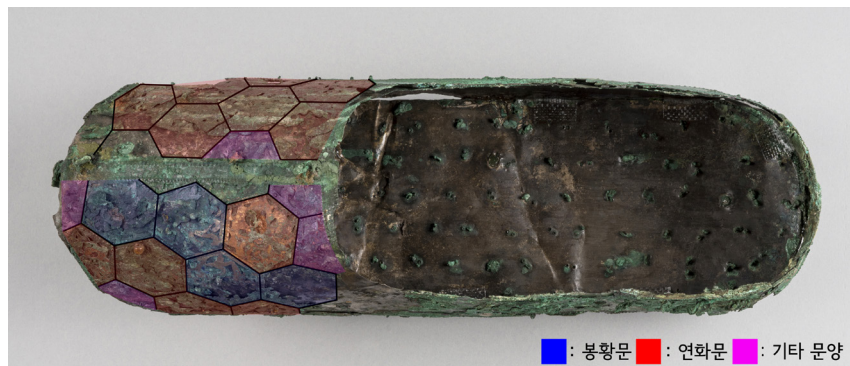
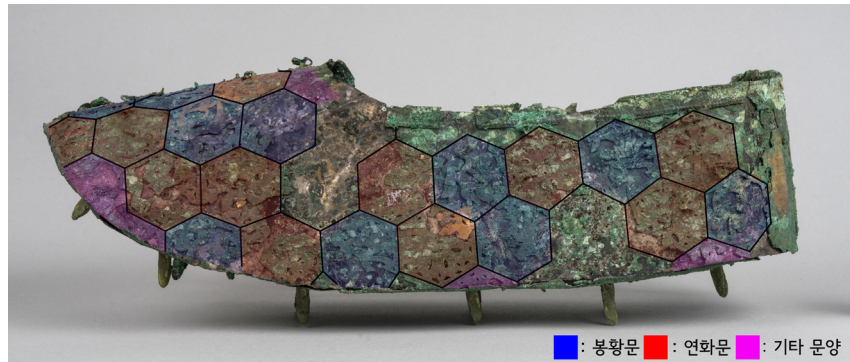
#### 4.2.2. 내측판

좌·우측 식리의 내측판 귀갑문 배열 방향은 서로 다르게 구성되어 있다. 좌측 식리는 귀갑문의 뾰족한 부분이 가로방향(○)으로 누워있으며<sup>[도6(c)]</sup>, 우측 식리는 외측판과 동일하게 귀갑문의 뾰족한 부분이 위·아래(○)로 향해있다<sup>[도7(c)]</sup>. 귀갑문의 크기는 뾰족한 부분을 위·아래로 향하게 했을 때, 가로 3.7~4.0cm, 세로 4.0~4.5cm, 한 변의 길이 2.0~2.5cm이며, 외측판의 귀갑문 크기와 비슷하다.

귀갑문 안에는 화문만을 주문양으로 표현하였으며, 전면 ⅓은 연화문을 문양투기법으로 투조하였고<sup>[도9(a),(b)]</sup>, 나머지 부분은 6엽 화문과 줄기를 세점열문으로 표현하였다<sup>[도9(c),(d)]</sup>. 연화문이 투조된 부분은 외측판과 동일하게 영락을 달아 장식하였으며, 6엽 화문이 배치된 부분은 결절점에 영락을 달지 않고 ‘^’형태의 문양을 세점열문으로 표현하였다<sup>[도9(e)]</sup>. 결실된 부분을 제외하고 좌측 식리는 연화문이 11개, 6엽 화문이 20개가 잔존하며<sup>[도6(c)]</sup>, 우측 식리는 연화문이 12개, 6엽 화문이 18개가 잔존한다<sup>[도7(c)]</sup>. 내측판은 가장자리 부분의 귀갑문 6면이 완성되지 않은 부분에도 연화문과 6엽 화문을 표현하여 외측판과 차이를 보인다<sup>[도6(c),도7(c)]</sup>.

|   |
|---|
| a |
| b |
| c |
| d |

- (a) 외측판  
(b) 상면  
(c) 내측판  
(d) 바닥판

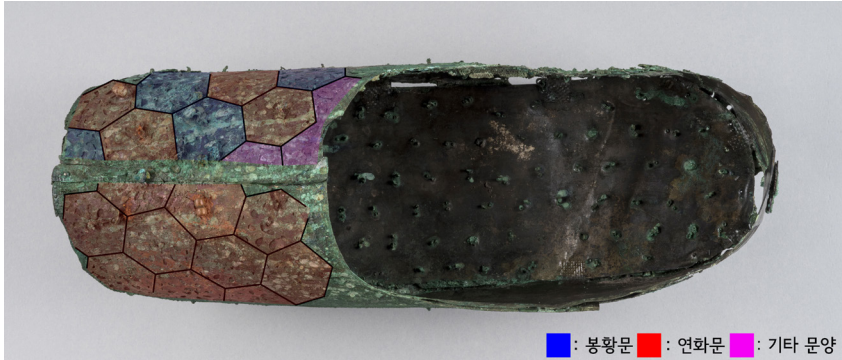


도6. 좌측 식리 문양 구성



|   |
|---|
| a |
| b |
| c |
| d |

- (a) 외측판  
(b) 상면  
(c) 내측판  
(d) 바닥판

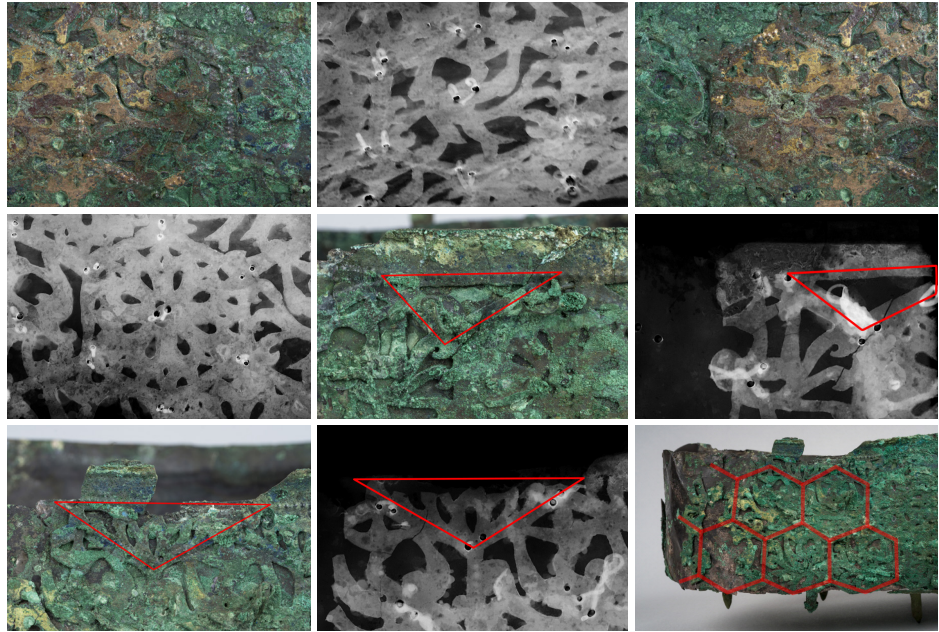


도7. 우측 식리 문양 구성



|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |
| g | h | i |

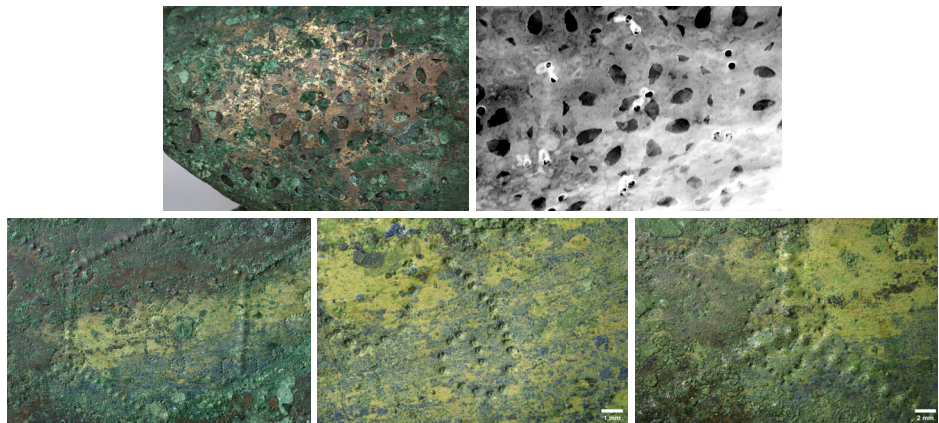
- (a) 우측 식리 봉황문  
(b) (a)의 X선 이미지(처리 전)  
(c) 우측 식리 연화문  
(d) (c)의 X선 이미지(처리 전)  
(e) 좌측 식리 보조 문양  
(f) (e)의 X선 이미지(처리 전)  
(g) 우측 식리 보조 문양  
(h) (g)의 X선 이미지(처리 전)  
(i) 우측 식리 외측판 후면  
봉황문



도8. 외측판 문양과 X선 이미지

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b |   |
| c | d | e |

- (a) 우측 식리 연화문  
(b) (a)의 X선 이미지  
(처리 전)  
(c) 우측 식리 6엽 화문  
(d) 6엽 화문 줄기  
(e) 6엽 화문 결절점



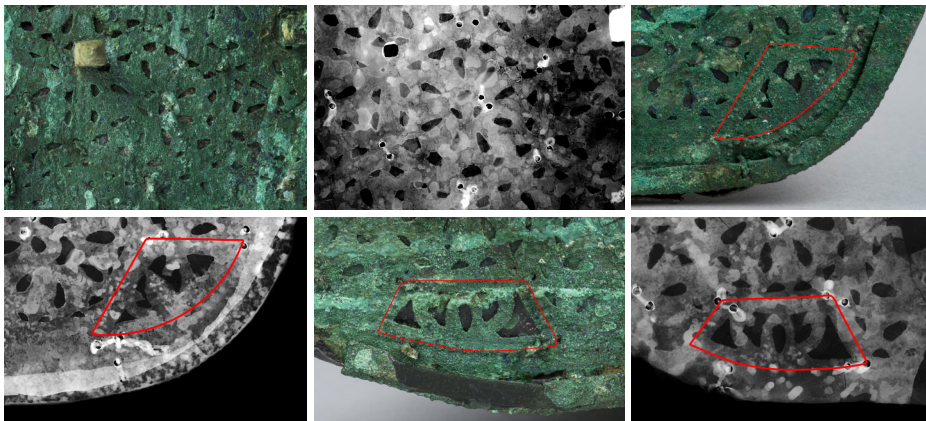
도9. 내측판 문양과 X선 이미지



#### 4.2.3. 바닥판

바닥판은 가장자리 부분의 외곽선을 따라 귀갑문 테두리에 새긴 것과 동일한 점열문 쌍을 새겨 문양대를 구획하였고, 그 안에 귀갑문을 배치하였다. 귀갑문은 뽕족한 부분이 코부분과 뒤측 부분으로 향하게 배열하였다<sup>[도6(d), 도7(d)]</sup>. 영락은 측판과 동일하게 귀갑문의 결절점과 중앙에 달았으며, 일부 영락은 귀갑문의 중앙에서 벗어난 위치에 달기도 하였다.

귀갑문 안에는 연화문만을 문양투기법으로 투조하였다<sup>[도10(a),(b)]</sup>. 좌측 식리는 외관이 결실된 부분이 많아 연화문이 16개만 잔존하며<sup>[도6(d)]</sup>, 우측 식리는 연화문이 35개 잔존한다<sup>[도7(d)]</sup>. 바닥판의 발등과 뒤측 부분의 귀갑문 6면이 완성되지 않은 부분에는 연화문을 배치하지 않았으며, 좌측 식리<sup>[도10(c),(d)]</sup>가 우측 식리<sup>[도10(e),(f)]</sup>보다 문양을 생략하여 간결하게 표현하였다.



도10. 바닥판 문양과 X선 이미지

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

- (a) 우측 식리 연화문
- (b) (a)의 X선 이미지(처리 전)
- (c) 좌측 식리 보조 문양
- (d) (c)의 X선 이미지(처리 전)
- (e) 우측 식리 보조 문양
- (f) (e)의 X선 이미지(처리 전)

#### 4.2.4. 이연

상연의 문양대는 높이가 약 1.0cm이며, 위·아래에 점열문 쌍을 새겨 문양대를 구획하였고, 그 가운데 거치문(鋸齒文)을 세점열문으로 표현하였다<sup>[도11(a)]</sup>. 하연의 너비는 0.6~1.0cm이며, 측판에서 바닥판 쪽으로 꺾여 들어가는 부분에 점열문 쌍을 새겼다<sup>[도11(b)]</sup>.

전연의 문양대는 너비가 약 1.0cm이며, 좌·우 양 끝에 점열문 쌍을 새겨 문양대를 구획하였다. 가운데 부분에는 점열문으로 ‘人’문양을 표현하였으며, 수직 방향으로 연속 배치하였다<sup>[도11(c)]</sup>. 좌측 식리의 외측판 전연 끝단 부분에는 세점열문 1열을 생략하였다<sup>[도11(c)]</sup>. 후연 또한 전연과 동일한 문양을 점열문으로 표현하였다.

이와 같이 금동은제식리의 문양구성 및 표현기법을 살펴본 결과, 주문양의 제작

기법 및 잔존 수량은 표4와 같다.



- (a) 우측 식리 상면 X선  
이미지(처리 전)  
(b) 우측 식리 하면  
점열문 쌍  
(c) 좌측 식리 전면  
점열문



도11. 이연 문양과 X선 이미지

표4. 주문양의 제작기법 및 잔존 수량

(단위: 개)

| 주문양의<br>종류 | 제작기법    | 예시 | 외측판 |    | 내측판 |    | 바닥판 |    |
|------------|---------|----|-----|----|-----|----|-----|----|
|            |         |    | 좌   | 우  | 좌   | 우  | 좌   | 우  |
| 봉황문        | 투조(지투)  |    | 10  | 16 | -   | -  | -   | -  |
| 연화문        | 투조(문양투) |    | 11  | 10 | 11  | 12 | 16  | 35 |
| 6엽 화문      | 선조(점선조) |    | -   | -  | 20  | 18 | -   | -  |

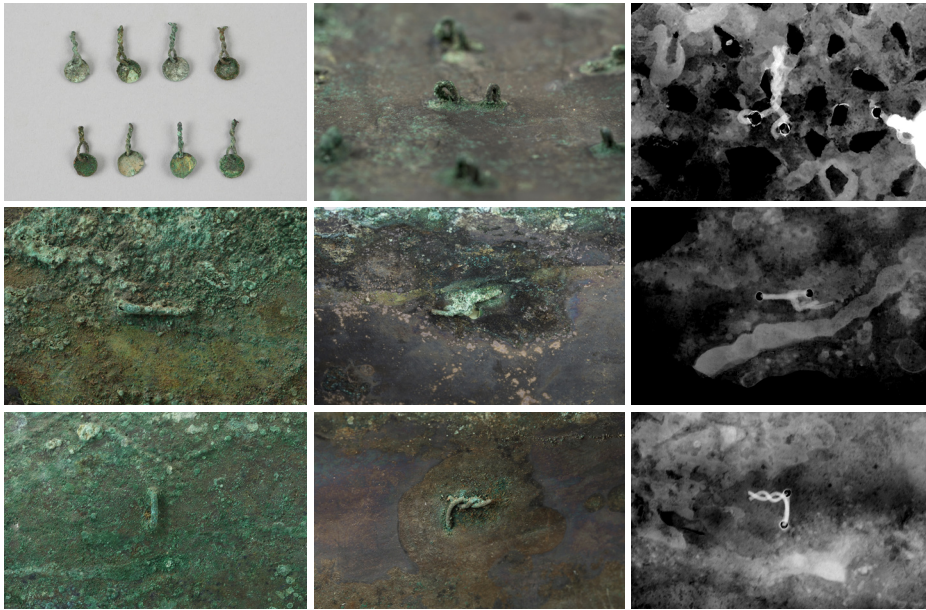
#### 4.3. 결합방법

##### 4.3.1. 내·외판 결합

외측판과 바닥판의 내·외판은 금동제영락사(이하 ‘영락사’)를 사용하여 결합하였다. 각 귀갑문의 결절점과 중앙에는 영락사를 결합하기 위해 2개의 구멍을 외면에서 내면으로 투공(透孔)하였다. 영락사에 영락을 꿰어 끼운 후, 영락사의 끝부분을 각 구멍에 넣고 은제판의 내면에서 둥글게 구부려 고정하였다<sup>[도12(a)~(c)]</sup>. 영락사의 굽기는 약 0.1cm, 영락의 지름은 약 0.7cm이며, 영락 결합용 구멍을 기준으로 추정하였을 때, 외측판에 달린 영락은 좌측 식리 86개, 우측 식리 83개로 추정된다. 바닥판에 달린 영락은 좌측 식리 101개, 우측 식리 105개로 추정된다.

내측판의 연화문이 투조된 전면은 외측판, 바닥판과 동일하게 영락사를 사용하여 내·외판을 결합하였으며, 좌측 식리는 42개, 우측 식리는 41개의 영락이 달린 것으로 추정된다. 6엽 화문이 시문된 부분은 내측판의 중앙과 후면 2군데에서만 금동사

를 사용하여 결합하였다. 결합을 위한 구멍은 약 1.0cm(좌 1.3cm, 우 0.8cm) 내외의 간격을 두고 2개를 투공하였으며, 투공은 내면에서 외면으로 하였다. 그리고 구멍에 금동사를 끼워 넣은 후, 내면에서 금동사를 꼬아 고정하였다. 좌측 식리는 가로 방향, 우측 식리는 세로 방향으로 투공하여, 좌·우측 식리가 차이를 보인다<sup>[도12(d)~(i)]</sup>.



도12. 내·외판 결합과 X선 이미지

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |
| g | h | i |

- (a) 영락 및 영락사 편
- (b) 영락사 결합 내면
- (c) 바닥판 영락사 결합 X선 이미지
- (d) 좌측 식리 금동사 결합 외면
- (e) 좌측 식리 금동사 결합 내면
- (f) (d), (e)의 X선 이미지
- (g) 우측 식리 금동사 결합 외면
- (h) 우측 식리 금동사 결합 내면
- (i) (g), (h)의 X선 이미지

#### 4.3.2. 측판 결합

양 측판은 발등과 뒤축에서 원두정을 사용하여 결합하였다. 그동안 우측 식리의 뒤축이 결실되어 결합방식이 정확히 확인되지 않았지만<sup>[도4(g)]</sup>, 이번 보존처리 과정에서 우측 식리의 뒤축 일부 편을 확인하여<sup>[도4(h), 도13(g)]</sup>, 좌·우측 식리 모두 발등과 뒤축 부분에서 외측판을 내측판 위로 겹친 후 결합한 것을 확인하였다.

