JCS Journal of Conservation Science

Research Article

창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관의 제작기법 및 원료 산지 연구

The Technology and the Provenance Study on Gilt-Copper Crown Excavated from Tomb No.63 of the Ancient Tumuli in Gyo-dong/ Songhyeon-dong, Changnyeong

한우림[1], 권지현[1], 박지연[1], 김소진[2,*]

[1]국립가야문화재연구소 학예연구실, [2]국립문화재연구원 보존과학연구실

Woo Rim Han[1], Ji Hyun Kwon[1], Ji Yeon Park[1], So Jin Kim[2,*]

[1]*Gaya National Research Institute of Cultural Heritage, Changwon 51430, Korea*

[2]*Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon 34122, Korea*

Received September 21, 2022
Revised October 12, 2022
Accepted October 27, 2022

***Corresponding author**
E-mail: kimsj84@korea.kr
Phone: +82-42-860-9064

초 록 국립가야문화재연구소에서 발굴 조사한 창녕 교동과 송현동 고분군 중 도굴되지 않은 63호분에서 금동관이 출토되었다. 고대 금동관은 권력을 상징한다는 의미에서 다른 화려한 금속유물보다 높이 평가된다. 본 연구는 창녕 교동과 송현동 고분군 63호분에서 출토된 금동관을 분석하여 제작 기법에 따른 공인 집단 및 원료 산지를 확인하고자 하였다. 과학적 분석 결과, 금동관은 합금하지 않은 구리로 제작하였으며 표면을 수은아말감 기법으로 금・은 도금한 것으로 확인된다. 도금된 표면은 적색과 황색으로 구분되며 이는 도금 횟수에 따른 두께, 열처리 등 제작 공정의 차이로 인한 것으로 추정된다. 금동관 제작에 사용된 구리 원료는 전라도, 충청도 및 경상도 북부지역을 포함한 Zone 3로 확인되며 원료 산지와 출토지가 동일하지 않음을 알 수 있다. 이를 통해 출토지인 창녕과는 다른 지역의 원료를 사용하였던 것으로 판단되며 타 지역에서 원료를 공급받아 창녕 지역에서 제작하였을 가능성도 배제할 수 없다.

중심어 금동관, 창녕 교동과 송현동 고분군, 제작기법, 수은아말감 도금, 산지추정

ABSTRACT An excavation project conducted by the Gaya National Research Institute of Cultural Heritage discovered a gilt-copper crown in Tomb No. 63 of the ancient tumuli in Gyodong and Songhyeon-dong, Changyeong. This study analyzed the aforementioned crown and identified the certified group and the source of raw materials according to the manufacturing technique. Scientific analysis confirmed that the crown was made of unalloyed copper and the surface was plated with gold and silver using the mercury amalgam technique. The gilded surface color is divided into red and yellow, and this is presumed to be due to differences in manufacturing processes such as thickness and heat treatment according to the number of times it was gilded. The copper raw material used to manufacture the crown is identified as Zone 3 including Jeolla-do, Chungcheong-do, and northern Gyeongsang-do, and the origin of the raw material and excavation site are not the same. Therefore, it is judged that raw materials from a different region than the excavated area of Changnyeong were used, and the possibility that these were supplied from other regions and manufactured in Changnyeong cannot be excluded.

Key Words Gilt-Copper Crown, Ancient tumuli in Gyodong/Songhyeon-dong in Changnyeong, Manufactural technology, Mercury amalgam gilding, Provenance

Journal of Conservation Science 2022;38(6):576-594

https://doi.org/10.12654/JCS.2022.38.6.02

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

ⓒ The Korean Society of Conservation Science for Cultural Heritage

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

창녕 교동과 송현동 고분군은 경상남도 창녕읍 송현리 일대에 분포하고 있으며 5세기 중엽에서 6세기 초엽이 중심 연대가 되는 비화가야의 대형 고분군이다(Figure 1, GNRICH, 2011). 국립가야문화재연구소에서는 39호분・63호분과 주변 고분 발굴조사를 2014~2021년에 거쳐 실시했으며, 그 결과 가야 고분 최초로 도굴되지 않은 63호분을 확인할 수 있었다. 63호분은 도굴을 피한 온전한 상태로 확인되어 매장주체부의 부장품이 당시 모습 그대로 남아 있기 때문에 비화가야의 성격을 이해하는데 매우 중요한 단서를 제공한다. 매장주체부에서는 금동관, 금귀걸이, 구슬목걸이, 은허리띠, 은반지 등 장신구를 포함하여 약 480여점의 유물이 출토되었다(GNRICH, 2021).