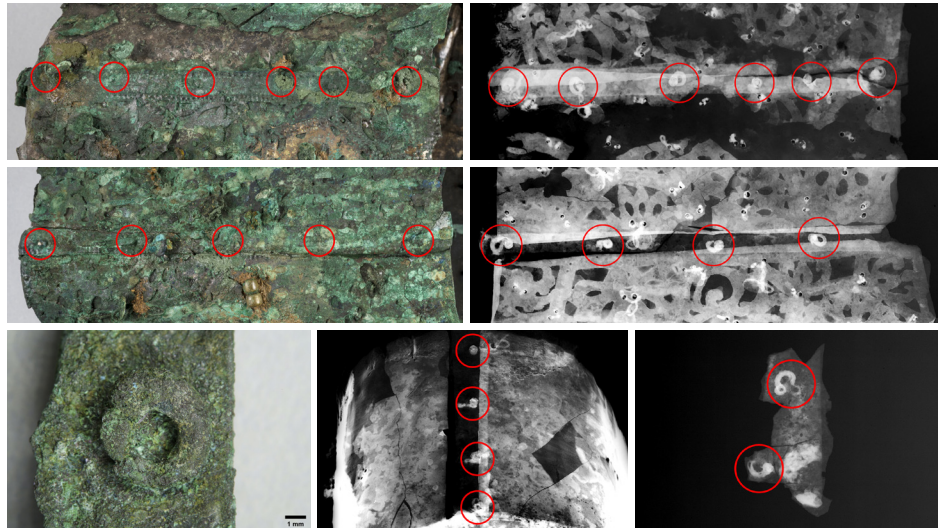
발등과 뒤축의 측판 결합은 구멍을 외면에서 내면으로 투공하였으며, 외면에서 원두정을 끼운 후, 내면에서 신부를 둥글게 말아 고정하였다<sup>[도13(e)]</sup>. 보존처리 과정에서 우측 식리 발등의 원두정을 추가로 확인하였으며, 좌측 식리는 6개<sup>[도13(a), (b)]</sup>, 우측 식리는 5개의 원두정을 발등의 결합에 사용하였다<sup>[도13(c)~(e)]</sup>. 발등의 원두정 지름은 약 0.5cm이며, 정두부 중심 간의 간격은 좌측 식리 2.4~3.0cm, 우측 식리 3.1~3.6cm이다. 좌측 식리의 뒤축은 4개의 원두정으로 결합하였으며, 정두부 중심 간의 간격은 약 2.3cm이다<sup>[도13(f)]</sup>. 우측 식리는 뒤축 일부 편에 2개의 원두정이 잔존한다<sup>[도13(g)]</sup>.

X선 조사에서 좌측 식리 뒤축 은제판<sup>[도13(f)]</sup>과 우측 식리 발등의 양 측판<sup>[도13(d)]</sup> 및

뒤축<sup>[도4(g)]</sup>은제판은 결합 흔적이 확인되지 않아 서로 겹쳐있지 않았던 것으로 추정된다<sup>[도4(g)]</sup>. 좌측 식리 발등에서 양 측판의 은제판이 일부 겹쳐있는 부분도 확인되지만<sup>[도13(b)]</sup>, 전체적으로 내판인 은제판이 외판인 금동제판보다 가로길이가 짧게 제작된 것으로 추정된다.

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b |   |
| c | d |   |
| e | f | g |

- (a) 좌측 식리 발등 원두정  
 (b) (a)의 X선 이미지(처리 전)  
 (c) 우측 식리 발등 원두정  
 ((e)의 원두정 편 접합 후)  
 (d) (c)의 X선 이미지  
 (e)의 원두정 편 접합 전  
 (e) 우측 식리 발등 원두정 편  
 신부(처리 전)  
 (f) 좌측 식리 뒤축 원두정 X선  
 이미지(처리 전)  
 (g) 우측 식리 뒤축 편 원두정  
 X선 이미지(처리 전)



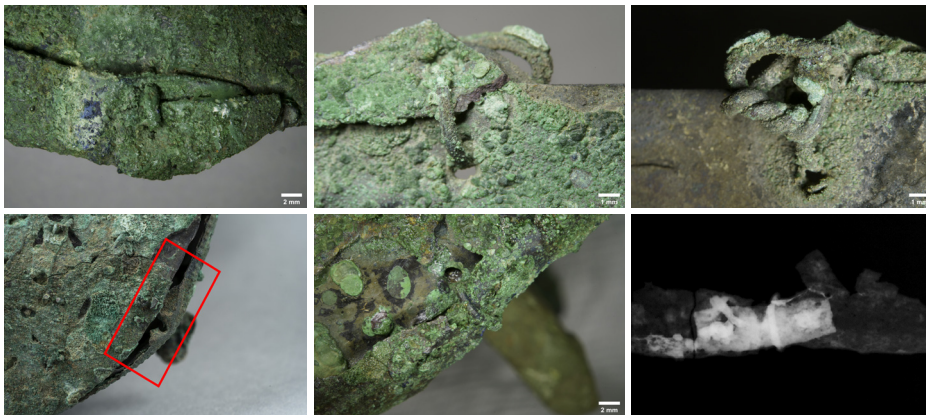
도13. 양 측판 결합과 X선 이미지



#### 4.3.3. 측판과 바닥판 결합

측판과 바닥판은 금동사를 사용하여 결합하였다. 측판의 바닥판 쪽으로 꺾여 들어간 하연과 바닥판 가장자리에 외면에서 내면으로 투공하여 금동사로 켜 후, 내면에서 금동사의 끝부분을 꼬아 고정하였다<sup>[도14(a)~(c)]</sup>. 결합 위치는 코부분과 뒤측에서 각각 1군데, 양 측판과 바닥판이 만나는 부분에서 각각 5군데씩, 총 12군데를 고정한 것으로 추정된다. 측판과 바닥판의 결합용 금동사가 꿰어진 부분 사이의 간격은 약 5.5~12.0cm로 일정하지 않다.

발등의 측판 하연 일부는 바닥판과 곡물을 맞추기 위해 접혀있는 상태이다<sup>[도14(d)]</sup>. 하지만 우측 식리의 발등 외측판 하연은 일부를 잘라 서로 겹치게 한 후 금동사로 감아서 고정하였다. 이를 위해 하연 부분이 아닌 외측판의 하단과 바닥판에 각각 한 개씩 결합용 구멍을 투공하였다<sup>[도14(e),(f)]</sup>.



도 14. 측판과 바닥판의 결합

- |   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |
- (a) 좌측 식리 뒤측 · 바닥판 결합 외면
  - (b) 우측 식리 측판 · 바닥판 결합 외면
  - (c) 우측 식리 측판 · 바닥판 결합 내면
  - (d) 우측 식리 하연 접힌 모습
  - (e) 우측 식리 외측판의 측판과 바닥판 결합
  - (f) (e)의 X선 이미지(처리 전)

#### 4.3.4. 사면정 결합

사면정은 사각추형태이며, 잔존 길이 약 2.4~2.7cm, 두께 약 0.6×0.8cm이다<sup>[도5(g)]</sup>. 윗면에는 바닥판과 결합하기 위한 짧은 방형의 결합부가 확인된다<sup>[도15(c)~(e)]</sup>. 바닥판에 사면정을 결합하기 위한 구멍을 외면에서 내면으로 투공한 후, 결합부를 끼우고 내면에서 윗면을 두드려 결합한 것으로 확인된다<sup>[도15(d)~(f)]</sup>.

사면정은 식리의 전면과 후면에 한 개씩 배치하였고, 그 사이에 2개씩 4쌍을 나열하여 총 10개의 사면정을 배치하였다. 좌측 식리는 10개의 사면정 중 1개를 제외한 나머지 부분이 모두 복원되어 있고<sup>[도15(a)]</sup>, 우측 식리는 10개의 사면정 중 5개가 복원되어 있다<sup>[도15(b)]</sup>. 한 쌍을 이루는 사면정 간의 간격은 약 5.5~5.9cm이며, 식리 착장 시 길이방향으로 나열된 사면정 열 간의 간격은 좌측 식리 5.0~9.0cm, 우측 식리



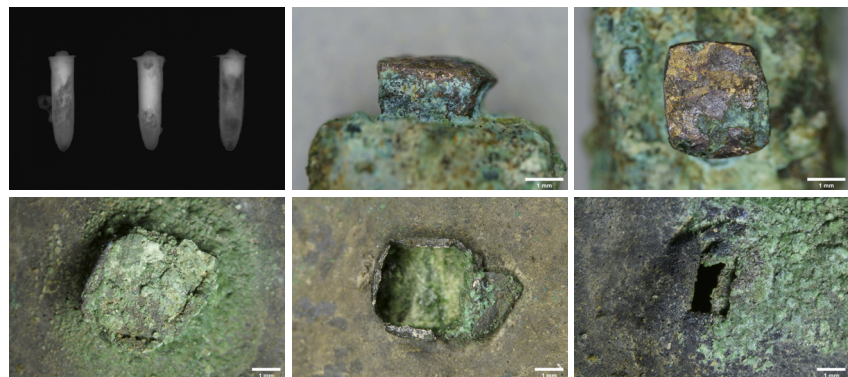
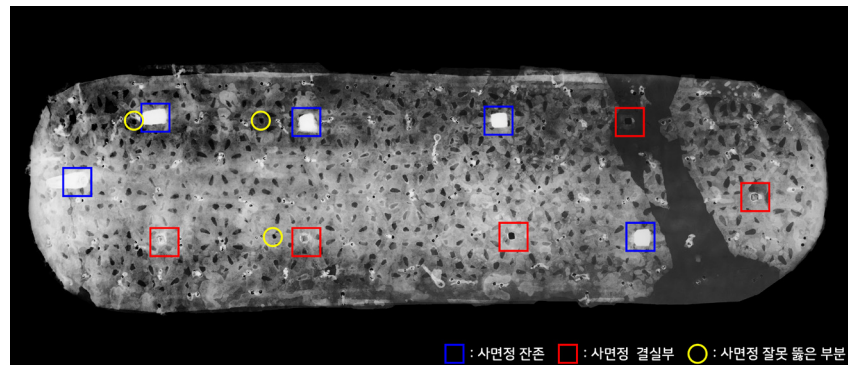
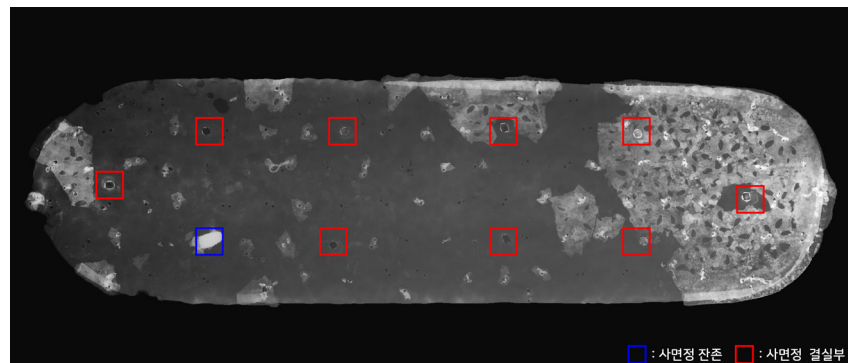
4.0~10.0cm이다. 바닥판 중앙에서 코부분과 뒤축으로 갈수록 사면정 열 간의 간격이 좁아지는 양상을 보인다.

우측 식리에서는 사면정 결합용 구멍을 다시 투공한 흔적을 확인하였다. 코부분을 기준으로 두 번째와 세 번째 사면정 열보다 앞 부분에 투공하였다가 그보다 더 멀리 떨어진 현재의 위치에 사면정을 결합하였다<sup>[도15(b),(h)]</sup>.

이와 같이 금동은제식리의 결합방법을 살펴본 결과, 결합방법에 따른 투공방향, 부속구 수량 등을 정리하면 표5와 같다.

|   |   |   |
|---|---|---|
| a |   |   |
| b |   |   |
| c | d | e |
| f | g | h |

- (a) 좌측 식리 바닥판 사면정  
(처리 전)  
(b) 우측 식리 바닥판 사면정  
(처리 전)  
(c) 도5(g)의 X선 이미지  
(d) 사면정 결합부 측면  
(e) 사면정 결합부 위면  
(f) 사면정 결합 모습  
(g) 사면정 결실부  
(h) 바닥판 내면 잘못 뚫은  
구멍흔



도15. 사면정 결합과 X선 이미지

표5. 금동은제식리의 결합방법과 부속구 수량

(단위: 개)

| 구분           | 결합방법 | 투공방향    | 부속구 수량 |          |          |
|--------------|------|---------|--------|----------|----------|
|              |      |         | 부속구 위치 | 좌측 식리    | 우측 식리    |
| 내·외판<br>결합   | 영락사  | 외면 → 내면 | 외측판    | 86(85)   | 83(81)   |
|              |      |         | 내측판    | 42       | 41(40)   |
|              |      |         | 바닥판    | 101(87)  | 105(103) |
|              |      |         | 합계     | 229(214) | 229(224) |
|              | 금동사  | 내면 → 외면 | 내측판    | 2(1)     | 2(1)     |
| 측판 결합        | 원두정  | 외면 → 내면 | 발등     | 6        | 5        |
|              |      |         | 뒤측     | 4        | (2)      |
| 측판·바닥판<br>결합 | 금동사  | 외면 → 내면 | 바닥판    | 12(8)    | 12(7)    |
| 사면정          | 사면정  | 외면 → 내면 | 바닥판    | 10(1)    | 10(5)    |

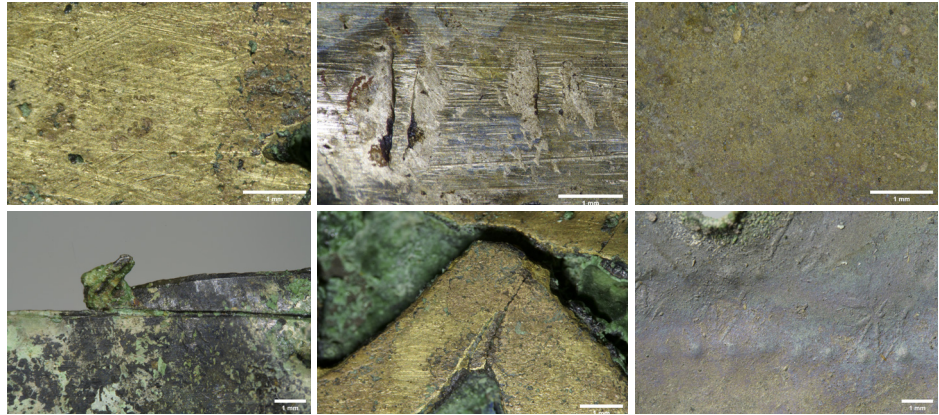
\* ( )는 잔존 수량

#### 4.4. 제작흔적

실체현미경을 통해 제작과정에서 형성된 다양한 제작흔적을 확인하였다. 금동제 판과 은제판의 외면에서 광쇠질한 흔적을 확인하였으나<sup>[도16(a),(b)]</sup>, 은제판의 내면에서는 광쇠질한 흔적이 확인되지 않는다<sup>[도16(c)]</sup>. 은제판의 외면은 투조된 금동제판을 통해 밖으로 드러나지만, 은제판의 내면은 식리 착장 시 보이지 않는 부분이므로 내면 보다 외면의 마무리에 중점을 둔 것으로 추정된다. 그리고 은제판의 절단을 위한 도안 구획선과 절단 후 끝단을 마무리한 흔적을 확인하였으며<sup>[도16(d)]</sup>, 금동제판의 문양을 투조할 때 생긴 투조 끝 흔적을 확인하였다<sup>[도16(e)]</sup>. 또한, 우측 식리 바닥판의 은제판 내면 일부에서 세점열문을 확인하였으며<sup>[도16(f)]</sup>, 금동제판과 은제판을 결합한 후, 세점열문을 타출한 것으로 추정된다.

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

- (a) 금동제판 외면 광식흔  
(b) 은제판 외면 광식흔  
(c) 은제판 내면  
(d) 은제판 외면 도안 구획선  
(e) 금동제판 봉황문 투조흔  
(f) 바닥판 은제판 내면 세점  
열문흔



도16. 제작흔적

## 5. 결론

무령왕릉에서 출토된 금동은제식리는 그 중요성에도 불구하고 최근까지 정밀 조사 및 보고가 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 금동은제식리의 과학적인 보존처리 및 분석을 실시하였으며, 이를 통해 새롭게 밝혀진 내용을 기술하였다.

금동은제식리는 형태가 왜곡된 상태였으며, 편 분류 및 재조사 과정에서 일부 편을 확인하여 보존처리를 실시하였다. 그 결과, 우측 식리 상연과 뒤축 일부 편 등을 접합하여 발등 결합에 사용된 원두정은 좌측 식리 6개, 우측 식리 5개임을 확인하였다. 또한 좌·우측 식리 모두 외측판이 내측판 위로 겹치게 결합한 것을 확인하였다.

성분 분석결과, 금동은제식리의 외판, 영락, 영락사, 금동사, 사면정은 순동에 수은 아말감 금도금을 한 것으로 추정되며, 내판은 순은을 사용하였다. 또한 원두정의 정두부는 수은 아말감 금도금을 한 것으로 추정되지만, 신부는 도금을 하지 않은 것으로 추정된다.

각 판에는 귀갑문 안에 봉황문, 연화문, 6엽 화문을 주문양으로 표현하였다. 봉황문은 지투기법으로 외측판에만 표현하였고, 연화문은 문양투기법으로 각 판에 모두 표현하였다. 반면, 6엽 화문은 투조로 표현된 봉황문, 연화문과는 달리 점선조로 표현하였으며, 내측판의 중앙과 후면에만 표현하였다. 전체적으로 봉화문과 6엽 화문에 비해 연화문의 비율이 높다.

각 판의 결합은 영락사, 금동사, 원두정, 사면정을 사용하였으며, 내·외판은 영락사를 사용하여 결합하였다. 내측판은 연화문이 시문된 전면에만 영락사를 사용하였고, 6엽 화문이 시문된 중앙과 후면에는 금동사로 결합하여 장식 기능과 결합 기능을 구분하여 사용한 것으로 추정된다. 양 측판의 결합은 식리의 내면에서 원두정의 신부를 둥글게 말아 고정하는 방법을 사용하였으며, 좌·우측 식리의 발등 결합에

사용된 원두정의 수량에서 차이를 보인다. 금동은제식리는 부속구를 결합하기 위하여 외면에서 내면으로 투공하였으며, 내측판의 금동사 결합은 다른 부분과는 다르게 내면에서 외면으로 투공하였다.

금동제판과 은제판의 외면에는 광쇠질 흔적이 확인되지만, 은제판의 내면에서는 확인되지 않는다. 은제판의 내면은 식리 착장 시 보이지 않는 부분으로 내면보다 외면의 마무리에 중점을 둔 것으로 추정된다.

이상의 결과를 통해 금동은제식리의 재질 특성 및 문양표현, 제작기법 등을 확인하였다. 그러나 금동은제식리는 여전히 결실된 부분이 많으며, 좌·우측 식리 사면정은 원형이 복원되지 않아 추후 지속적인 보존처리가 필요하다. 또한 조립 순서 등의 제작과정을 밝히기 위한 연구도 추가적으로 필요하다. 그럼에도 이상의 연구 결과가 백제 문화권에서 출토된 식리들과의 비교 연구를 통해 백제의 금속공예기술을 밝히는데 유용한 자료로 활용되기를 기대한다.

## 참고문헌

1. 申英浩, 武寧王의 金銅製 신발에 대한 一考察, *고고학지* **11**, p77~94, (2000).
2. 이귀영, 백제 금속공예 제작기법의 전개양상, *百濟學報* **2**, p155~184, (2009).
3. 이문형, 제작기법과 문양을 통해 본 백제 금동신발의 편년, *중앙고고연구* **18**, p67~98, (2015).
4. 이현상, 백제 식리의 원형복원을 위한 주변국 식리와의 비교 연구, *百濟學報* **24**, p203~237, (2018).
5. 주경미, 무령왕릉 출토 금속공예품의 현황과 특징, *무령왕릉 발굴 50주년 기념 국제학술대회 자료집 '무령왕릉, 새로운 반세기를 준비하며'*, p93~128, (2020).
6. 이한상, 무령왕릉 출토 금동식리 재검토, *무령왕릉 발굴 50주년 기념학술대회 자료집 '무령왕릉을 다시보다'*, p53~71, (2021).
7. 文化公報部 文化財管理局, 武寧王陵 發掘調査報告書, p23, 三和 出版社, 서울, (1974).
8. 국립공주박물관, *사진으로 보는 武寧王陵 발굴*, p154~155, 국립공주박물관, 공주, (2012).
9. 이귀영, *百濟 金屬工藝技術史 研究*, 고려대학교 대학원 한국사학과, 박사학위논문, p152~157, (2011).
10. 강민정, *나주 신촌리 9호분 출토 금동신발의 제작기법과 고대기술재현*, 한국전통문화대학교 문화유산융합대학원 수리복원학과, 석사학위논문, p5~6, (2018).
11. 이문형·유수화, 고창 봉덕리 1호분 출토 금동신발의 제작방법과 문양-4호석실 출토품을 중심으로, *馬韓·百濟文化* **25**, p313~326, (2015).
12. 국립공주박물관, *무령왕릉 발굴 50주년-새로운 반세기를 준비하며*, p206~224, 국립공주박물관, 공주, (2021).
13. 박학수, 감은사지 동 삼층석탑 사리장엄구의 재보존처리, *박물관보존과학* **13**, p59~69, (2012).
14. 이영범, 익산 입점리 1호분 출토 금동관의 제작기법 연구, *박물관보존과학* **20**, p1~12, (2018).
15. 김성곤, 비파괴 분석법에 의한 백제 금동관 재질 특성 연구, *박물관보존과학* **23**, p91~108, (2020).



# 석촌동 고분군 출토 금제이식의 제작기법 연구 및 보존처리

Study on the Production  
Methods and Conservation  
Treatment of the Gold Earrings  
Excavated from the Ancient  
Tombs in Seokchon-dong in  
Seoul

김예승<sup>1\*</sup>, 정세리<sup>1</sup>, 이다혜<sup>1</sup>,  
장민경<sup>1</sup>, 김나은<sup>1</sup>, 양석진<sup>2</sup>  
한성백제박물관<sup>1</sup>,  
국립중앙박물관 보존과학부<sup>2</sup>

Kim Yeseung<sup>1\*</sup>, Jeong Seri<sup>1</sup>,  
Lee Dahye<sup>1</sup>, Jang Minkyong<sup>1</sup>,  
Kim Naeun<sup>1</sup>, Yang Seokjin<sup>2</sup>  
Collection Management Division,  
Seoul Baekje Museum<sup>1</sup>,  
Conservation Science Division,  
National Museum of Korea<sup>2</sup>

\* Corresponding Author :  
Kim Yeseung

Tel : 82-2-2152-5968  
E-mail : nymph820@hanmail.net

## 요약

한성백제박물관에서는 백제 한성기 대표적인 왕실과 중앙세력의 분묘군으로 알려진 사적 제243호 석촌동 고분군의 학술 발굴조사를 실시하고 있으며, 그 과정에서 출토된 금제이식의 과학적 분석 및 보존처리를 실시하였다. 분석은 실체현미경 관찰, SEM, X-선 촬영, CT, XRF 분석을 실시하였고, 이를 통해 유물 특성, 내부 구조와 성분 등을 확인하고 제작 기법을 알아보고자 하였다. 연구결과, 금동이식의 주환은 동심재에 수는 아말감 금도금하였고, 중간식의 육면체는 금 분말을 용융시켜 소환을 이어 붙였으며 수하식 구체는 반구체 두 개를 땀하여 붙인 것을 확인하였다. 세환이식 2건은 표면 성분이 서로 유사하지만 동심재에 금판을 감싸 제작한 것과 금봉을 구부려 제작한 것으로 제작기법에 차이가 있음을 밝혔다. 금 함량은 유물에 따라, 측정 위치에 따라 다르지만 약 19~21K로 비교적 높은 금 함량을 보이며 정교한 공예기술로 만들어진 이식이라는 점에서 피장자의 우월적 지위와 석촌동 고분군의 위상을 판단할 수 있는 자료가 될 것으로 보인다.

**주제어** : 백제 한성기, 석촌동 고분군, 금제이식, 컴퓨터 단층촬영, 성분 분석

## Abstract

The Seoul Baekje Museum has been conducting excavations at the Ancient Tomb Complex in Seokchon-dong, Seoul (Historic Site No. 243), known to be tombs of the royal family and the ruling class during the Hanseong period of the Baekje Kingdom. In this study, gold earrings that were revealed during the excavation underwent scientific analysis and conservation treatment. Stereo microscopy, SEM, X-ray imaging, CT, and XRF were applied in the analysis, and the characteristics, internal structure, and composition of the earrings as well as their production method were investigated. The results confirmed that the main hoops of the gilt-bronze earrings were made of copper cores gilt using mercury amalgamation. The findings also revealed that the hexahedron in the middle pendant was made by connecting small rings using molten gold powder, and the pendant sphere at the end was formed by soldering two hemispheres. As for the two thin-hoop earrings, they showed similar surface compositions but were made using different methods, with one made from a copper core wrapped with a gold plate and the other made by bending a gold rod. The gold content varied depending on the item and the place of measurement, but overall the earrings showed a relatively high gold content of approximately 19 to 21K. The purity of the golden earrings and the sophisticated manufacturing techniques applied indicate the high status of the buried person and of the tomb complex in Seokchong-dong.

**Keywords** : Hanseong period of Baekje, Seokchon-dong Ancient Tombs, Gold earrings, Computed Tomography, Compositional analysis

투고일: 2021.10.01. 심사(수정)일: 2021.10.13. 게재확정일: 2021.10.28.

## 1. 서론

고대 국가의 금속 공예품은 그 당시 과학기술 발전 수준과 소유자의 지위 등을 알 수 있는 중요한 자료이다. 특히 고분 출토 부장품은 형식 연구를 통하여 편년을 설정하거나 피장자의 신분과 위세를 추정할 수 있는 정치, 사회, 문화적인 특징을 반영하고 있어 더욱 의미가 있다.

삼국시대 금속 공예품에는 각국 특징이 잘 드러나는데 고구려는 선이 굵고 강건하며 신라는 정교하면서도 화려하고 백제는 간결하고 세련된 미적 감각이 돋보인다. 또한 각국 간의 밀접한 정치적 관계를 배경으로 완제품이 이동되거나 혹은 모방 제작이나 제작기술의 전이가 이루어지기도 한다<sup>[1]</sup>.

금속 공예품은 순금속으로 제작되기도 하지만 각각의 금속을 용도에 맞게 합금하여 재료의 성질을 변화시켜 사용하기도 한다. 이 중 금, 은 등의 귀금속은 잘 변하지 않는 성질과 특유의 색상, 광택, 희귀성으로 인해 고대부터 장신구, 장식품을 만드는데 사용되었다. 특히 금은 유적에서의 출토 여부에 따라 그 위상이 가늠될 정도로 지배계층의 권위와 부의 상징물을 대표하는 귀한 금속이다<sup>[2]</sup>. 삼국시대 금속 공예품의 재료로 풍부하게 사용되었던 금은 청동합금의 발달과 더불어 표면 장식 및 도금 기법이라는 독특한 분야를 이루면서 더욱 발전하게 되었다<sup>[3]</sup>.

백제시대 금제 유물에 관한 연구로는 익산 왕궁리 유적 출토 금제품의 화학 조성 과 제작 기술 연구에서 금의 순도에 따라 3그룹으로 나뉘 순도에 따른 유물의 용도를 확인한 바 있다. 또한 기타 금속재료는 왕궁리 유적에서 출토된 동합금 도가니를 직접적으로 사용하였다는 근거를 밝혔으며, 수은이 검출되는 아말감 잔류물은 순동, 주석, 청동 편이 확인과 함께 도금기법을 이용한 금동유물의 제작가능성을 확인하였다<sup>[4]</sup>. 비파괴 분석법을 활용한 무령왕릉 및 백제지역 금제품의 제작 특성 연구에서는 웅진기 백제시대에 고순도의 순금을 제조할 수 있는 기술력이 존재했음을 밝혔다. 또한 시기별 순서에 따라 한성기의 천안 용원리 출토 금제품은 금순도 면에서 가장 낮았고, 동시기로 판단되는 무령왕릉과 공주 금학동 출토 금제품의 금순도 차이는 계층·신분간의 차이에서 오는 결과로 기인된 것을 알 수 있었다<sup>[5]</sup>. 백제 한성기에 해당하는 서산 부장리 유적에서 출토된 이식 연구에서는 출토된 이식 21점을 분석한 결과 합금 재료에 포함된 금의 순도가 높거나 다양한 재료를 이용하여 복잡한 공정을 거쳐 제작된 이식은 모두 위세품인 관모, 식리, 장식대도와 함께 출토되는 양상을 보이고 있다는 점을 확인하였다. 한성 백제가 지방에 대한 지배력을 확장하는 과정에서 금공품을 지방에 대한 장악과 지배력을 나타내기 위한 수단으로 삼았다는 것을 감안할 때 이식 역시 금의 순도 및 제작공정에 따라 피장자의 우월적 위치를 판단할 수 있는 근거가 될 수 있을 것으로 보았다<sup>[6]</sup>.

한성백제박물관에서는 백제 한성기 대표적인 왕실과 중앙세력의 분묘군으로 알려진 사적 제 243호 석촌동 고분군의 학술 발굴조사를 실시하고 있으며, 그 과정에서 금제이식이 출토되었다. 이에 보존과학실에서는 발굴조사 과정에서 출토된 금동 이식 1건, 세환이식 2건의 과학적 분석 및 보존처리를 실시하여 유물의 과학적 정보를 밝히고 원형을 복원하였다. 분석은 실체 현미경 관찰, SEM 분석, X-선 촬영, 컴퓨터 단층 촬영(CT), XRF 분석을 실시하였고, 이를 통해 유물 내부 구조와 성분 등을 확인하고 제작 기법을 알아보고자 하였다. 백제 한성 도읍기에 해당하는 금제이식의 출토 사례가 적고 분석한 사례 역시 드물어 이번 연구를 통해 백제 한성기 금제이식에 대한 기초 연구 자료를 확보하는데 기여하고자 하였다.

## 2. 연구대상 및 연구방법

### 2.1. 유적 현황

석촌동 고분군은 왕릉급 고분과 크고 작은 고분으로 구성된 현존하는 백제 한성기 최대의 고분군이다. 석촌동 고분군에 대한 학술조사는 1911년 일제강점기 당시 지표조사를 시작으로 하여 1916년에는 1~4호분의 외형 조사가 이루어졌다. 이어 1917년에는 석촌리, 방이리 일대의 고분 분포도가 작성되면서 석촌리 1~4·8호분의 실측과 석촌리 6·7호분에 대한 내부조사가 진행되었다. 해방 후에는 1917년 잠실지구도시개발에 앞서 방이동, 송파동, 가락동 일대 백제시대 유적에 대한 지표 예비조사가 있었다. 석촌동 고분군에 대한 본격적인 학술 발굴조사는 1974년 석촌동 3·4호분을 대상으로 재개되었고 1976년에는 석촌동 파괴분 및 5호분에 대한 발굴조사가 있었다. 1983~1984년에는 석촌동 4호분 내부에 대한 조사, 1986년에는 3호분 동쪽 고분군에 대한 조사, 1987년 석촌동 1·2·5호분 주변 및 4호분 주변에 대한 발굴조사를 마지막으로 사적 제243호 석촌동 고분군은 도심의 고분공원으로 남게 되었다. 현재 공원 내부에는 1~5호분, A호 적석총, 3호 토광묘 정도만 복원·정비되어 있다.

1987년 마지막 발굴조사 이후 37년이 지난 2015년 봄, 2호분과 5호분의 중간 지점에 동공발생 원인규명을 위한 시굴조사에 착수하게 되었고 조사결과 고분의 석축구조로 파악되는 유구의 흔적을 확인하는 성과를 거두었다. 그 결과를 바탕으로 2015년부터 석촌동 고분군에 대한 학술 발굴조사에 착수하여 1호분 북쪽 적석총의 존재를 확인하는 조사결과를 얻었고 고분군의 전모를 파악해가는 연차조사를 진행 중에 있다. 2018년 발굴조사에서 확인된 연접적석총의 전체 규모는 남쪽 1호분까지 연장되어 남·북길이 100m에 달하는 연접식 적석총의 존재를 새롭게 인지하는 계기를 마련했다<sup>17)</sup>.

도1은 석촌동 고분군의 조사지역 위치도와 조사지역의 유구배치도<sup>[8]</sup>이며 조사지역의 1호 매장의례부와 3호 적석묘, 7호 적석묘에서 본 연구대상의 금제이식이 출토되었다.



도1. 석촌동 고분군 조사지역 위치도(좌), 정밀발굴조사 구역 유구배치도(우)

## 2.2. 연구대상

연구대상은 석촌동 고분군 발굴조사를 통해 출토된 금제이식 3건으로 표1과 같다. 금동이식(16석M-237)은 주환·유환·중간식(중간식 고리, 소환 연결육면체, 사슬)·수하식(수하식 고리, 소환, 구체)으로 구분되는 수하부 이식이다. 크기는  $2.4 \times 4.2\text{cm}$ 이며, 무게는 각각 3.3g, 2.8g이다. 세환이식(15석M-015)은 둥근 고리형의 주환으로만 구성되어 있는 이식으로 양쪽 단부가 벌어져 있는 상태이다. 크기는  $1.8 \times 1.6\text{cm}$ 이며, 무게는 1.53g, 비중은  $6.2\text{g}/\text{cm}^3$ 이다. 세환이식(16석M-238)도 둥근 고리형의 주환으로만 구성되어 있는 이식으로 양쪽 단부가 맞닿아 있다. 크기는  $1.3 \times 1.2\text{cm}$ 이며, 무게는 2.06g, 비중은  $15.2\text{g}/\text{cm}^3$ 이다.



표 1. 연구대상 유물 목록

| 연번 | 유물번호     | 유물명  | 수량    | 사진   | 출토유구     |
|----|----------|------|-------|--|----------|
| 1  | 16석M-237 | 금동이식 | 1건 2점 |   | 1호 매장의례부 |
| 2  | 15석M-015 | 세환이식 | 1건 1점 |   | 7호 적석묘   |
| 3  | 16석M-238 | 세환이식 | 1건 1점 |  | 3호 적석묘   |

### 2.3. 연구방법

유물의 특성과 성분 등을 조사하고 제작기법을 알아보기 위한 연구를 진행하였으며, 유물 원형 그대로 분석할 수 있는 비파괴 분석을 실시하였다. 분석은 크게 유물 표면 관찰을 위한 현미경 조사, 내부 구조 확인을 위한 X-선 조사, 재료학적 특성을 파악하기 위한 성분 분석으로 구분하여 진행하였다.

분석 대상 금제 유물은 크기가 작고 매우 정교하여 육안으로 관찰하기 어려운 부분들이 있어 실체현미경(M80, Leica, Germany)을 이용하여 고배율로 관찰하고, 좀 더 정밀한 부분은 주사전자현미경(SEM: Crossbeam550, Carl Zeiss Microscopy, Germany)을 이용하여 관찰하였다. 주사전자현미경 분석 조건은 20kV, SE 모드로 하였다.

겉으로 확인되지 않은 유물 내부 구조를 관찰하기 위해 Hard X-선(SMART EVO300DS, XYLON, Germany) 촬영을 실시하였다. Hard X-선의 촬영 조건은 160kV, 3mA, 240초로 하였다. 또한 X-선을 유물에 투과시켜 3차원으로 재구성하여 유물 외면, 내부 구조, 단면 등을 좀 더 명확히 확인하기 위해 CT 촬영(CT Modular, XYLON, Germany)을 실시하였다. 이때 촬영 조건은 200kV, 0.32mA로 하였다.

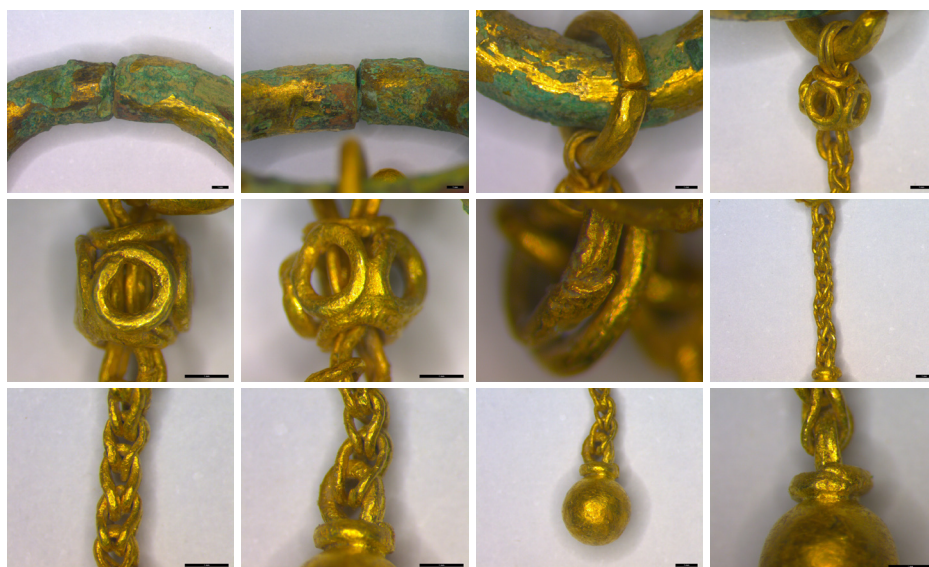
성분 조성에 대한 비파괴 분석은 측정 지점을 확인하며 성분 분석이 가능한 Micro XRF( $\mu$ XRF Spectrometer ARTAX, Bruker, Germany)를 이용하였다. 금동이식은 주환, 유환, 중간식, 수하식 등으로 구분하여 측정하였으며 위치에 따른 성분을 비교하였다. 분석 조건은 전압 30kV, 전류 500 $\mu$ A, 측정 시간 100초, 콜리메이터 0.65mm로 하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1. 표면관찰

##### 3.1.1. 실체현미경

금동이식의 실체현미경 관찰 결과, 주환은 소지금속인 동의 부식으로 인해 금이 많이 박락되어 있으며, 남아있는 금은 미량으로 심재와 매우 밀착된 상태이다<sup>[도2(a)]</sup>. 주환은 동봉에 금판을 감싼 후 원형으로 구부려서 제작하였으며, 집게흔이 관찰된다<sup>[도2(b)]</sup>. 유환도 같은 원리로 금봉의 양끝을 집게로 잡고 둥글게 휘어 원형을 만들어주었다<sup>[도2, 도3(c)]</sup>. 중간식은 중간식 고리와 소환 연접육면체, 사슬로 구성되어 있으며, 유환과 사슬을 연결하는 것이 중간식 고리이다<sup>[도2(d), 도3(e)]</sup>. 중간식 고리는 금사를 사선으로 절단하여 마감하고<sup>[도2(g), 도3(h)]</sup>, 두 줄을 겹쳐 길쭉한 타원형을 만든 뒤 중간부분을 구부려 연결한 형태로 소환 연접육면체 내부를 통과한다. 소환 연접육면체는 금봉을 환재에 감은 후 사선으로 절단하여 붙여 소환을 제작하고 같은 모양의 소환 6개를 땀 접합으로 육면체를 만들었다<sup>[도2(e), 도3(f)]</sup>. 사슬은 고리를 계속 연결하여 만든 형태로<sup>[도2(h), 도3(i)]</sup>, 고리는 금사를 사선으로 절단하여 양 끝을 붙여 고리를 만들고 길쭉한 타원형으로 만든 뒤 연결하고자 하는 부분에 걸고 중간을 구부려 U자형으로 만들어 양끝을 붙이는 과정을 반복하여 사슬형태로 연결하였다<sup>[도2(i), 도3(j)]</sup>. 수하식은 수하식 고리와 소환, 구체로 구성되어 있으며, 구체에 고리를 달아 사슬과 연결하였고, 구체와 수하식 고리가 닿는 부분을 소환으로 감싼 형태이다<sup>[도2, 도3(k)]</sup>. 이 소환 역시 금봉을 사선으로 절단하여 붙였다<sup>[도2, 도3(l)]</sup>. 16석M-237-1과 16석M-237-2의 주환, 유환, 중간식, 수하식의 표면 관찰 결과, 동일한 기법으로 제작된 것으로 보이는 쌍으로 판단된다.