그 중 관은 국가를 통치하는 존재로서의 권력을 상징한다는 의미에서 그 어떠한 화려한 금속유물보다도 높게 평가되고 있다(Chuncheon National Museum, 2008). 금관의 기본 형식은 착용자의 머리에 닿는 둥근 관테 위에 세움 장식을 세우는 방식이며(Figure 2), 세움 장식은 나뭇가지형(또는 '出'자형)과 사슴뿔 형 두 가지가 있으나 시기가 지날수록 사슴뿔 모양의 장식이 없어지고 '出(출)'자 모양으로 된 관이 등장한다(Gyeongju National Museum, 2001). 고구려, 백제, 신라 중 신라의 관, 관모는 삼국 중 출토예가 가장 많으며 재료가 금・은・금동으로 다양하다(Park and, Lee, 2010). 신라 금관은 교동, 황남대총 북분, 금관총, 천마총, 금령총, 서봉총에서 출토된 6구가 현재까지 확인된다(Shin *et al*., 2015). 이에 비해 가야의 금관은 리움 박물관과 오구라 콜렉션 소장품이 있으며(Kim, 2020) 현재까지 고령 지산동고분군, 합천 옥전고분군 등 대가야 지역을 중심으로 확인되고 있다. 가야의 금관은 신라에 비해 수량이 많지 않는데 이는 가야가 관을 만들어 분배할 만큼 정치적인 성장을 이루기 전에 신라와 백제에 병합되었던 상황과 관련이 있는 것(Lee, 2019)과 소량 제작 및 엄격한 소유제한으로 각지 수장묘역에서 일부 출토되는 것으로 알 수 있다. 이처럼 가야의 금동관의 제작에 대해서는 크게 2가지로 구분된다. 첫째, 금속제 장신구는 신라의 중심지인 경주지역에서 일괄 제작된 후 정치적 목적에 따라 각 지역으로 분여 또는 하사 되었다는 것과 둘째, 각 장신구가 출토되는 지역을 중심으로 경주지역의 것을 모방 제작했다는 견해이다(Kim, 2009).

본 연구는 금동관의 과학적 분석을 통해 가야 금동관의 제작 특성을 확인하고자 했으며 납동위원소를 이용하여 금동관의 원료 산지를 추정하고자 했다. 금동관은 사회적 지위와 신분・권력을 상징(Kim et al. 2011)한다는 의미에서 다른 금속유물보다 중요하게 생각되며 특히 가야에서 금동관 출토 사례는 매우 드물기 때문에 이와 같은 과학적 분석 연구를 통한 제작기법 및 산지추정은 제작지에 관한 고고학적 연구를 뒷받침 할 수 있는 매우 중

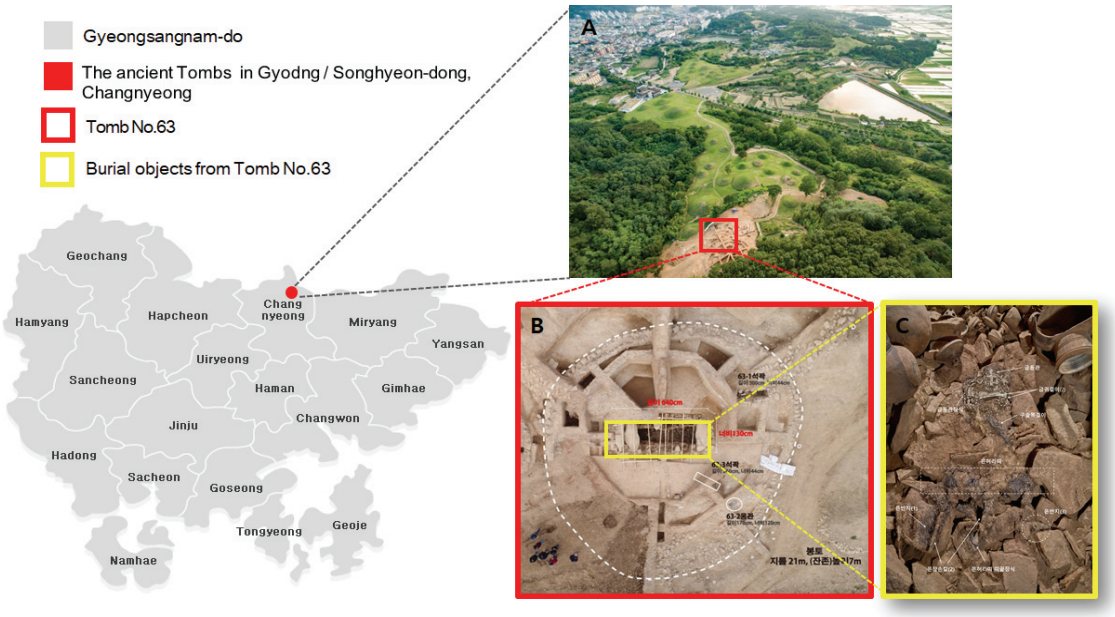

Figure 1. The ancient tumuli in Gyodong/Songhyeon-dong, Changnyeong; (A) Panoramic view, (B) Tomb No.63, (C) Main burial Site of Tomb No. 63.

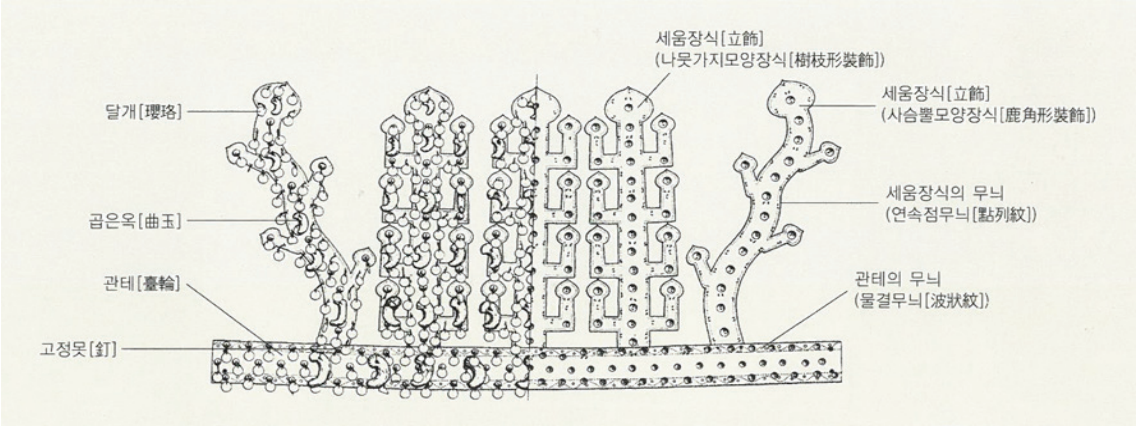

Figure 2. Crown diagram(Gyeongju Natioanl Museum, 2001).

요한 자료로 활용될 것이다.

2. 연구대상 및 연구방법

창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관은 파손되어 대부분 편으로 출토되었지만 각 편마다 접합이 가능한 상태로, 전체 형태는 Figure 3과 같다. 달개와 달개고리는 분리된 상태로 출토되어 정확한 위치를 확인하기 어려웠다.

금동관의 구조는 크게 세움장식, 관테, 관 수식의 3부분으로 구분된다. 관 수식을 제외한 금동관의 전체 높이는 약 220 mm이며 너비는 접합이 완전히 되지 않아 정확한 길이를 확인 할 수 없으나 약 470 mm 이상으로 확인된다. 금동관의 분석 위치, 방법 및 상세 정보는 Table 1에 정리했다. 그 중 1~43번은 금동관 표면 분석의 위치이며 A~E는 채취한 시료에 대한 정보이다.