도2. 금동이식(16석M-237-1) 실체현미경 사진

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | b | c | d |
| e | f | g | h |
| i | j | k | l |

- (a) 주환(×7.5)
- (b) 집계흔(×7.5)
- (c) 유환(×10)
- (d) 중간식 고리(×10)
- (e) 소환 연접육면체(×20)
- (f) 소환 연접육면체(×20)
- (g) 중간식 고리 마감부(×50)
- (h) 사슬(×7.5)
- (i) 사슬(×20)
- (j) 사슬 마감부(×20)
- (k) 수하식(×10)
- (l) 수하식 고리와 소환(×20)



도3. 금동이식(16석M-237-2) 실체현미경 사진

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | b | c | d |
| e | f | g | h |
| i | j | k | l |

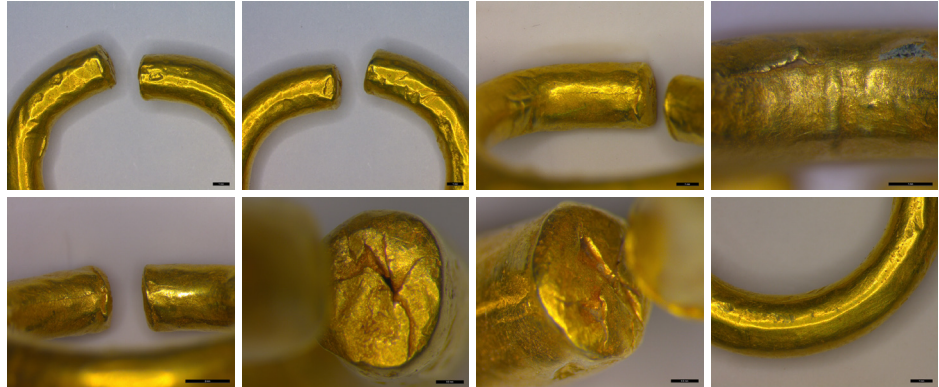
- (a) 주환(×7.5)
- (b) 주환 금 부분(×7.5)
- (c) 유환(×10)
- (d) 유환 마감부(×20)
- (e) 중간식 고리(×10)
- (f) 소환 연접육면체(×20)
- (g) 소환 연접육면체(×20)
- (h) 중간식 고리 마감부(×32)
- (i) 사슬(×7.5)
- (j) 사슬(×20)
- (k) 수하식(×10)
- (l) 수하식 고리와 소환(×20)

세환이식(15석M-015)의 이음선과 마구리 단면 관찰 결과, 심재를 제작한 후에 금판을 이용하여 감싸고 마구리 부분에 남은 금판은 접어 마감하였다<sup>[도4(c),(f),(g)]</sup>. 심재는 이음선이 벌어진 틈으로 구리 부식물이 발견되어 동재임을 확인하였다<sup>[도4(d)]</sup>. 압흔은 발견되지 않고 금판과 심재가 잘 밀착되어 있는 것으로 보아 금판의 마감부에 열을 가해 강하게 밀착하는 가열 압점의 공정을 거친 것으로 추정된다. 이후 양끝을

집게로 잡아 둥글게 휘어 원형의 이식을 만들었으며, 그 결과 집게흔과 내부에 주름이 관찰된다<sup>[도4(a),(b)]</sup>. 마무리로 이식의 표면을 광택을 내고 주름을 줄이기 위한 광쇠흔도 발견하였다<sup>[도4(h)]</sup>.

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | b | c | d |
| e | f | g | h |

- (a) 앞면 집게흔(×7.5)
- (b) 뒷면 집게흔(×7.5)
- (c) 이음선(×10)
- (d) 이음선 들뜸(×20)
- (e) 마구리 내면(×10)
- (f) 마구리 단면(×25)
- (g) 마구리 단면(×25)
- (h) 광쇠흔(×10)

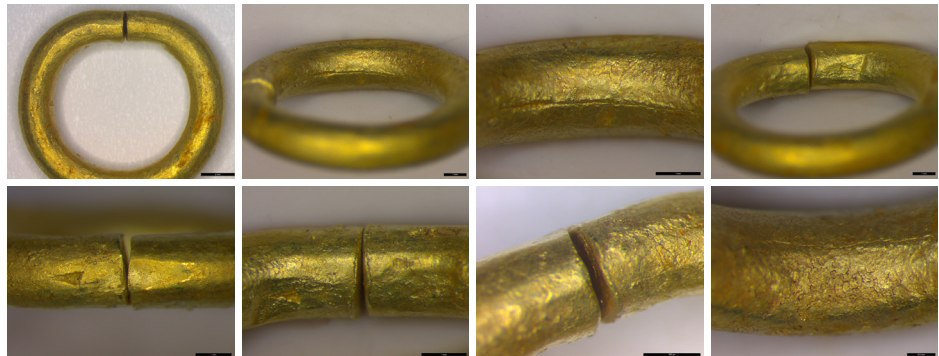


도4. 세환이식(15석M-015) 실체현미경 사진

세환이식(16석M-238)의 전체적인 형태는 양 끝이 맞닿아 있는 원형이며, 마구리 부분이 거의 붙어있다<sup>[도5(a)]</sup>. 주환 안쪽면 중간에 선이 관찰되는데 처음에는 15석M-015와 같이 심재를 둘러싸기 위해 금관을 접으면서 생긴 이음선으로 보았으나, 들뜨거나 벌어진 부분이 없고 겹쳐진 부분도 확인되지 않아 금봉을 이용하여 제작하였을 가능성을 제기하였다. 금 소재를 봉 형태로 만들 때 생긴 주조흔 또는 인발흔으로 생각되며<sup>[도5(b),(c)]</sup>, 마구리 양쪽 끝에 금이 한쪽으로 밀린 흔적은 금봉을 자르고 두드려 다듬는 과정에서 생긴 것으로 보인다<sup>[도5(f),(g)]</sup>. 금봉의 양 끝을 집게로 잡고 둥글게 휘어 환을 제작하였음을 보여주는 집게흔이 발견되었고 집게로 집은 부분은 직선 형태를 띤다<sup>[도5(d),(e)]</sup>.

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| a | b | c | d |
| e | f | g | h |

- (a) 전체(×7.5)
- (b) 주환 안쪽면(×10)
- (c) 주환 안쪽면(×20)
- (d) 집게흔(×10)
- (e) 집게흔(×16)
- (f) 마구리(×20)
- (g) 마구리(×25)
- (h) 표면(×25)



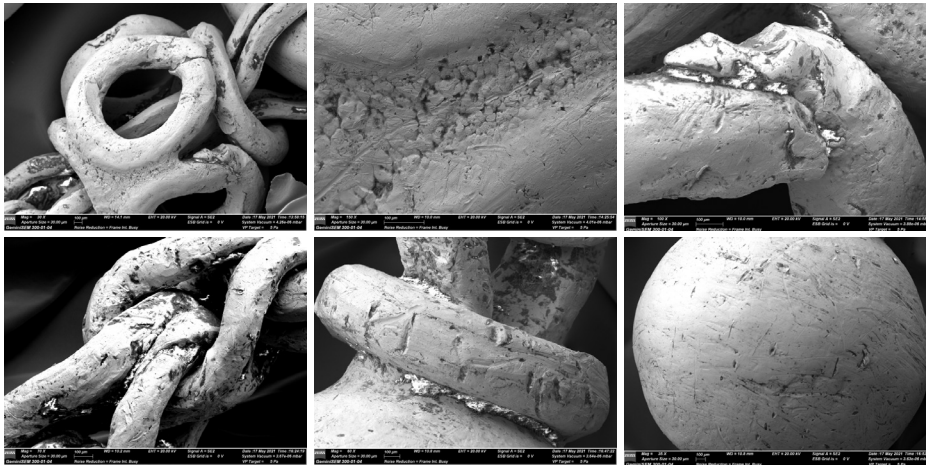
도5. 세환이식(16석M-238) 실체현미경 사진



### 3.1.2. 주사전자현미경

육안과 실체현미경 관찰로 확인할 수 없었던 곳을 주사전자현미경 조사를 통해 좀 더 높은 분해능과 배율로 관찰하였다.

중간식 소환 연접육면체의 소환들은 마구리 부분이 사선으로 마무리 되어있는데 이는 접합력을 높이기 위한 것으로 생각된다<sup>[도6,도7(a),(c)]</sup>. 그리고 소환의 연접 부분은 금 분말을 용융시켜 접합한 금 땀범이 관찰되었다<sup>[도6,도7(b)]</sup>. 이 부분은 추가적으로 성분 분석을 실시하였는데 땀 부분과 소환의 성분이 크게 차이가 없는 것으로 보아 성분 차이에 따른 용융점 차이보다는 금을 미세한 분말로 사용하여 표면적을 넓힘으로써 빠르게 녹게 하여 접합한 것으로 보인다. 수하식 구체는 X-선 촬영 결과에서 반구체 두 개를 접합한 흔적이 확인된 것과 동일하게 구체의 중간 부분에 띠가 둘러져 있는 것처럼 미세하게 단차가 보이며, 한 방향으로 문질러서 마무리한 흔적과 같은 마연흔이 관찰되었다<sup>[도6,도7(f)]</sup>.



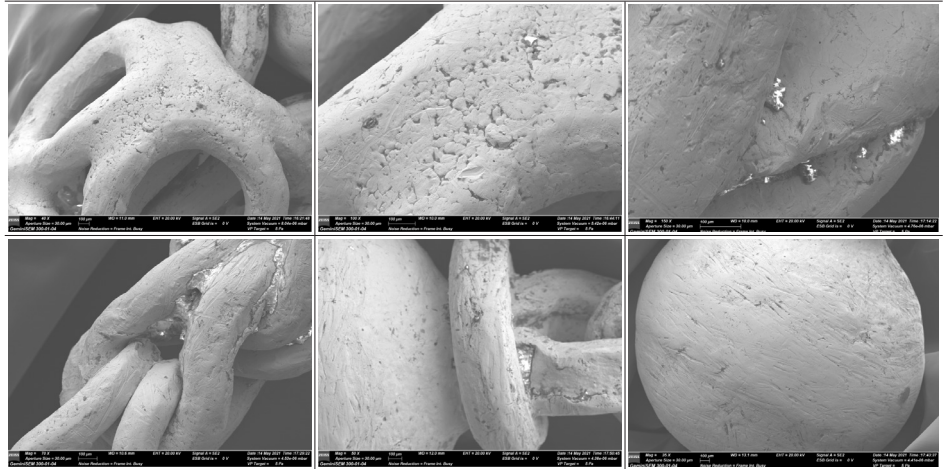
도6. 금동이식(16석M-237-1) SEM 이미지

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

- (a) 중간식 소환 연접육면체(X30)
- (b) 소환 연접육면체의 소환 땀(X150)
- (c) 소환 연접육면체의 소환 마구리(X100)
- (d) 중간식 사슬(X70)
- (e) 수하식 고리와 소환(X60)
- (f) 수하식 구체(X35)

|   |   |   |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |

- (a) 중간식 소환 연접육면체(X40)
- (b) 소환 연접육면체의 소환 땀(X100)
- (c) 소환 연접육면체의 소환 마구리(X150)
- (d) 중간식 사슬(X70)
- (e) 수하식 고리와 소환(X50)
- (f) 수하식 구체(X35)



도7. 금동이식(16석M-237-2) SEM 이미지

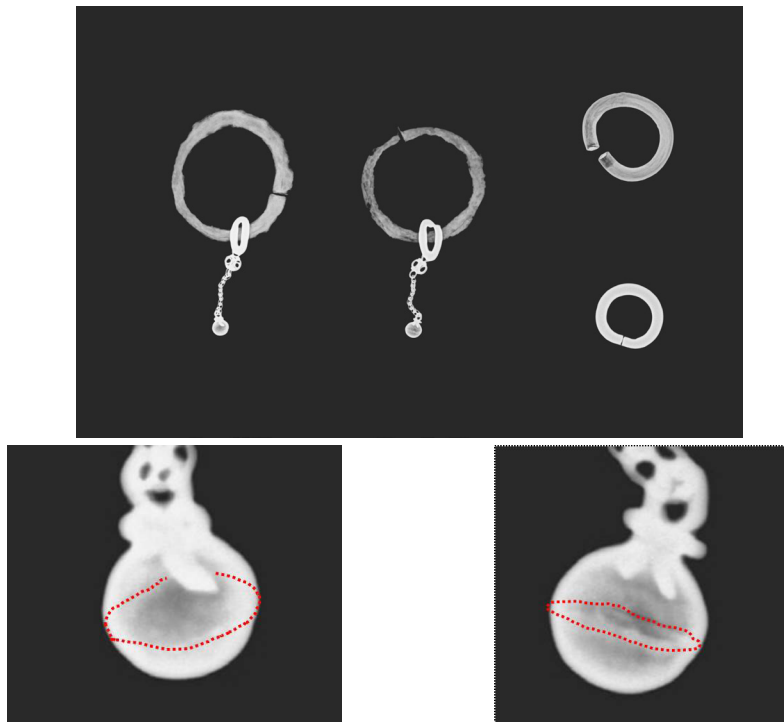
### 3.2. 내부구조 조사

#### 3.2.1. X-선 촬영

금동이식(16석M-237)의 X-선 촬영 결과, 주환은 육안관찰과 동일하게 부식이 많이 진행되었으며, 유환은 밀도가 높은 것으로 보아 금봉을 사용하여 제작하였음을 알 수 있다. 그리고 수하식의 제작기법이 확인되었는데 구체는 반구체 두 개를 횡방향으로 땀하여 붙였으며, 수하식의 고리는 반구체 위쪽에 구멍을 뚫은 후 고리를 끼워 양끝을 구부려 고정하고 수하식 고리와 구체 사이는 소환을 감아 마무리하였다[도8(b),(c)].

세환이식(15석M-015)은 실체현미경 관찰 결과와 같이 동심재에 금판을 감싼 형태로 심재와 금의 밀도가 다르게 나타났다. 또한 심재의 양 끝은 밀도가 매우 낮게 관찰되어 심재의 다른 부분에 비해 부식이 많이 진행되었음을 확인하였다[도8(a)].

세환이식(16석M-238)은 밀도가 높고 전체적으로 균일하게 나온 것으로 보아 실체현미경 관찰에서 추측했듯이 금봉을 이용하여 환을 제작했음을 알 수 있었다[도8(a)].



도8. X-선 촬영 사진



- (a) 좌측: 16석M-237,  
우측 상단: 15석M-015,  
우측 하단: 16석M-238  
(b) 16석M-237-1  
수하식 구체  
(c) 16석M-237-2  
수하식 구체

### 3.2.2. 컴퓨터 단층 촬영(CT)

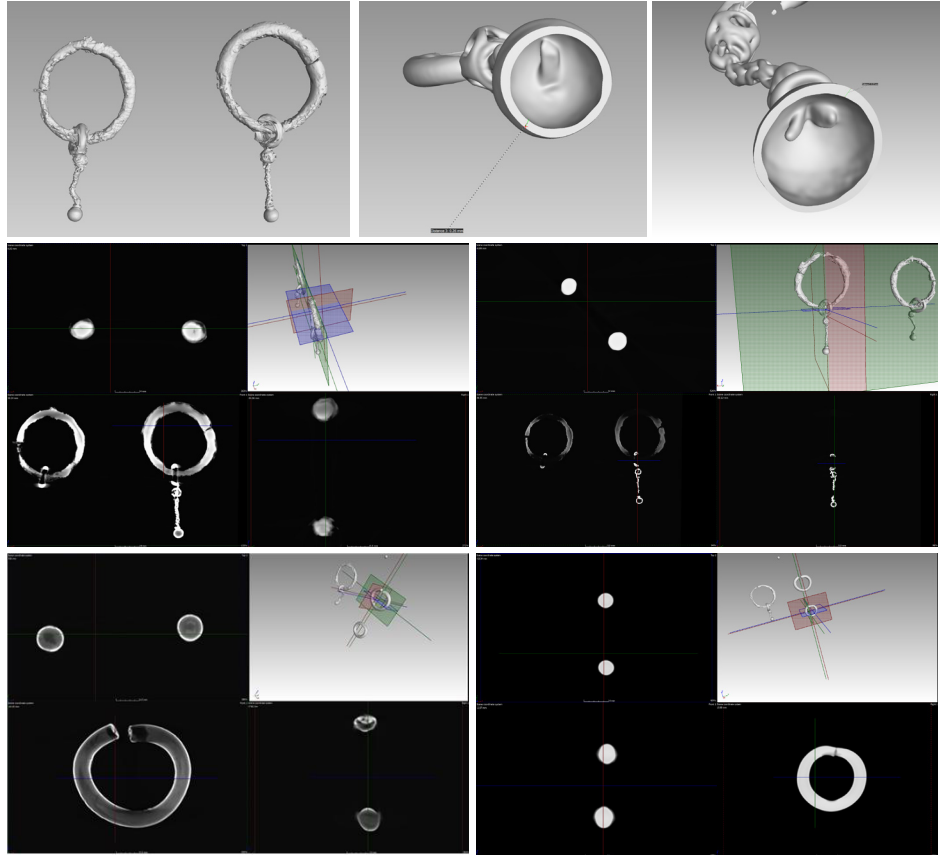
유물 스캐닝을 한 후 확인하고자 하는 부분의 단면을 잘라 내부의 형상을 파악하고자 하였다. 금동이식(16석M-237) 주환을 단면으로 잘라본 결과, 소지금속인 동의 부식으로 인한 밀도 차이를 확인하였으며<sup>[도9(c)]</sup> 유환은 전체적으로 밀도가 균일하여 금봉을 구부려 제작한 것으로 보인다<sup>[도9(d)]</sup>. 수하식의 구체도 종·횡으로 잘라보니 내부가 비어 있는 것을 확인하였고<sup>[도9(b)]</sup>, 이는 반구체 두 개를 뿔하여 붙인 X-선 촬영 결과를 뒷받침하는 결과이다. 또한 16석M-237-1은 구체 내부에서 확인되는 수하식 고리 길이가 한 쪽 끝이 더 짧아 양 끝이 다르게 확인되었고, 16석M-237-2 수하식 고리는 양 끝의 길이가 거의 동일하게 구부러져 있음을 확인하였다<sup>[도9(b)]</sup>. 수하식 구체의 단면 두께도 측정하였는데 16석M-237-1은 0.26mm, 16석M-237-2는 0.22mm로 큰 차이가 없음을 확인하였다.

세환이식(15석M-015)은 X-선 촬영 결과와 동일하게 가장자리의 금판과 동심재의 밀도가 확연히 구분되어 나타나며 심재 양 끝이 부식으로 인해 약해져 있음이 확인되었다<sup>[도9(e)]</sup>. 세환이식(16석M-238) 역시 X-선 촬영 결과와 동일하게 전체적으로 밀도가 높으며 종·횡으로 잘라도 밀도 차이가 없는 것으로 보아 금봉으로 제작하

였음을 뒷받침한다<sup>[도9(f)]</sup>.

|   |   |
|---|---|
| a | b |
| c | d |
| e | f |

- (a) 금동이식(16석M-237)  
 (b) 금동이식(16석M-237)  
 수하식 구체 단면  
 (좌: 16석M-237-1,  
 우: 16석M-237-2)  
 (c) 금동이식(16석M-237)  
 주환 단면  
 (d) 금동이식(16석M-237)  
 유환 단면  
 (e) 세환이식(15석M-015)  
 (f) 세환이식(16석M-238)



도9. 컴퓨터 단층 촬영(CT) 사진



### 3.3. 성분분석

#### 3.3.1. X-선 형광분석

금제이식 3건의 성분을 확인하기 위해 XRF 분석을 실시하였으며, 분석 위치와 분석 결과는 표2와 같다.

금동이식(16석M-237)은 1건 2점으로 1점당 부위별로 8군데를 분석하였다. 주환의 표면 부식층은 주성분이 구리와 납으로 동심재임이 확인되었으며, 도금층은 주성분이 구리, 납, 금과 함께 수은이 검출되는 것으로 보아 동심재에 수은 아말감 금도금을 하였을 것으로 추정된다. 유환과 중간식, 수하식은 금과 은이 주성분이며, 캐럿으로 환산하면 약 19~21K 정도이다. 그 중 유환의 금 함량이 다른 부분에 비해 조금 높게 측정되었고, 중간식, 수하식은 비슷한 함량을 보였다.

세환이식(15석M-015)과 세환이식(16석M-238)의 표면 성분은 금, 은, 구리, 철로 거의 유사한 함량을 보였다. 세환이식(15석M-015)의 금 함량은 약 84wt.%, 은 함량은 약 15wt.%로 캐럿으로 환산하면 약 20K이다. 소량의 구리가 검출되는 것은 금 원석에 포함된 구리이거나 내부 심재의 구리가 부식되어 표면에 용출 또는 구리 이온이 금판에 침투된 것으로 생각된다. 세환이식(16석M-238)의 금 함량은 약 83wt.%, 은 함량은 약 17wt.%로 캐럿으로 환산하면 약 20K이다. 소량의 구리와 철은 금 원석에 포함되었을 것으로 생각된다. 두 이식의 성분은 유사하지만 색상차이가 나타나는 것은 금과 은의 함량에 따른 차이보다는 제작기법의 차이가 영향을 주었을 것으로 보인다.

표2. 금제이식 XRF 분석 결과

| 유물 분석 위치 사진   |          |      |             |  |      |       |       |   |       |      |      |      |      |      |      |
|---|----------|------|-------------|--|------|-------|-------|---|-------|------|------|------|------|------|------|
|  |          |      |             |  |      |       |       |  |       |      |      |      |      |      |      |
| 금동이식(16석M-237)  |          |      |             | 세환이식(15석M-015)   |      |       |       | 세환이식(16석M-238)  |       |      |      |      |      |      |      |
| 유물<br>번호  | 유물명      | 분석위치 |             | 검출 결과(wt.%)  |      |       |       |   |       |      |      |      |      |      |      |
|   |          |      |             | Cu   | Sn   | Pb    | Au    | Hg  | Ag    | As   | Zn   | Fe   | Ni   | Mn   | Sb   |
| 16석<br>M-237  | 금동<br>이식 | L1   | 주환<br>표면부식층 | 83.36  | 0.23 | 8.57  | 0.10  | 0.01  | 1.62  | 0.01 | 0.12 | 1.87 | 0.24 | 0.04 | 3.84 |
|   |          | L2   | 주환<br>도금층   | 47.49  | 0.07 | 1.18  | 43.10 | 5.77  | 0.74  | 0.01 | 0.09 | 0.32 | 0.09 | 0.05 | 1.09 |
|   |          | L3   | 유환          | 0.40   | -    | -     | 88.30 | -   | 11.12 | -    | -    | 0.18 | -    | -    | -    |
|   |          | L4   | 소환<br>연접육면체 | 0.66   | -    | -     | 81.17 | -   | 18.02 | -    | -    | 0.15 | -    | -    | -    |
|   |          | L5   | 사슬 상단       | 0.71   | -    | -     | 81.11 | -   | 17.93 | -    | -    | 0.25 | -    | -    | -    |
|   |          | L6   | 사슬 하단       | 1.06   | -    | -     | 80.69 | -   | 17.59 | -    | -    | 0.65 | -    | -    | -    |
|   |          | L7   | 수하식<br>고리   | 0.65   | -    | -     | 81.56 | -   | 17.63 | -    | -    | 0.16 | -    | -    | -    |
|   |          | L8   | 수하식<br>구체   | 0.52   | -    | -     | 82.92 | -   | 16.47 | -    | -    | 0.09 | -    | -    | -    |
|   |          | R1   | 주환<br>표면부식층 | 81.05  | 0.14 | 14.26 | 0.08  | 0.00  | 0.42  | 0.02 | 0.21 | 0.13 | 0.06 | 0.00 | 3.64 |
|   |          | R2   | 주환<br>표면박락층 | 64.24  | 0.87 | 22.48 | 1.52  | 0.15  | 1.76  | 0.00 | 0.01 | 5.28 | 0.04 | 0.03 | 3.63 |
|   |          | R3   | 유환          | 0.35   | -    | -     | 87.33 | -   | 12.20 | -    | -    | 0.12 | -    | -    | -    |
|   |          | R4   | 소환<br>연접육면체 | 0.46   | -    | -     | 82.49 | -   | 16.76 | -    | -    | 0.29 | -    | -    | -    |
|   |          | R5   | 사슬 상단       | 0.50   | -    | -     | 82.33 | -   | 16.49 | -    | -    | 0.68 | -    | -    | -    |
|   |          | R6   | 사슬 하단       | 0.53   | -    | -     | 82.46 | -   | 15.81 | -    | -    | 1.20 | -    | -    | -    |
|   |          | R7   | 수하식<br>고리   | 0.55   | -    | -     | 81.50 | -   | 17.53 | -    | -    | 0.42 | -    | -    | -    |
|   |          | R8   | 수하식<br>구체   | 0.53   | -    | -     | 82.45 | -   | 16.94 | -    | -    | 0.09 | -    | -    | -    |
| 15석<br>M-015  | 세환<br>이식 | -    |             | 0.95   | -    | -     | 84.21 | -   | 14.80 | -    | -    | 0.04 | -    | -    | -    |
| 16석<br>M-238  | 세환<br>이식 | -    |             | 0.65   | -    | -     | 82.52 | -   | 16.59 | -    | -    | 0.25 | -    | -    | -    |

#### 4. 보존처리

석촌동 출토 금제 유물의 보존처리는 각각 유물의 상태에 알맞은 최소한의 보존처리를 실시하였다. 수하식 달린 금동이식의 경우 발굴조사 현장에서 출토되었을 당시부터 주환 부분의 소지 금속 부식이 심하여 주환의 금은 대부분 박락되고 부식이 진행 중인 동만 남아 있는 상태이며, 수하식은 금사가 흙 등의 이물질과 엉켜 붙어 형태가 불안정한 상태였다. 이에 금동이식은 동제 유물 보존처리 과정을 적용하여 이물질 제거, 안정화 처리, 강화 처리, 접합 및 복원 순으로 진행하였다. 그 외 금제 유물은 부식에 안정하고 원래의 형태를 잘 유지하고 있어 이물질 제거만 실시하였다.

이물질 제거는 면봉이나 붓에 Ethyl alcohol을 묻혀 닦아내고 미세한 부분에 고착된 이물질은 현미경으로 관찰하며 각종 소도구를 이용하여 제거하였다. 단단하게 고착된 흙은 Ethyl alcohol에 유물을 침적시킨 후 유연하게 하여 제거하였다. 금동이식의 주환 소지 금속은 밝은 녹색을 띠며 가루화가 진행되고 있어 부분 임시 강화처리를 실시한 후 이물질 제거를 진행하였다. 부분 임시 강화처리는 Paraloid B-72 5wt.%(in Xylene) 용액을 상태가 취약한 부분에 붓으로 3회 도포하였다. 이물질 제거가 끝난 금동이식은 부식억제제인 B.T.A. 3wt.%(in Ethyl alcohol) 용액에 일주일간 침적한 후 꺼내어 자연건조 하였다. 강화처리는 금으로 만들어진 중간식과 수하식 부분은 진행하지 않고 동제로 만들어진 주환 부분만 강화제의 농도를 높여가며 실시하였다. Paraloid B-72 10wt.%(in Xylene) 용액을 2회 도포한 후 유물 상태를 확인하고 좀 더 용액의 농도를 높여 Paraloid B-72 15wt.%(in Xylene) 용액을 2회 추가 도포하였다. 강화제가 유물 내부까지 잘 침투될 수 있도록 증발속도가 빠른 Acetone 보다는 Xylene을 용제로 선택하였다. 마지막으로 분리된 파편을 순간접착제(Loctite 401)를 이용하여 접합하고, 미세한 균열 부분은 순간접착제(Axia)를 틈에 흘려주어 편이 더 이상 박락되지 않도록 하였다. 보존처리가 완료된 금동이식은 엉켜 붙은 수하식이 원래 형태를 되찾고 부식에도 안정화되었다.



도10. 이물질 제거 및 강화처리



도 11. 금동이식(16석M-237) 처리 전 · 후 사진

## 5. 고찰 및 결론

본 연구에서는 백제 한성기 석촌동 고분군에서 출토된 금제이식의 과학적 분석과 보존처리를 통해 유물의 성분과 제작기법을 조사하고 원형을 복원하였다.

금동이식(16석M-237)은 주환 · 유환 · 중간식(중간식 고리, 소환 연접육면체, 사슬) · 수하식(수하식 고리, 소환, 구체)으로 구분되는 수하부 이식이다. 주환은 주성분인 구리 · 납 · 금과 함께 수은이 검출된 것으로 보아 동심체에 수은 아말감 금도금 기법을 사용한 것으로 보인다. 유환과 중간식, 수하식은 금과 은이 주성분으로 약 19~21K 정도이며, 유환의 금 함량이 좀 더 높고 중간식과 수하식은 비슷한 금 함량으로 확인되었다. 중간식의 소환 연접육면체에서 소환들의 접합은 금 분말을 이용하여 금땀을 하였음이 관찰되었으며, 소환과 금 분말의 성분 차이가 크게 없는 것으로 보아 용융점 차이로 인한 땀 방식이 아닌 금 분말을 사용하여 표면적을 넓혀 빠르게 녹여 접합한 것으로 추정된다. 그러나 미세한 부분 성분에 대한 정밀한 분석은 보완이 필요할 것으로 생각된다. 수하식 구체는 두께 약 0.2mm의 얇은 반구체 두 개를 땀하여 붙였으며, 두 개의 반구체를 붙이기 전에 위쪽 반구체에 구멍을 뚫어 금사를 고리모양으로 만든 후 중간식 사슬과 연결시켰다. 그리고 그 고리와 구체의 연결부위는 소환으로 둘러 마무리 하였다.

세환이식(15석M-015, 16석M-238)은 표면 성분과 금 함량이 유사하지만 한 점은 동심체에 금판을 씌운 이식이며, 다른 한 점은 금봉을 구부려 제작한 이식임을 확인하였다. 두 이식의 색상 차이는 심재를 둘러싼 금판의 두께와 심체에 금판을 밀착하기 위해 열을 가하거나 광쇠질 하는 등 제작기법 차이가 영향을 주었을 것으로 생각된다. 출토 위치에 따라 제작기법이 다른 유물이 부장되어 있음을 확인하였고 이를 통해 동시기의 같은 지역에서 다양한 방법으로 금속 공예품이 제작되었음을 짐작해 볼 수 있다.

이전 연구에서 백제 한성기에 해당되는 서산 부장리 유적 출토 금제 유물 조사 결과, 23K 두 점을 제외하고 14~19K가 주를 이루고 있으며, 위세품이 출토된 유구의



이식이 그렇지 않은 유구에 비해 18K 이상의 높은 금 순도를 가지며 복잡한 공정을 거쳐 제작되었음이 확인되었다. 또한 비슷한 시기의 지방 귀족 세력 무덤인 천안 용원리 유적에서 출토된 금제이식은 17~21K의 금 순도이며, 자연금을 별도 정련 과정 없이 용융하여 금제품을 제작하였을 가능성을 높게 보았다. 웅진기의 무령왕릉(22~23.8K)·공주 금학동(21~22K)·익산 왕궁리(18K미만·18K~23.5K이상) 출토 금제 유물과 비교하면 한성기에 출토된 금제 유물의 금 순도가 다소 낮으며 이는 계층·신분의 차이도 있을 수 있지만 당시에 고순도의 금제품을 제작하기 위한 정련 과정이 일반화되어 있지 않을 수 있다. 하지만 한성기의 석촌동 고분군에서 출토된 금제이식의 금 순도(19~21K)와 수은 아말감 금도금 기법, 금 분말을 이용한 금 뿔, 이식의 형태(유환과 수하부)에 따라 금 순도가 다른 점 등의 다양한 제작기술로 보아 피장자의 우월적 위치와 석촌동 고분군의 높은 위상을 판단할 수 있는 근거 자료가 되었으며, 정교한 한성기의 금공예 기술을 확인할 수 있었다. 그리고 이러한 기술이 웅진기 금공예 기술로 이어진 것으로 보인다.

4세기 백제 한성기를 대표하는 왕실과 중앙세력의 분묘군에서 출토된 금제이식을 조사함으로써 드물었던 백제 한성기 금속 공예품에 대한 자료 확보에 큰 의미가 있다 판단되며, 특히 수하부 이식의 경우 지금까지 조사되었던 한성기 이식 중 높은 수준의 공예 기술로 만들어진 이식이라는 점에서 주목할 만하다.

#### < 사 사 >

본 연구는 한성백제박물관 백제학연구소 석촌동 고분군 발굴조사 사업의 일환으로 진행하였으며, 분석을 도와주신 국립중앙박물관 보존과학부 신용비 선생님, 고수린 선생님, 양석진 선생님, 박진호 선생님께 감사드립니다.

---

## 참고문헌

1. 이한상, 백제이식에 대한 기초적 연구, *호서고고학회* **3**, p23, (2000).
2. 한송이, 익산 왕궁리 유적 출토 금제품의 화학 조성과 제작 기술, 공주대학교 대학원 문화재보존학과, 석사학위 논문, p1, (2006).
3. 백승희, 출토 금동유물의 표면색에 따른 금합금비에 관한 연구, 용인대학교 대학원 문화재보존학과, 석사학위 논문, p1, (2003).
4. 최기은, 비파괴 분석법을 활용한 무령왕릉 및 백제지역 금제품의 제작 특성, 공주대학교 대학원 문화재보존학과, 석사학위 논문, (2009).
5. 조현경, 조남철, 이훈, 서산 부장리 유적 출토 이식의 제작기법 및 위세품적 성격에 대한 고찰, *문화재* **43(3)**, p282-305, (2010).
6. 한성백제박물관, *서울 석촌동 고분군 I, 한성백제박물관 유적조사보고* **6**, p64, 한성백제박물관, 서울, (2019).
7. 한성백제박물관, *2019 서울 석촌동 고분군 발굴조사 현장설명회 자료집*, p3-4, 한성백제박물관, 서울, (2019).
8. 유혜선, 경주 계림로 14호분 장식보검 금립의 접합방법에 관한 고찰, *박물관보존과학* **16**, p4-13, (2015).
9. 조현경, 전유리, 어지은, 조남철, 부여 합정리 유적 출토 백제이식의 과학적 분석, *박물관보존과학* **13**, p71-80, (2012).

## 조선시대 중완구의 제작 기술

Manufacturing Techniques  
of Bronze Medium  
Mortars(*Jungwangu*, 中碗口) in  
Joseon Dynasty

허일권<sup>1</sup>, 김해솔<sup>2\*</sup>

국립중앙박물관 보존과학부<sup>1</sup>,  
국립진주박물관 학예연구실<sup>2</sup>

Huh Ilkwon<sup>1</sup>, Kim Haesol<sup>2\*</sup>

Conservation Science Division,  
National Museum of Korea<sup>1</sup>,  
Curatorial Affairs Office, Jinju National  
Museum<sup>2</sup>

\* Corresponding Author :  
Kim Haesol

Tel : 82-10-5916-5177  
E-mail : rlagothf@korea.kr

### 요약

완구(碗口)란 유통식 화기로 발사체 장전 부분이 사발(碗) 형태인 화포이다. 발사체로는 비격진 천뢰(飛擊震天雷)나 단석(團石) 등을 사용하였다. 『화포식언해(火砲式諺解)』(李曙, 1635)에 의하면, 대·중·소·소소완구 등 총 4종으로 구분되며, 실물은 대완구 1점(보물 제857호), 중완구 2점(보물 제858호, 제859호) 등 총 3점이 전한다. 본 연구에서는 임진왜란기에 제작된 국립진주 박물관 소장 중완구(보물 제858호)와 해군사관학교 박물관 소장 중완구(보물 제859호)의 과학적 조사를 토대로 제작 기술을 확인하였다.

첫 번째로 국내 현전하는 중완구가 단 두점인 만큼 정밀 3D 스캐닝 정보를 바탕으로 세부 제원을 서로 비교하고, 동 시기의 문헌 기록 수치와 함께 검토하였다. 전체 크기차는 근소하나 중량에서 5,507g의 차이를 보이고, 세부적으로 심지구멍 위치와 손잡이 길이가 상이하다. 한편 현전 중완구는 『화포식언해』의 중완구 제원과 가장 유사하다. 두 번째로는 중완구의 성분을 분석하고 기존 청동제 화약 무기와 함께 검토하였다. 표면 성분 분석결과, 중완구는 Cu-Sn-Pb의 삼원계 합금이며, 평균 함량(wt%)은 Cu 85.24 : Sn 10.16 : Pb 2.98이다. 중완구의 재료 성분은 기존에 조사된 조선 청동 화약 무기의 평균 성분과 매우 유사하며, 중세 유럽의 청동제 화포 재료(Gun-metal)와도 유사한 경향임을 확인하였다. 마지막으로 중완구 표면의 주조 결함(casting defect)과 CT 상을 토대로 주조 기법을 추정하였다. 측면의 주조분할선으로 보아 주형을 반으로 나눈 분할 제작(piece mold)이며, 용탕의 주입은 약실끝 부분으로 포구가 바닥에 오는 수직 주형 설계로 추정한다. 특히 포신 기벽에서 주형과 코어를 고정하는 보조 장치인 채플릿(chaplets)이 확인되므로 이는 기벽을 일정하게 형성하는 역할을 했을 것이다. 한편 보물 제858호와 제859호 중완구 두 점은 외형이 매우 유사하지만, 채플릿의 수량과 배치가 상이하여 주형 설계 일부가 달랐을 것으로 예상된다.

**주제어** : 완구, 중완구, 화포, 비격진천뢰, 청동 화약 무기, 전통 주조

### Abstract

A *jungwangu*, a type of medium-sized mortar, is a firearm with a barrel and a bowl-shaped projectile-loading component. A *bigyeokjincheonro* (bombshell) or a *danseok* (stone ball) could be used as a projectile. According to the *Hwaposik eonhae* (Korean Translation of the Method of Production and Use of Artillery, 1635) by Yi Seo, mortars were classified into four types according to its size: large, medium, small, or extra-small. A total of three mortars from the Joseon period have survived, including one large mortar (Treasure No. 857) and two medium versions (Treasure Nos. 858 and 859).

In this study, the production method for medium mortars was investigated based on scientific analysis of the two extant medium mortars, respectively housed in the Jinju National Museum (Treasure No. 858) and the Korea Naval Academy Museum (Treasure No. 859).

Since only two medium mortars remain in Korea, detailed specifications were compared between them based on precise 3D scanning information of the items, and the measurements were compared with the figures in relevant records from the period. According to the investigation, the two mortars showed only a minute difference in overall size but their weight differed by 5,507 grams. In particular, the location of the wick hole and the length of the handle were distinct. The extant medium mortars are highly similar to the specifications listed in the *Hwaposik eonhae*.

The composition of the medium mortars was analyzed and compared with other bronze gunpowder weapons. The surface composition analysis showed that the medium mortars were made of a ternary alloy of Cu-Sn-Pb with average respective proportions of (wt%) 85.24, 10.16, and 2.98. The material composition of the medium mortars was very similar to the average composition of the small gun from the Joseon period analyzed in previous research. It also showed a similarity with that of bronze gun-metal from medieval Europe.

The casting technique was investigated based on a casting defect on the surface and the CT image. Judging by the mold line on the side, it appears that they were made in a piece-mold wherein the mold was halved and using a vertical design with molten metal poured through the end of the chamber and the muzzle was at the bottom. Chaplets, an auxiliary device that fixed the mold and the core to the barrel wall, were identified, which may have been applied to maintain the uniformity of the barrel wall. While the two medium mortars (Treasure Nos. 858 and 859) are highly similar to each other in appearance, considering the difference in the arrangement of the chaplets between the two items it is likely that a different mold design was used for each item.

**Keywords** : Mortar, Medium mortar, Artillery, *Bigyeokjincheonro*, Bronze gunpowder weapons, Traditional casting

투고일: 2021.10.01. 심사(수정)일: 2021.10.13. 게재확정일: 2021.10.28..

## 1. 서론

완구(碗口)란 장전부가 사발 형태인 화포로 비격진천뢰(飛擊震天雷)나 단석(團石, 石丸) 등을 발사하였다. 완구는 별도의 포강(砲腔)이 없어 사거리가 짧고 수평 발사가 어려웠지만, 큰 구경으로 대형 단석 등을 쏘기에 적합했고 주로 적의 목책(木柵)이나 성을 공격할 때 사용되었다<sup>[1]</sup>. 병서(兵書)인 『화포식언해(火砲式諺解)』(李曙, 1635)에 의하면, 완구는 대·중·소·소소완구 등 총 4종으로 구분되며, 특히 여러 문헌 기록 상 임진왜란 시기에 매우 유용하게 사용되었다고 볼 수 있다.