분석은 육안 관찰 및 현미경 관찰, X선 투과 분석을 통한 가시적 특성 확인, 화학 성분 분석을 통한 재질 특성 확인, 납동위원소 분석을 통한 원료 산지 확인으로 구분할 수 있다. X선 분석은 토양 및 부식물이 고착된 유물의 상태 확인 및 금속 간 결합 방법 등 제작 기법을 확인하기 위해 사용되는 분석 장비로, 유물 분석 전 소프트 엑스선 분석기(Soft X-ray, Softex, VIX-150, JPN)와 방사선투과검사시스템(Computed Radiography system, CRxVision, Ge Measurement&Control, USA)을 활용하여 유물의 전반적인 형태, 투공 및 결합방식 등을 확인했다. 금동관의 표면 분석은 치과용 소도구 및 에틸 알콜 등을 이용하여 표면 토양 및 부식물을 제거한 후 실시했으며 멀티미디어영상현미경(Multimedia Image Microscope, DVM6, Leica, DEU)을 이용해 금동관 표면을 촬영했다. 시료는 금동관의 전체적인 외형이 변형되지 않은 부분에서 일부 채취했으며 에폭시 수지를 이용하여 마운팅 했다. 마운팅한 시료는 #500~#4000의 연마지를 이용해 연마한 뒤, 3 μm, 1 μm의 Diamond suspension을 사용하여 연마했다. 연마가 완료된 시료는 에틸 알콜(99.99%)에 침적시켜 초음파 세척기로 세척 및 건조했다. 채취한 시료는 바탕 금속심이 남아 있지 않아 따로 에칭하지 않았다. 미세조직은 광학현미경(Optical Microscope, Carl Zeiss, Axiotech 100HD, DEU) 및 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-IT200, JEOL, JPN)을 사용하여 미소 부위를 정밀하게 관찰했다. 금동관 표면 및 채취한 시료의 성분분석은 주사전자현미경에 부착된 에너지분광분석기(Energy Dispersive Spectrometer, X-MAX, 7, Oxford, GBR)를 사용해 20 kV, 60 Prove current 및 working distance 10 mm의 조건에서 분석했으며, 시료 당 3~5번 정성 분석하여 평균값을 계산했다. 납동위원소 분석은 한국기초과학연구원(KBSI)의 펨토초 레이저 삭박장치(Excite Pharos, Teledyne CETAC, USA)가 연결된 레이저 삭박 다검출기 유도결합플라즈마 질량분석기(Laser Ablation-Multi Collector-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, Nu Plasma II, NU Instrument, USA)를 사용하여 수행했다. 레이저의 분석 직경은 50 μm이며 10 Hz 반복율에 5㎛/sec의 속도로 시료를 분석했다. 캐리어 가스는 He(700 ml/Min)을 사용했으며 배경값, 레이저 조사시간 및 세척시간은 각각 30초, 30초 및 20초로 측정되었다. 측정된 동위원소비는 TRA(Time Resolved Analytical)방법에 의해 수집했으며 Intergration time은 0.2 sec이다. 납동위원소비는 NIST SRM981로 보정했으며 분석결과는 Iolite 2.5 소프트웨어로 reduction 하였다(Paton *et al*., 2010, 2011). 분석된 데이터는 한반도 납동위원소비 광역분포도(Jeong and Cheong, 2019)를 이용하여 해석했다.