그러나 완구는 다양한 기록에 비해 전하는 수량이 현저히 적다. 현전 완구는 대완구 1점(보물 제857호)과 중완구 2점(보물 제858호, 제859호)이 전부이며 희소 가치가 높아 모두 보물로 지정되어 있다. 이 중에서 중완구는 19세기에 제작된 대완구와 달리 1590년 임진왜란기에 제작되었고, 비격진천뢰 발사기로 전쟁사 분야에서 가치 높게 평가받고 있다. 그러나 그간 국내 금속 문화재 연구가 고고·미술품에 집중되어 화약 무기에 대한 연구는 상대적으로 적었다고 할 수 있다.

금속 화약 무기에 대한 과학적인 조사는 육안으로 확인할 수 없는 정보를 확보함으로써 형태에 따른 기능적인 목적과 제작 의도 등을 파악할 수 있게 한다. 또한 최첨단 기술의 집약체인 무기의 연구는 당대 과학기술 수준을 가늠해볼 수 있게 해주기 때문에 매우 중요하다.

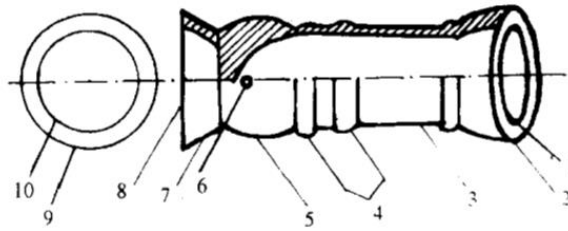
따라서 본 연구는 보물 제858호(국립진주박물관 소장)와 제859호(해군사관학교 박물관 소장) 중완구 2점을 대상으로 제작 기술을 확인하였다. 첫 번째는 정밀 3차원(3D) 스캐닝 정보로 세부 제원을 서로 비교하고, 유사 시기의 문헌 기록 수치를 검증하였다. 두 번째는 중완구의 성분을 분석하고 기존 청동제 화약 무기와 함께 검토하였다. 마지막은 표면의 주조 결함(casting defects)과, 컴퓨터 단층(Computed tomography, 이하 CT)분석을 토대로 주조 기법을 추정하였다.

### 1.1. 중완구 기록

화약 무기는 13세기 중국에서 시작되어, 14세기 무렵 우리나라에 전해졌다<sup>[2]</sup>. 홍무(洪武)연간에 만들어진 홍무총(洪武銃)은 병사 개인의 수총(手銃), 중형 완구총, 대형 화총 및 대포 등 3종으로 분류한다. 이 중 완구화총은 총신이 굵고 짧으며, 총구가 그릇과 비슷한 모양이다<sup>(도1), [3]</sup>. 조선 시대 중완구에 대한 기록은 『신동국여지승람』의 군기시의 화약고기로 태종 14년(1414년) 6월경 최해산이 중국제 완구를 참조하여 대·중·소 완구 3종을 만들었다고 전한다<sup>[4]</sup>. 이후 『조선왕조실록』세종 즉위년 기사<sup>[5]</sup>에 화통완구의 제작에 관한 기록이 처음 나타나며 세종 19년 기사<sup>[6]</sup>에는 대·중·소완구의 이름이 실려 있다. 이러한 조선 초기 완구의 모습은 『국조오

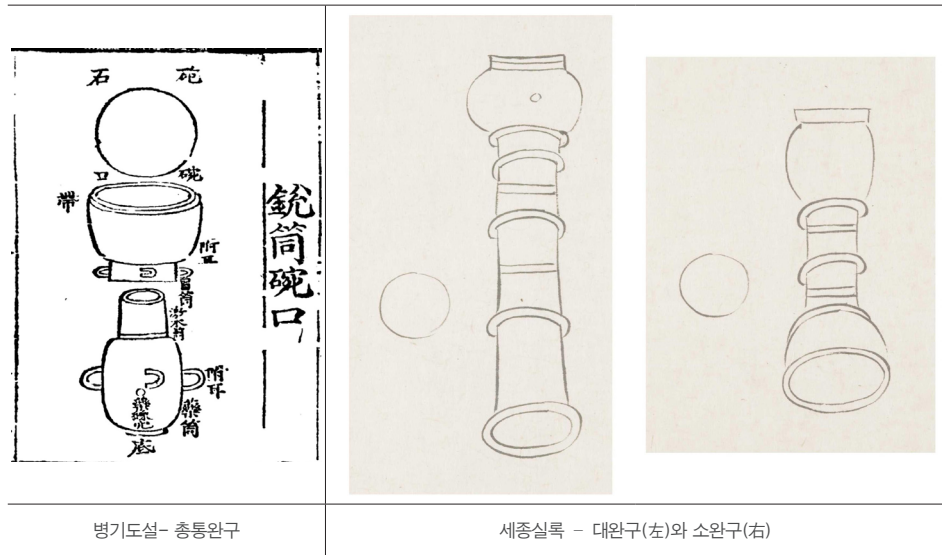


례의』 병기도설에 총통완구의 도해가, 『세종실록오례』에 대완구·소완구의 도해가 남아있어 확인이 가능하다<sup>(도2)</sup>. 조선 중기 『화포식언해』에는 대·중·소·소소완구의 이름이 나오며, 『용원필비』(朴宗慶, 1813)에 별대·대·중완구의 이름이 등장하여 조선 초기 이후 완구는 크기별 분류를 한 것으로 추정된다. 이러한 완구 계통의 화약 무기는 주로 성을 공격하는 용도로 사용<sup>[7]</sup>되었으며 경주성전투<sup>[8]</sup>, 울산성전투<sup>[9]</sup> 등 임진왜란 당시 실사용한 기록이 남아있다. 『화포식언해』는 임진왜란 이후 간행된 병서로 대·중·소·소소완구에 사용되는 심지와 화약의 양, 발사체의 종류와 무게, 사정거리 등이 기록되어 있다<sup>(표2),(도3)</sup>. 또한 조선후기 간행된 『용원필비』에는 별대·대·중완구의 도해와 각종 제원이 수록되어 있으며, 완구의 재료성분 심지와 격목·발사체의 정보 및 사정거리도 기록되어 있다<sup>(표2,3),(도4)</sup>. 이밖에 정비록·성호사설·연려실기술 등에도 발사거리의 정보를 전하고 있다.

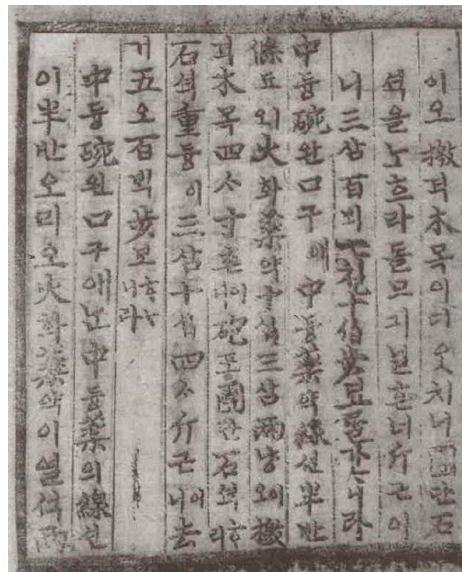


1. 총구내경(口内径) 2. 총구외경(口外径) 3. 전실(前膛) 4. 테두리(箍) 5. 화약실(药室)  
6. 심지구멍(火门) 7. 꼬리부(尾餐) 8. 꼬리 구멍(尾腔) 9. 꼬리외경(尾端外径) 10. 꼬리내경(尾端内径)

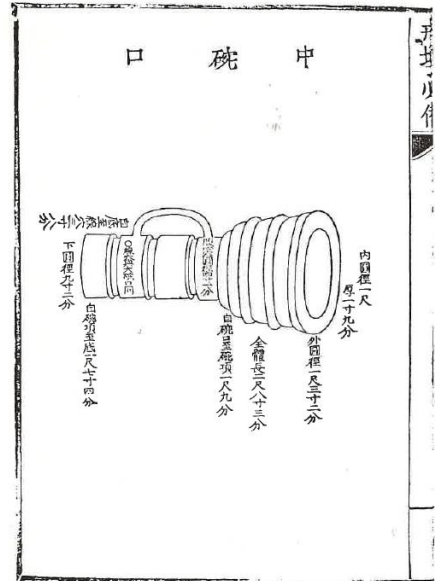
도1. 홍무시기 완구총 구조 개략도<sup>[3]</sup>



도2. 병기도설과 세종실록의 완구 도면



도3. 『화포식언해』 중완구 설명



도4. 『용원필비』 중완구 그림

## 1.2. 중완구 현황

국내에 현전하는 중완구는 단 두 점으로 국립진주박물관 소장 보물 제858호 중완구와 해군사관학교박물관 소장 보물 제859호 중완구이다<sup>(도5)</sup>.

보물 제858호는 1986년 경상남도 하동군 옥종면 중화리에서 발견되어 국립진주

박물관에 귀속되었으며, 제859호는 1978년 경남 통영군 산양면 미남리 달아 해저(수심25m)에서 발견되어 해군사관학교 박물관에 귀속되었다. 특히 보물 제858호에는 ‘萬曆十八年九月 日營 鑄成震天雷 弓里重八十五斤 尙州浦上匠李勿金(만력18년 9월 일. 영에서 주조하여 만듦. 진천뢰우리 무게 85근. 상주포 장인 이물금)’이라는 명문이 시문 되어 있다. 이로 미루어 보아 중완구는 1590년 9월 남해 상주포(尙州浦)에서 장인 이물금이 주조한 것으로 비진천뢰(飛震天雷)를 발사하고, 무게는 85근임을 알 수 있다<sup>[10]</sup>. 한편 보물 제859호에는 명문이 없지만, 제858호와 외형이 비슷하여 동일시기로 추정되었고, 1986년 3월 두 점이 함께 국가지정문화재로 등록되었다.

두 점의 중완구의 형태는 크게 탄환을 넣는 포구(완)와 화약을 넣는 약실 부분으로 나누며 사이에 격목(隔木)을 넣는 부분이 있다. 세부적으로 살펴보면 포구(완) 끝에는 한 줄의 띠가 둘러져 있고 격목부 상부에는 손잡이가 위치하며 약실부는 기벽이 비교적 두껍게 형성되었다.

이 밖에 보물 제858호는 상태가 비교적 안정하여 보존처리가 진행되지 않았지만, 제859호는 해저 출수품으로 1983년 문화재관리국(현 문화재청)이 주관하여 현장 보존처리를 진행한 바 있다. 이어 2020년 재부식을 우려하여 국립진주박물관에서 보존처리를 진행하였고, 이 과정에서 보물 제858호와 함께 제작 기술에 대한 과학적 조사를 병행하였다.

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| a-1 | a-3 | a-5 |
| a-2 | a-4 | a-6 |

(a-1) 우측  
(a-2) 좌측  
(a-3) 상  
(a-4) 하  
(a-5) 포구(완)  
(a-6) 약실끝



보물 제858호

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| b-1 | b-3 | b-5 |
| b-2 | b-4 | b-6 |

(b-1) 우측  
(b-2) 좌측  
(b-3) 상  
(b-4) 하  
(b-5) 포구(완)  
(b-6) 약실끝



보물 제859호

도5. 중완구 3D 스캔 맵핑 이미지



도6. 중완구의 세부 명칭



## 2. 연구 대상 및 방법

보물 제858호와 제859호 두 중완구의 비교분석을 위해 3차원 스캐닝(3D Scan)으로 제원을 측정하였고 고중량 정밀 저울로 중량을 확인하였다. 또한 보물 제858호의 재료 성분을 확인하기 위해 에너지분산형 X선형광분석기(ED-XRF)로 표면을 분석하였다<sup>(표1)</sup>. 전반적인 표면 부식으로 원 소지금속의 성분을 명확히 확인하기는 어려웠지만, 국부적으로 찍힌 흔적 속에서 소지 금속이 드러나 집중 측정이 가능했다. 다음은 중완구 내부 구조와 특징을 입체적으로 확인하기 위해 CT 촬영을 진행하였다. 하지만 CT의 방사선량으로는 중완구의 두꺼운 기벽을 투과하기에 한계가 있었다. 따라서 내부 구조의 확인은 어려웠지만 외부 표면으로부터 약 1cm 이내의 정보는 확보할 수 있었다.

표1. 분석(측정) 기기 및 조건 요약

| 분석(기관)                               | 기기   | 조건       |              |       |                     |
|--------------------------------------|--|----------|--------------|-------|---------------------|
| 3D 스캐닝<br>(공주대학교<br>디지털보존솔루션<br>연구실) | Artec3D, Spider,<br>Luxembourg                           | 3D 해상도   | 3D 점 데이터 정확도 |       | 스캔 거리               |
|                                      |  | 최대 0.1mm | 최대 0.05mm    |       | 0.2~0.3m            |
|                                      | Artec3D, Eva,<br>Luxembourg                              | 최대 0.5mm | 최대 0.1mm     |       | 0.4~1.0m            |
| 중량<br>(국립진주박물관)                      | AND, GP-100K, Japan                                      | 최대중량     | 최소 중량        |       | 재현성                 |
|                                      |  | 101kg    | 1g           |       | 1g                  |
| ED-XRF<br>(국립중앙박물관)                  | μXRF Spectrometer ARTAX,<br>Bruker Nano GmbH,<br>Germany | 전압       | 전류           | 시간    | 콜리메이터               |
|                                      |  | 50kV     | 700μA        | 200초  | 0.65mm              |
| CT<br>(국립중앙박물관)                      | Computed Tomography,<br>YXLON, Y.CT Modular,<br>Germany  | 전압       | 전류           | 소요시간  | 필터                  |
|                                      |  | 600kV    | 1.15mA       | 45:45 | Al:1, Cu:1,<br>Sn:1 |

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 기록과 제원

앞서 언급한 바와 같이 두 점의 중완구가 함께 지정문화재로 등록된 이유는 형태의 유사성에 있지만 정작 중완구의 제작 기술 조사나 비교는 활발히 이루어지지 못했다. 따라서 본 연구에서는 3D 스캐닝 정보를 토대로 세부 제원을 비교하고, 문헌 기록을 토대로 검토하였다.

첫 번째로 두 완구의 제원, 중량을 비교하였다. 중완구의 전체 길이는 보물 제858호가 636.8mm, 제859호가 625.8mm이다. 보물 제858호가 11mm 더 길지만, 포구의 내·외경, 약실부 외경 등에서는 오히려 보물 제859호가 근소하게 큰 수치를 보인다. 한편 손잡이 고리에서는 비교적 확연한 차이를 보인다. 총신에서 손잡이 고리 가

장자리까지의 길이를 비교하면 보물 제589호가 11.4mm 더 길고 두께는 얇다. 하지만 표면의 부식 상태나 결합 유무에 따라 제작 시 제원과는 다소 차이를 보일 수 있다.

약실 상부에 위치한 심지구멍은 두 개이다. 보물 제858호의 두 심지구멍은 상호 간격이 약 16mm 이며 CT 상에서 구멍의 지름은 약 4~5mm이다. 제859호의 경우 표면에서 두 구멍 간격은 약 43mm로 비교적 멀다. 그러나 CT 상에서 구멍이 내부로 들어갈수록 점점 가까워지며 지름은 약 4mm로 제858호와 유사하다. 중완구의 심지구멍이 두 곳인 이유는 발발을 막기 위함으로, 『화포식언해』에서 그 이유를 설명하고 있다<sup>[11]</sup>. 한편 최근 발굴된 고창 무장읍성 비격진천뢰 또한 뚜껑에 두 개의 심지구멍을 두고 있어 중완구와 동일한 경우로 볼 수 있다<sup>[12]</sup>.

중량은 보물 제858호가 49,875g, 보물 제859호가 55,382g이다. 5,507g의 차이는 보물 제859호의 포신이 근소하게나마 좀 더 굵기 때문으로 예상된다. 하지만 보물 제859호는 해저 출수품으로 부식이 비교적 많이 진행되었다. 일반적으로 금속은 부식이 진행되면서 중량은 감소한다. 따라서 이와 같은 중량 차이는 근소한 제원 차이에 비해 의외의 결과이다. 다만 보물 제859호 중완구의 경우 해저 출수품으로 매장 환경에 따른 복합적인 요인을 검토할 필요가 있다. 추가로 보물 제858호 명문의 중량 기록 85근을 환산하면 54,565g이며 실제 중량은 49,875g이다. 이 같은 중량의 차이는 앞선 실제 중량 비교와는 다른 경우로 제작 시 표준 중량 규격의 오차나 부식에 의한 중량 감소 등의 변수를 고려해야 하므로 유사한 범주로 보아도 무방할 것 같다.

두 번째로는 중완구 명칭 근거를 살펴보았다. 현전 완구 세 점 중 대완구는 명문으로 명칭이 확인되었지만, 중완구의 경우는 그렇지 않다. 다만 대완구보다는 크기가 작아 중완구로 보는 경향이 큰 것 같다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 19세기의 대완구와, 16세기의 중완구는 제작 시기의 차이가 있어 유사한 시기의 문헌과 제원을 바탕으로 검토해 보았다. 가장 근접한 시기에 쓰여진 『화포식언해』(1635년)에는 완구를 대·중·소 완구로 구분하고 발사체별 발사 거리와 중량이 기록되어있지만 정작 완구의 규격 설명은 없다. 다만 현재 전하는 비격진천뢰의 규격이 중비진천뢰에 가깝고, 중완구 포구(완)에 적절한 크기로 보는 견해가 있을 뿐이다<sup>[12],[13]</sup>. 따라서 중완구의 다른 발사체인 단석을 기준 하여 좀 더 검토해 보았다. 『화포식언해』에는 대·중·소 완구별 단석의 중량 기록이 있어 비중으로 크기를 환산하였다. 단석의 재질을 한반도에 가장 많은 화강암<sup>[14]</sup>으로 가정했고, 기록에 따라 둥근 구체의 지름을 산출했다<sup>(표2,4)</sup>. 표2의 문헌 속 단석 중량을 토대로 표4와 같은 수식으로 단석 지름을 산출하면 소완구는 8.6cm, 중완구는 25cm, 대완구는 32.4cm이다. 본 산출값은 화강암 평균 비중으로 단석을 가정한 지름 이므로, 실제 구성 광물이나 형태에 따라

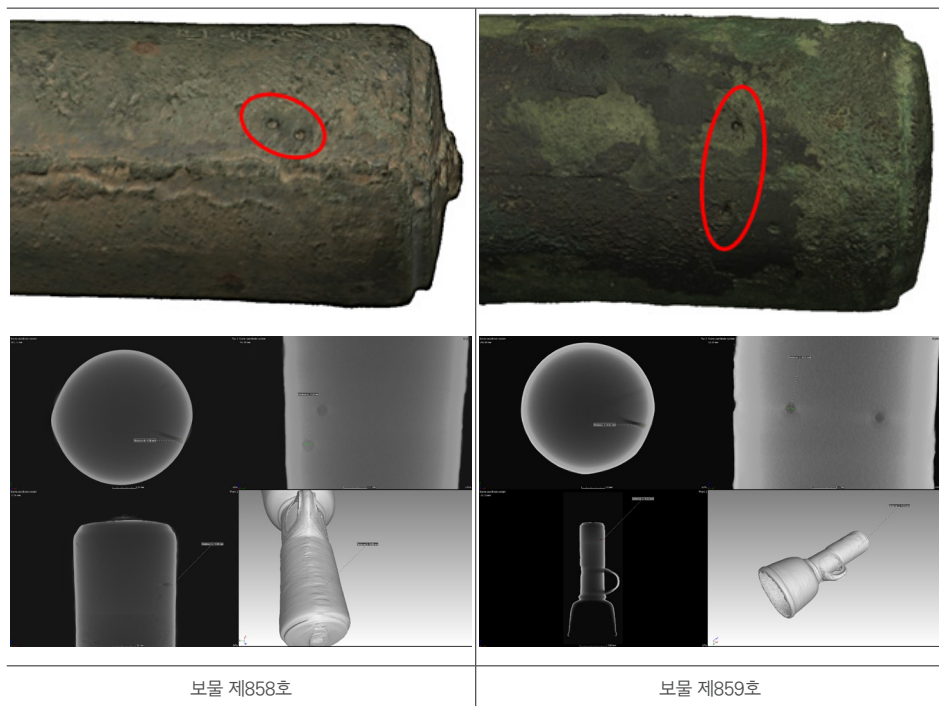
오차가 있겠지만 실제 포구에 대한 개략적 유사성 비교에는 무리가 없을 것으로 판단한다. 현전 중완구의 포구 내경은 23cm로 중완구 단석 지름보다는 조금 작지만 완산값의 오차를 감안하면 세 종류의 완구 중 가장 적절한 크기로 보인다. 나머지 대완구의 단석 지름은 현전 중완구 포구(완)에서 발사가 불가능하고, 소완구 단석은 현저히 작은 크기라 생각한다<sup>(도9)</sup>.

마지막으로 현전 중완구 제작 시기와는 차이가 있지만 19세기 초반에 간행한 『용원필비』의 기록과 현전 중완구 및 제원을 살펴보았다. 『용원필비』에는 중완구가 그림으로 비교적 상세히 그려져 있고<sup>(도4)</sup>, 중량과 제원, 발사체 정보 등이 기록되어 있다<sup>[15]</sup>. 도4의 그림에서 확인되는 바 용원필비의 중완구는 포구(완)의 띠 등이 현전 중완구와 다르고, 중량은 185kg, 전체길이는 83cm로 훨씬 크다<sup>(표3)</sup>. 또한 『화포식언해』와 『용원필비』의 장전 화약량도 520g과 1,400으로 두 배가 넘는다. 반면 두 문헌의 단석 중량과 발사 거리는 유사하며<sup>(표2)</sup>, 『용원필비』의 중완구 격목 지름도 106.06mm로<sup>(표2)</sup> 현전 중완구의 격목부 입구에 걸맞은 크기이다<sup>(도7)</sup>. 종합하여 현전 중완구와 『화포식언해』의 중완구가 동일하다고 가정하면, 『용원필비』의 중완구는 전체 중량과 크기가 커졌고, 많은 화약을 사용한다. 그러나 격목부 입구의 구경은 변하지 않았고, 발사 거리도 늘어나지 않았다는 결론을 도출할 수 있다.

이러한 결과는 앞선 기록과 같이 16세기 후반의 중완구가 200여 년이 지나 규격이 달라졌을 수 있고, 또 문헌 기록과 실제 제작 과정에 차이가 있었을 경우도 생각해볼 수 있다. 실제로 문헌 기록과 유물의 제원이 다른 경우는 조선 초기 총통의 격목부의 유무<sup>[16]</sup>나 화약 무기의 제원 기록 등에서 종종 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 중완구의 제원 변화가 큼에도 불구하고 발사체 중량 및 발사 거리 등이 유사한 기록은 이례적이다. 따라서 이 같은 기록은 향후 여러 중대형 유통식화포의 발사체와 발사 거리 등과 함께 종합적인 검토가 필요하고, 이는 화포의 변화와 발전 과정을 살펴볼 수 있는 중요한 자료라 생각한다.



도7. 3D 스캔을 통한 중완구 상세제원 비교



도8. 중완구의 심지구멍 위치와 지름 - 3D 매핑 이미지와 CT 분석

표2. 문헌 속 완구의 기록 수치 환산

| 문헌                       | 발사기  | 발사 거리                       |             | 단석중량<br>(근/kg) | 화약량<br>(냥/g) | 격목지름<br>(지름/mm) | 심지<br>(종류/길이) |
|--------------------------|------|-----------------------------|-------------|----------------|--------------|-----------------|---------------|
|                          |      | 진천뢰<br>(보/m)                | 단석<br>(보/m) |                |              |                 |               |
| 화포식언해                    | 대완구  | -                           | 370/<br>444 | 74/<br>47.5    | 30/<br>1200  | -               | 중약선/<br>1.5리  |
|                          | 중완구  | 300/<br>360                 | 500/<br>600 | 34/<br>21.8    | 13/<br>520   | -               | 중약선/<br>4치    |
|                          | 소완구  | -                           | 500/<br>600 | 11/<br>7       | 8/320        | -               | 중약선/<br>2치5푼  |
|                          | 소소완구 | -                           | -           | -              | 1.8/72       | -               | 중약선/<br>1치5푼  |
| 용원필비                     | 별대완구 | 350/<br>420                 | 400/<br>500 | 120/77         | 70/<br>2800  | 6치5푼/<br>196.97 | 중약선 1가닥       |
|                          | 대완구  | 400/<br>480                 | 500/<br>600 | 45/<br>28.9    | 35/<br>1400  | 4치7푼/<br>142.42 | 중약선 1가닥       |
|                          | 중완구  | 350/<br>420                 | 500/<br>600 | 35/<br>22.5    | 35/<br>1400  | 3치5푼/<br>106.06 | 중약선 1가닥       |
| 징비록 ·<br>성호사설 ·<br>연려실기술 | 대완구  | 500~<br>600/<br>600~<br>720 | -           | -              | -            | -               | -             |

※ 기준 1근=641.946g, 1량=40.1218g 1치=3.0303cm<sup>[17]</sup>

표3. 용원필비 기록과 제원 비교

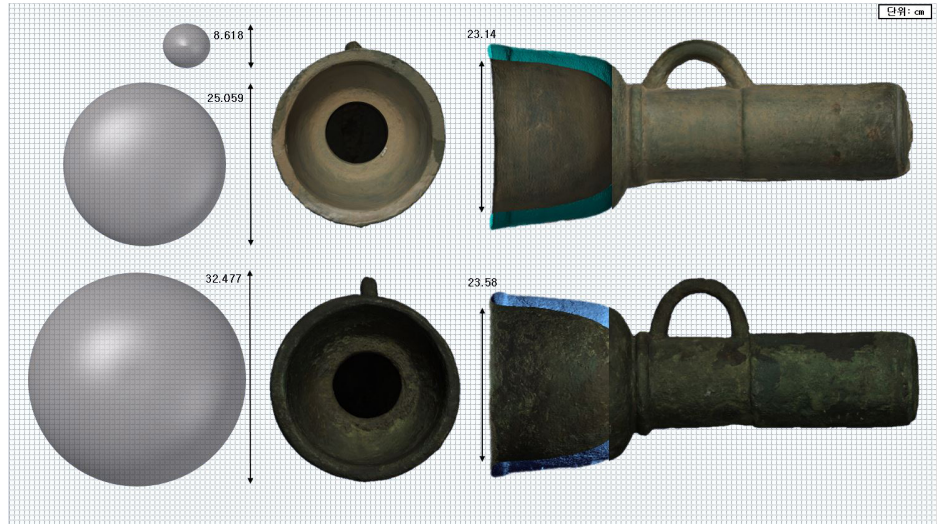
| 문헌 및 제원    |      | 중량<br>(근/kg)   | 전체 길이<br>(자/mm)  | 포구 내경/외경<br>(자/mm)           | 약실부외경<br>(자/mm)  | 손잡이 길이<br>(mm) |
|------------|------|----------------|------------------|------------------------------|------------------|----------------|
| 『용원<br>필비』 | 별대완구 | 1100/<br>705.1 | 4자3치/<br>1302.9  | 1자8치/540<br>2자/600           | 1자6치/<br>484.8   | -              |
|            | 대완구  | 528/<br>338.45 | 3자1치/<br>912     | 1자3치1푼/393.9<br>1자5치1푼/454.5 | 1자1치3푼/<br>334.2 | -              |
|            | 중완구  | 290/<br>185.89 | 2자7치3푼/<br>837.9 | 1자/303<br>1자1치9푼/336         | 7치2푼/<br>212.7   | -              |
| 보물 제858호   |      | 50             | 636.8            | 231.4/271.9                  | 140.8            | 75.2           |
| 보물 제859호   |      | 56             | 625.8            | 235.8/278.4                  | 141.8            | 86.6           |

※ 기준 1근=641.946g, 1량=40.1218g 1치=3.0303cm,<sup>[17]</sup>



표4. 『화포식언해』의 완구 단석 지름 산출

- 무게 = 부피 × 비중    • 화강암의 비중 =  $2.65g/cm^3$     • 구의 부피 =  $\frac{4}{3}\pi r^3$
  - 무게 =  $\frac{4}{3}\pi r^3 \times 2.65g/cm^3$     •  $r^3 = \frac{3 \times \text{무게}}{33.284} \times \frac{1000g}{1kg}$
  - 조선 전기 1근 = 641,946g, 1량=40,1218g
1. 소완구 단석 중량: 11근 1량 = 7.102kg  
 $\therefore r^3 = 640, r = 8.618cm$ , 소완구 단석 지름=8.618cm
  2. 중완구 단석 중량: 34근 = 21.826kg  
 $\therefore r^3 = 1967, r = 12.530cm$ , 중완구 단석 지름=25.059cm
  3. 대완구 단석 중량: 74근=47.504kg  
 $\therefore r^3 = 4282, r = 16.239cm$ , 대완구 단석 지름=32.477cm



도9. 『화포식언해』의 완구 단석 지름과 중완구 보물 제858호(上)와 제859호(下)의 포구(완) 지름

### 3.2 중완구의 재료 성분

중완구 재료에 대한 문헌 기록은 『응원필비』에 등장하며 중완구를 비롯한 화약 무기를 숙동으로 제작한다는 내용이 있다<sup>[15]</sup>. 또한 명(明)말 송응성(宋應星)이 저술한 『천공개물(天工開物)』에 서양포는 숙동(熟銅)으로 주성(鑄成) 한다는 기록이 있고<sup>[18]</sup> 조선말 『훈국신조군기도설(訓局新造軍器圖說)』에도 천·지·현·황자총통, 완구 등 화약 무기는 숙동으로 주조한다고 전한다<sup>[19]</sup>.

숙동에 대한 정보는 조선시대에 편종(編鐘)을 만들 때 함석(含錫, Zn)과 함께 사용한다는 기록<sup>[20]</sup>이 있고, 금보(金寶)를 비롯한 각종 기물 제작에 숙동으로 주조하고

도금한 기록<sup>[21]</sup> 등이 남아있다. 또한 『오주서종박물고변(五洲書種博物考辨)』<sup>[22]</sup>에 구리를 만드는 법에서 숙동이 기록되어있는데, 역자인 최주는 단조(鍛造, Forging)가 가능한 구리 또는 구리합금일 것으로 추정하였다. 이상을 종합하면 숙동은 숙동 자체로 주조했거나 합금의 주성분으로 쓰였기 때문에 Sn 함량이 매우 높지는 않았을 것으로 추측하며, 또한 단조가 가능한 동합금이었다면 Pb가 없거나 매우 낮은 함량이었을 것으로 예상한다. 그러나 과거에는 동(銅)이라는 단어가 순수한 구리나 구리계 합금을 통칭<sup>[23]</sup>했기 때문에 문헌의 내용만으로 Sn 함량을 명확히 유추하기는 어렵다. 다만, 화포나 총통류를 만들기 위한 재료가 별도로 있었다는 사실은 분명하다.

따라서 본 연구에서는 보물 제859호 중완구의 재료가 구리와 주석의 합금일 것으로 예상하고 ED-XRF로 재료 성분을 분석하였다. 표5에 제시한 바와 같이 보물 제859호 중완구의 성분은 Cu, Sn이며, 소량의 Pb가 포함되어 있다. 평균 함량 (wt%)은 Cu 85.24 : Sn 10.16 : Pb 2.98이다.

청동제 화약 무기의 경우 화약의 폭발력을 견디기 위한 재료의 기계적 특성은 필연이었을 것으로 예상한다. 따라서 중완구의 재료 성분을 좀 더 상세히 검토하기 위해 기존 국내 청동제 화약 무기류 성분과 비교하였다. 최근 조선 시대 청동제 소형 총통 68점이 ED-XRF로 분석된 바 있는데, 주성분은 Cu-Sn 합금으로 소량의 납이 포함되었다. 이 중 Sn 함량은 대부분 5~12wt% 범위 내에 위치하는 비교적 뚜렷한 경향을 보였다(이하 그룹 A). 추가로 그간 국내에서 ICP(Inductively Coupled Plasma, 유도결합 플라즈마)로 분석된 청동제 화약 무기 47점을 살펴보면 Sn 평균 값이 5.57wt%로 앞선 결과와 유사하다(이하 그룹 B). 종합하면 현재까지 분석된 국내 청동제 화약 무기의 Sn 함량은 대부분 10wt% 이내에 분포하며, Cu-Sn-Pb 삼원계 조성표를 통해서도 명확히 드러난다<sup>(도10)</sup>. 이와 같은 합금비율은 일반적인 청동 문화재와 달리 매우 일관된 결과라 할 수 있다<sup>[16]</sup>. 결과를 좀 더 살펴보면 본 연구의 보물 제859호 중완구와 그룹A는 ED-XRF로 표면을 분석하는 방식이다. 이 같은 분석은 부식된 청동 문화재의 경우 Cu는 낮고, Sn과 Pb는 높게 검출되었을 것으로 추정한다. 따라서 실제 청동제 화약 무기의 주성분은 그룹B와 유사하고, 보다 더 일관된 경향성을 보인다고 할 수 있다.

다음은 중완구의 Cu와 Sn 함량에서 나타나는 재료적 특성에 대해 살펴보겠다. 재료적 특징은 온도에 따른 변화를 나타낸 평형상태도(平衡常態度, Equilibrium phase diagram)와 Cu-Sn 합금의 인장강도(引張強度, Tensile strength) 특성, 충격값(Impact value) 및 경도(硬度, Hardness) 등의 그래프를 통해 가늠할 수 있다.

평형 상태도에서 확인되는 바 Sn 함량이 낮아지면 녹는점은 높아진다. 또한 Cu와 Sn 함량에 따른 금속조직 상변화를 살펴보면, 일반적으로 Cu-Sn 합금은 520℃

이상에서  $\alpha$ 와  $\gamma$ 의 두 가지 상으로 존재하다가 520℃에 이르게 되면  $\gamma$ 상이 변화되어  $\alpha + \delta$ 의 혼합조직이 출현한다<sup>[23]</sup>. 이 때  $\delta$ 상의 출현은 청동 재료의 취성을 급격히 증가시킨다. 중완구 등의 청동 화약 무기는 Sn의 함량을 제한적으로 사용하였는데, 이는 결국  $\delta$ 상의 출현을 줄이는 효과가 있었을 것이다.

한편 청동의 기계적 성질로 보면 중완구는 Sn이 20wt% 이상 포함된 청동경(銅鏡)<sup>[24]</sup>에 비해 청동 화약 무기는 연신율이 높고 경도는 낮다<sup>[23]</sup>. 특히 중완구가 가져야 할 필수 특성은 충격값이다. 충격값이란 충격에 대항하는 재료의 저항력으로 인성 또는 취성을 잘 보여주는 데이터이다. 청동의 충격값은 Sn 함량이 약 13wt%를 초과하면 떨어지므로 그 이상의 Sn을 함유하는 경우 충격값이 낮아 청동 화약 무기로 사용하기는 어려웠을 것이다.

다음은 범위를 넓혀 중세 유럽 청동 화포의 성분 분석 사례를 살펴보았다. 유럽의 청동제 화포를 만들기 위한 재료는 ‘건메탈(Gun-metal)’로 분류하며, 일반적으로 Cu 90~81wt%, Sn 9~10wt% 정도의 합금비를 의미한다. 건메탈의 Sn 함량은 높은 파괴 인성이 필요한 무기임을 고려한 선택으로 보고 있다<sup>[25],[26],[27]</sup>. 이러한 Sn 함량의 경향성은 시사하는 바가 크다. 초기의 청동제 화약 무기 주성분이 특정 지역이나 개발 시기에 따라 분류되는 것이 아니라 화약 무기에 필요한 재료적 기능에 우선한다고 볼 수 있다<sup>[16]</sup>. 다시 말해 청동제 화약 무기의 Sn 함량은 분명한 제작 의도를 명확히 보여주는 것이다.

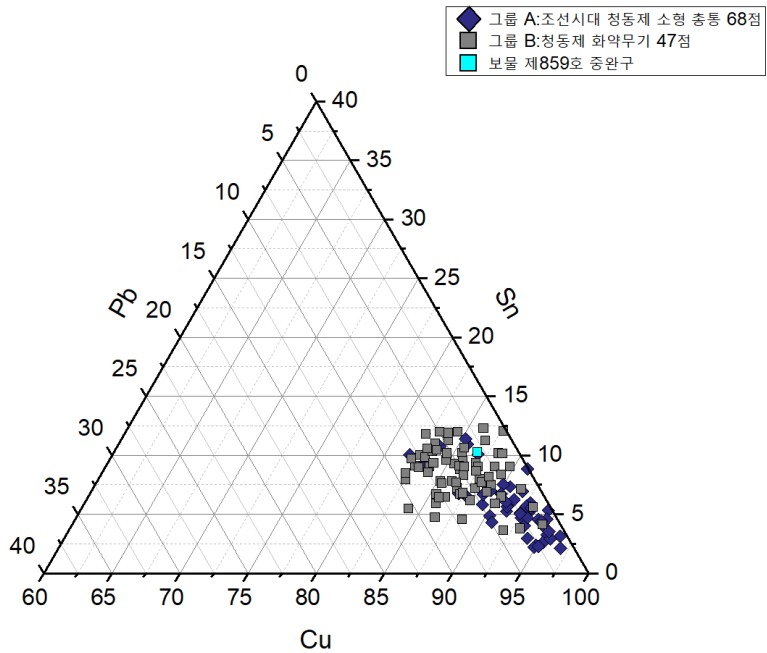
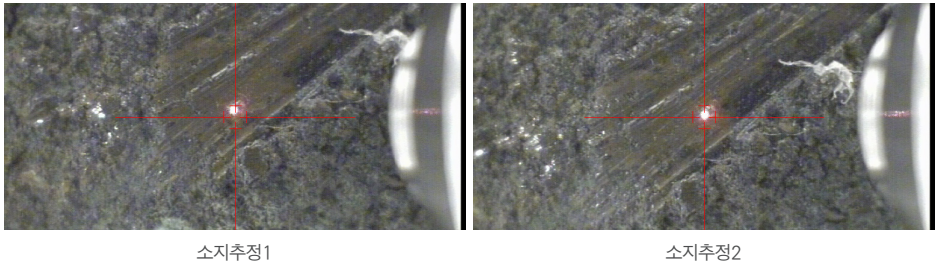
마지막으로 중완구 등의 청동제 화약 무기 합금비율을 선택함에 있어 중국 등 외래의 영향을 받는 부분도 있겠지만, 국내 자체 생산을 위한 개발 단계에 많은 시행착오를 통하여 적절한 재료적 특징을 찾아낸 결과라 생각한다.

표5. 보물 제859호 중완구 ED-XRF 성분 분석 결과 및 위치

분석 결과

| 연번 | 분석위치  | Cu    | Sn    | Pb   | Mn   | Fe   | Ni   | Zn   | As   | Sb   | 합계     |
|----|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1  | 소지추정1 | 84.95 | 10.41 | 3.06 | 0.02 | 0.64 | 0.34 | 0.24 | 0.13 | 0.21 | 100.00 |
| 2  | 소지추정2 | 85.53 | 9.90  | 2.91 | 0.02 | 0.69 | 0.34 | 0.23 | 0.16 | 0.21 | 100.00 |
| 평균 |       | 85.24 | 10.16 | 2.98 | 0.02 | 0.67 | 0.34 | 0.24 | 0.15 | 0.21 | 100.00 |

분석 위치



도10. 보물 제859호 중완구, 소형 총통(그룹 A), 국내 화약 무기(그룹 B)의 Cu-Sn-Pb 주성분 분포 (Cu 60wt% 이상 구간)

### 3.3. 주조 기법

문화재의 주조 기법 조사는 가시적으로 표면의 주조 결함(casting defect)을 확인하고, CT 등으로 내부 구조를 조사하여 종합적으로 판단한다. 본 장에서는 중완구를 CT로 촬영하고, 두 중완구에서 나타나는 공통적 특징을 바탕으로 주형(鑄型) 설계와 탕구(sprue gate) 방향 등에 대해 설명하고자 한다.