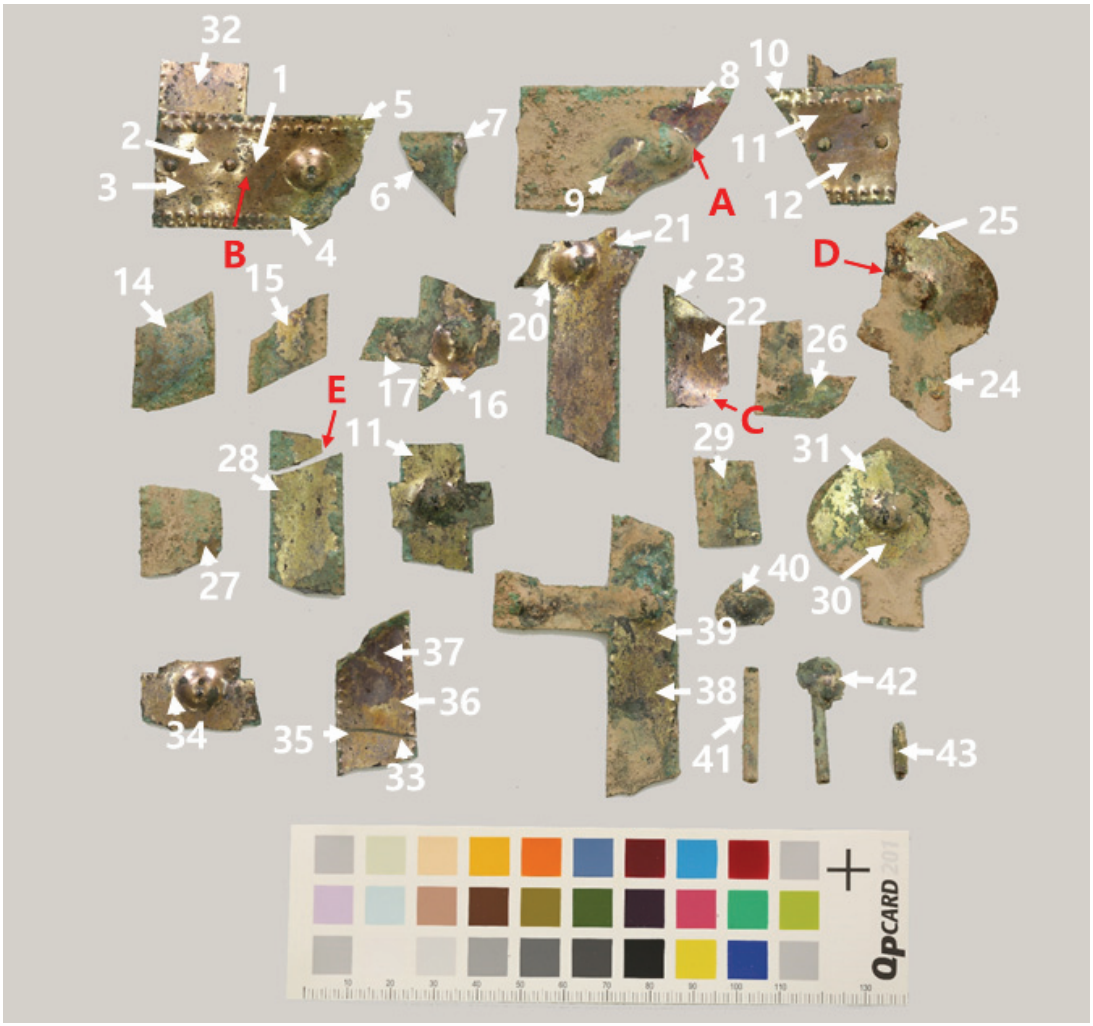

Figure 3. General appearance of the Gilt-Copper Crown from Tomb No. 63 of the ancient tumuli in Gyodong/Songhyeondong, Changnyeong; (1∼43) surface analysis position, (A∼E) Sampling analysis position.

Table 1. Information and analytical method Gilt-Copper Crown

Analysis Position	Surface/ Cross section	Parts	Analytical method	Analysis Position	Surface/ Cross section	Parts	Analytical method
1	Surface	Head bannd	X-ray, SEM-EDS, MIM	28	Surface (front, back)	Uprights2 (middle)	X-ray, SEM-EDS, MIM
2	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	29	Surface (front, back)	Uprights2 (middle)	X-ray, SEM-EDS, MIM
3	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	30	Surface	Uprights2 (middle)	X-ray, SEM-EDS, MIM
4	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	31	Surface	Uprights2 (middle)	X-ray, SEM-EDS, MIM
5	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	32	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
6	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	33	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
7	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	34	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
8	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	35	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
9	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	36	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
10	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	37	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
11	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	38	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
12	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	39	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
13	Surface	Head band	X-ray, SEM-EDS, MIM	40	Surface	Uprights3 (right)	X-ray, SEM-EDS, MIM
14	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	41	Surface	Hanging ornament	X-ray, SEM-EDS, MIM
15	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	42	Surface	Hanging ornament	X-ray, SEM-EDS, MIM
16	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	43	Surface	Hanging ornament	X-ray, SEM-EDS, MIM
17	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	44	Surface	Spangle	X-ray, SEM-EDS, MIM
18	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	45	Surface	Spangle	X-ray, SEM-EDS, MIM
19	Surface (front, back)	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	A	Cross section	Head band	OM, SEM-EDS, LA-ICP-MS
20	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	B	Cross section	Head band	OM, SEM-EDS, LA-ICP-MS
21	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	C	Cross section	Uprights (left)	OM, SEM-EDS, LA-ICP-MS
22	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	D	Cross section	Uprights (left)	OM, SEM-EDS
23	Surface (front, back)	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	E	Cross section	Uprights (middle)	OM, SEM-EDS

Analysis Position	Surface/ Cross section	Parts	Analytical method	Analysis Position	Surface/ Cross section	Parts	Analytical method
24	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	F	Cross section	Spangle	OM, SEM-EDS
25	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	G	Cross section	Spangle ring	OM, SEM-EDS, LA-ICP-MS
26	Surface	Uprights1 (left)	X-ray, SEM-EDS, MIM	H	Cross section	Spangle ring	OM, SEM-EDS, LA-ICP-MS
27	Surface (front, back)	Uprights2 (middle)	X-ray, SEM-EDS, MIM				

*X-ray(Soft X-ray, Computed Tadiography system), OM(Optical Microscopy), MIM(Multimedia Image Microscope), SEM-EDS(Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer), LA-MC-ICPMS(Laser Ablation-Multi Collector-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)

3. 연구결과

3.1. 가시적 특성

금동관의 세움 장식은 3개의 '출'자형으로, 각각 3개의 단으로 구성된다(Figure 4). 세움 장식의 가장자리에서 앞으로 돌출되는 1열의 점열 타출이 관찰되어 조금기법을 사용한 것을 알 수 있다(Figure 44-a,b,c). 또한 영락 장식과 함께 영락을 달기 위해 면을 볼록하게 원형 타출한 기법이 관찰된다(Figure 4-d). 이 원형 타출 내에는 영락을 달기 위한 2개의 구멍이 있으며 원형 타출 장식은 1개의 세움 장식에 총 16개가 확인된다.

관테에서도 세움 장식에서 확인되는 점열 타출이 관찰되며 세움 장식에서는 1열인 것과 달리 관테에서는 2열로 장식된 것이 확인된다(Figure 5-e). 또한 10개의 원형 타출이 확인되어 10개의 영락 장식을 달았을 것으로 판단된다