중완구의 주조 방법을 유추하는 가장 중요한 단서는 측면의 주조분할선이다. 전통의 주조 방법 중 사형주조(砂型鑄造, sand mold casting)는 주형을 흙(모래)이나 점토 등을 섞어 사용하는 생형주조법(生型鑄造法)이라 하며 문화재 연구 분야에서는 도토형주조법이라고도 불린다<sup>[28],[29]</sup>. 사형주조는 주로 주형을 상·하형으로 나누고 코어와 조립한 후 빈 공간에 용탕을 채워 응고시키는 방법이다. 중완구 또한 주형을 반으로 나누어 분할 제작(piece mold)하였다. 이때 경계면을 분리면이라 하며, 이것을 측면에서 볼 때 분리선 또는 주조분할선이라 한다. 주조분할선은 조립된 주형 사이에 용탕이 들어가 생기는 결함 현상으로 중완구의 측면에서 선명하게 관찰된다<sup>[도5(a-3)], [도4(b-3,4)]</sup>.

일반적으로 주조품은 용탕이 주형에서 응고되면 주입구 방향의 탕구나 압탕(riser) 흔적이 남는다. 따라서 이러한 흔적을 연마하거나 절단하는 후처리 공정을 거친다. 하지만 전통 주조의 경우 후처리를 하지 않아 표면에 흔적이 종종 남아있는데, 중완구도 약실 끝에서 주입 흔적이 확인된다. 주입구는 표면이 거칠고 중심부가 돌출되어 편평한 포구와는 대조적인 모습이다<sup>[도11]</sup>. 따라서 중완구는 약실끝 부분이 주입구이며 포구가 바닥에 오는 수직 주형 설계로 추정한다. 수직으로 용탕을 주입하는 방식은 유럽의 16세기 오스만제국의 화포(pedrerros) 주조 기술과도 유사하다. 이 화포는 약실 끝 모서리 부분으로 용탕을 주입했고, 구덩이를 파서 코어를 설치한 후 주형을 내리는 방식으로 알려져 있다<sup>[26], [도12(a)]</sup>. 중완구는 약실 끝의 중심부로 주입했다는 점이 조금 다르지만, 중형 주물 작업이므로 용탕의 높은 압력을 견디기 위해선 구덩이 파고 주형을 설치했을 가능성이 높다<sup>[도12]</sup>.

채플릿(chaplets)<sup>[30]</sup>은 주조 시 주형에 코어 설치가 불안정하거나 용탕의 부력에 의하여 떠오를 염려가 있을 때 고정하는 역할을 한다<sup>[31]</sup>. 중완구는 주조 시 포구와 약실 내부를 만들기 위해 코어가 필요하다. 주형과 코어 사이에 용탕이 주입되면 포신 기벽이 되는데 코어가 중심에 위치해야만 고른 기벽이 형성된다. 고른 기벽으로 일정한 포신을 형성시키는 것이 유통식 화약 무기 제작의 핵심 기술이며, 코어가 중심에 위치하지 못하고 한쪽으로 치우치게 되면 편차가 생겨 화약 폭발 시 취약부위가 된다. 이런 현상을 방지하기 위해 코어 고정 채플릿을 설치하며 용탕을 주입하면 총통의 기벽 속에 채플릿이 위치하게 되고 표면에서는 잘 보이지 않는다<sup>[16]</sup>.



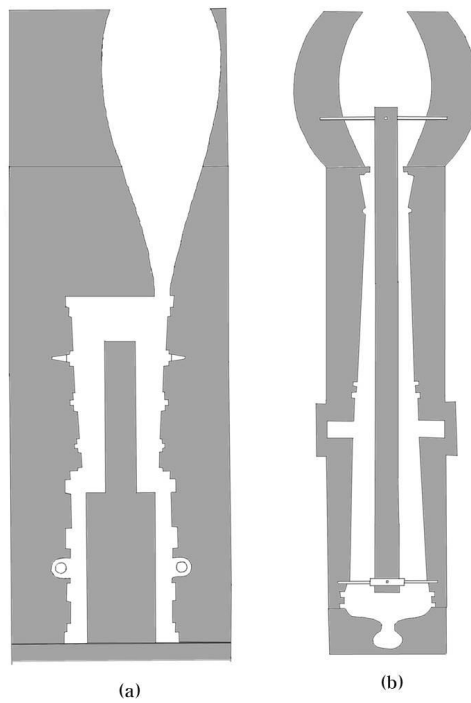
따라서 채플릿의 위치와 형태를 확인하기 위해 CT 촬영을 하였으나, 두꺼운 기벽을 투과하기에는 방사선량의 한계가 있었다. 하지만 중완구 표면으로부터 약 1cm 가량 투과되어 채플릿의 유무와 위치는 확인할 수 있었고<sup>(도13)</sup>, 외관상 표면에 작은 직사각의 요철이나 홈으로 관찰되며 주변부에 적갈색 부식물이 나타났다<sup>(도14)</sup>. 추가로 적갈색 부식물은 ED-XRF로 측정한 결과 Fe 함량이 높게 나타나 채플릿 재질은 철로 추정한다.

이상으로 확인한 채플릿의 위치는 보물 제858호의 경우 총 5곳이고, 제859호는 총 2곳이다. 보물 제858호는 CT상에서 선명하게 표현되지 않았지만, 외관상 적갈색 부식물이 확인된다. 포구 방향에서 주조분할선을 기준으로 약실 오른쪽에는 삼각형태로 3곳이고 왼쪽에는 수직으로 2곳이다. 반면 보물 제859호는 CT 조사 결과 포구 방향에서 주조분할선을 기준으로 격목부 오른쪽 측면에만 수직으로 2곳이 확인된다. 철제의 채플릿은 부식으로 밀도가 낮아졌고, CT 상에서 검은색으로 표현된다. 그러나 방사선이 기벽 전체를 투과하지 못해 채플릿의 형태와 깊이까지는 확인하기는 어려웠다. 이상으로 종합하면 두 점의 중완구는 형태가 유사함에도 불구하고 채플릿의 배치와 간격이 달랐다. 보물 제858호는 채플릿이 주조분할선을 기준으로 대칭했지만, 제859호는 한쪽 측면에만 존재했다. 앞서 언급한 바와 같이 채플릿은 유통식 화기의 고른 기벽 유지를 위해 매우 중요한 역할을 담당한다. 최근에는 조선시대 여러 소형 총통 속에서 M자형, I자형의 독특한 채플릿이 새롭게 발견되었고, 주조 기술의 발전 과정 연구로도 연계된 바 있다. 중완구와 같은 중형 주물 공정은 쇳물의 압력과 폭발에 위험이 따를 수 있어 숙련된 고도의 기술이 필요했으리라 예상한다.

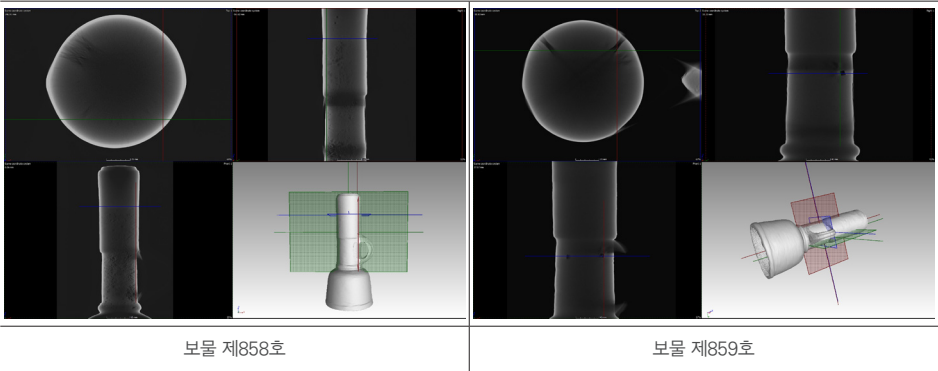
무기는 당대 최고의 기술을 담고 있으며, 금속 주조는 전통 무기 제작에 핵심적인 역할을 담당해왔다. 주형의 설계는 주조 기술의 수준과 발전 과정을 가늠할 수 있는 중요한 연구 소재이다. 본 연구로 두 중완구의 채플릿 수량과 배치가 상이하다는 점은 밝혔으나 코어의 고정 방식까지는 풀지 못한 숙제로 남았다. 이같은 결과는 산업용 CT의 방사선 투과력에 한계에서 비롯되었지만, 향후 여러 중대형 화포의 검토를 통해 채플릿의 형태와 구조가 좀 더 선명하게 밝혀지길 기대한다.



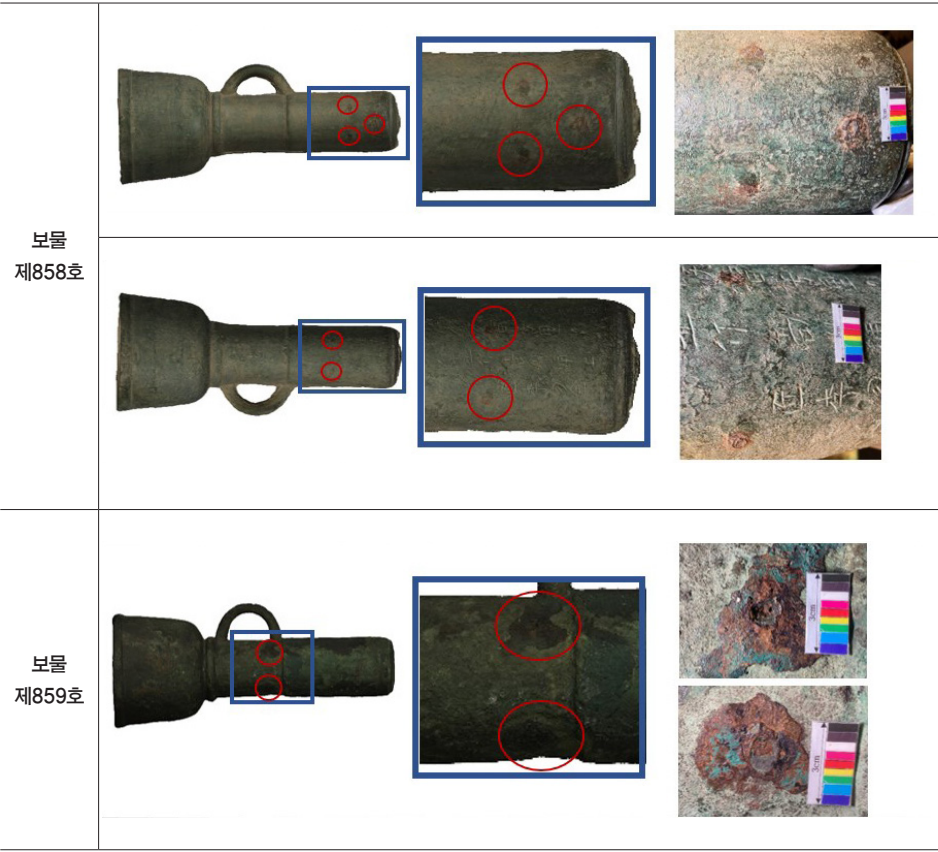
도11. 중완구 약실끝 주입구 추정 위치



도12. 16세기 오스만제국(Ottoman)과 서유럽 청동제 화포(Cannon)의 주조 방법<sup>[23]</sup>



도13. 중완구 채플릿 CT 분석



도14. 중완구의 채플릿 위치

#### 4. 결론

본 연구는 국립진주박물관 소장 중완구(보물 제858호)와 해군사관학교 박물관 소장 중완구(보물 제859호)의 과학적 조사를 토대로 제작 기술을 확인하였다.

첫 번째로 국내에 현전하는 중완구는 단 두 점인만큼 정밀 3D 스캐닝 정보를 토대로 세부 제원을 서로 비교하고, 비슷한 시기의 문헌 기록 수치를 토대로 검증하였다. 두 완구의 전체 크기는 근소한 차이였지만 중량에서 5,507g의 차이를 보였고, 세부적으로 심지어 구멍 위치와 손잡이 길이가 상이했다. 또한 현전 중완구 명칭에 대한 근거를 살펴보기 위해 『화포식언해』의 대·중·소완구 단석 중량을 바탕으로 지름 크기를 산출하였다. 그 결과 현전 중완구는 『화포식언해』 기록의 중완구 크기에 가장 적절한 크기로 추정한다. 추가로 19세기 간행한 『용원필비』의 중완구는 현전 중완구 보다 외형이 더 커졌지만, 발사체나 발사거리의 늘어나지 않아 기능적 발전에 대해 추후 검토가 필요하다.

두 번째는 중완구의 성분을 분석하고 기존 청동제 화약 무기와 함께 검토하였다. 보물 제859호 중완구의 주성분 평균 함량 (wt%)은 Cu 85.24 : Sn 10.16 : Pb 2.98이다. 중완구의 재료 성분은 기존에 조사된 조선의 소형 총통류(67점)와 청동 화약 무기류(47점)의 평균 성분과도 매우 유사하며, 중세 유럽의 청동제 화포 재료와도 서로 비슷한 경향임을 확인하였다. 이와 같은 결과는 Cu, Sn 합금의 재료적 특성으로 해석된다. 중완구의 합금비는 일반적인 청동 문화재에 비해 Sn 함량이 낮은 편인데 이 경우 연신율은 높고 경도는 낮은 특성을 보인다. 또한 중완구가 가져야 할 필수 특성으로 충격값을 들 수 있다. 충격값이란 충격에 대항하는 재료의 저항력으로 인성 또는 취성을 잘 보여주는 데이터이다. 청동의 충격값은 Sn이 약 13wt%를 초과하면 저항력이 떨어지므로, 화약 무기에는 제한적으로 사용할 수밖에 없었을 것이다. 또한 금속 조직학적으로 Cu-Sn 합금은 520℃ 이상에서  $\alpha$ 와  $\gamma$ 의 두 가지 상으로 존재하다가 520℃에 이르게 되면  $\gamma$ 상이  $\alpha + \delta$ 의 혼합조직으로 출현한다.  $\delta$ 상의 출현은 청동 재료의 취성을 급격히 증가시키기 때문에 낮은 Sn 함량이 이러한 현상을 줄이는데 효과가 있었을 것이다. 이로서 청동제 화약 무기 주성분은 특정 지역이나 시기에 따라 분류되는 것이 아니라 화약 무기에 필요한 재료적 기능에 우선한다고 볼 수 있다. 다시 말해 청동제 화약 무기의 Sn 함량은 분명한 제작 의도를 보여주는 것이다.

마지막으로 표면의 주조 결함과, CT 분석을 토대로 주조 기법을 추정하였다. 중완구는 측면의 주조분할선으로 보아 주형을 반으로 나누었고, 용탕의 주입은 약실 끝 부분이며 포구가 바닥에 오는 수직 주형 설계로 추정한다. CT 조사를 통해 중완구 기벽 안에서 주형과 코어를 고정하는 보조 장치 채플릿이 확인되었다. 기벽이 두꺼

위 채플릿의 전체 형태를 확인하기는 어려웠지만, 수량과 위치는 명확히 확인되었다. 두 점의 중완구는 형태가 매우 유사함에도 불구하고 채플릿의 배치와 간격이 달랐다. 보물 제858호의 채플릿은 주조분할선을 기준으로 약실 측면 양쪽에 대칭했지만, 제859호는 격목부 측면 한쪽에만 존재했다.

채플릿은 중완구에 고른 포신을 형성하는 중요한 역할을 하며, 배치와 간격에 따라 주형 설계 의도를 파악할 수 있다. 본 조사는 아쉽게도 채플릿과 코어의 고정 구조를 명확히 밝히지 못했지만, 이와 같은 주형 설계 과정은 주조 기술의 수준과 발전 과정을 가늠할 수 있는 중요한 연구 소재인 만큼 향후 여러 중대형 화포의 비교 검토를 통해 좀 더 선명하게 밝혀지길 기대한다.

## 참고문헌

1. 유은선, 임진왜란시기 조선군의 화기연구, 제주대학교 석사학위 논문, p10-13, (2007).
2. 有馬成甫, 火炮の起源とその傳流, 吉川弘文館, p225-232, 東京, (1962).
3. 王兆春, 中國科學技術史: 軍事技術卷, 科學出版社, p138, 北京, (1998).
4. 이서 저, 정호완 역, *화포식언해·신전자취염소방언해*, p54, 세종대왕기념사업회, 서울, (2013).
5. 『세종실록』 권1, 세종 즉위년 8월 14일(신묘).
6. 『세종실록』 권78, 세종 19년 7월 27일(을묘).
7. 『세종실록』 권78, 세종 19년 7월 27일(을묘).
8. 『선조수정실록』 권26, 선조 25년 9월 1일(정사).
9. 『선조실록』 권96, 선조 31년 1월 1일(정해).
10. 국립진주박물관, *동아시아 7년 전쟁, 임진왜란(1592-1598)*, p159, 국립박물관문화재단, 진주, (2019).
11. 이서 저, 정호완 역, *화포식언해·신전자취염소방언해*, p87-88, 세종대왕기념사업회, 서울, (2013).
12. 허일권, 김해솔, 고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 제작기법, *고창 무장현 관아와 읍성 비격진천뢰의 발굴과 연구 심포지엄*, p61-62, (2019).
13. 김해솔, 허일권, 고창 무장현 관아와 읍성 출토 비격진천뢰의 제작기법과 보존처리, *박물관보존과학* 24, p20, (2020).



14. 전통건축수리기술진흥재단, 석재, <http://www.kofta.org/architecture/Material/traditionstone.jsp>, (2021).
15. 박종경 저, 강신엽 역, *조선의 무기 II: 용원필비*, p41-46, 봉명, (2004).
16. 허일권, 조선 청동제 소형 총통의 제작 기술, 공주대학교 박사학위논문, p78-121, (2021).
17. 이종봉, *한국 도량형사*, p258, 소명출판, 서울, (2016).
18. 송응성 저, 최주 역, *천공개물*, p357, 전통문화사, 서울, (1997).
19. 박종경 저, 강신엽 역, *조선의 무기 I: 훈국신조군기도설·훈국신조기계도설*, p15-25, 봉명, 고양, (2004).
20. 『경모궁악기조성청의궤』 「품목질」, 3월 일(정유).
21. 『가례도감의궤영조정순왕후』 「이방의궤」 「품목질」.
22. 이규경 저, 최주 역, *오주서종박물고변*, p66-76, 학연문화사, 서울, (2008).
23. Scott, D.A., *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*, p120-123, Getty Conservation Institute, Los Angeles, California, (1991).
24. 유혜선, 국보 제141호 다뉴세문경의 성분 조성에 관한 연구, *한국기독교박물관 소장 국보 제141호 다뉴세문경 종합조사연구*, p102-119, 송실대학교 한국기독교박물관, 서울, (2009).
25. Forshell, H., *Bronze cannon analysis: alloy composition related to corrosion picture*, Armemusei rapportserie, (1984).
26. Guilmartin, J.F.JR., *Gunpowder & Galleys-Changing Technology and Mediterranean Warfare at Sea in the 16th Century*, *Conway Maritime Press*, (2003).
27. Gnesin, G.G., Revisiting the History of Materials Science Metals and Alloys of the Bronze Age: From Middle to Modern Times. I. Copper and Its Alloys, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics* **53**, (2014).
28. 염희택, 이계완, *주조공학*, p200-212, 문운당, 서울, (1986).
29. 윤용현, 청동유물의 주조와 복원기술 연구, 고려대학교 박사학위논문, p11-40, (2013).
30. 허일권 외, 평창 수다사지 청동금고 주조기법과 보수 방식, *박물관보존과학* **15**, (2014).
31. 조수연, 문희권, *주조응고학*(개정2판), p111-112, 구민사, 서울, (2018).