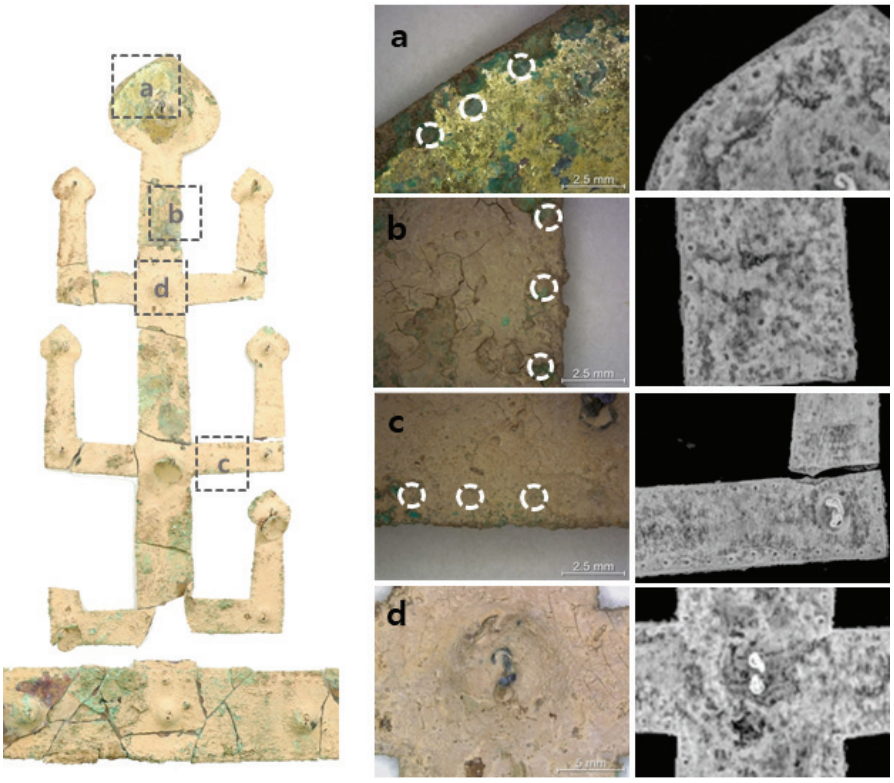

Figure 4. Physical features-Surface of uprights; (a, b, c) Dotted line design, (d) Round design.

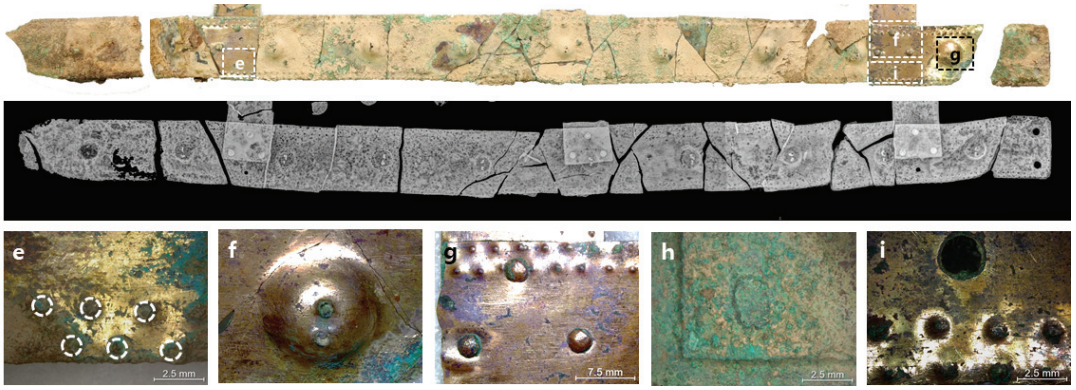

Figure 5. Physical features-Surface of head band; (e) Dotted line design, (f) Round design, (g) Front of fixed round head nails, (h) Back of fixed round head nails, (i) Hanging ornament's connection hole.

(Figure 5-f). X선 투과 분석 결과 3개의 세움 장식을 관테에 연결하기 위해서는 각각 3개의 원두정을 이용하여 고정한 것이 확인되며(Figure 5-g), 원두정을 이용해 고정한 후면은 망치를 사용해 동 소재를 늘려 결합한 것을 알 수 있다(Figure 5-h). 또한 Figure 5-i에서 확인되는 바와 같이 관 수식을 연결했을 것으로 추정되는 구멍이 좌우 2개 존재하며 우측 가장자리에서도 상하 2개의 구멍이 확인되는데 이는 관테를 머리에 고정하기 위해 사용된 구멍으로 추정된다.

관테와 세움 장식에 장식된 영락은 원형이며 지름은 약 9.9~10.6 mm이다(Figure 6-j). 영락의 가장자리에 한 개의 구멍을 뚫어 금동사를 꿴 후 시계방향으로 약 3회 꼬았으며 금동사를 금동관의 원형 타출 장식 가운데 마련된 2개의 구멍에 꽂아 끝을 구부려 고정하는 방식으로 연결했다(Figure 6-k, l, m).

Figure 7과 같이 관테 아래로는 1쌍의 수식이 관찰되는데 일반적으로 금동관 수식은 귀걸이 형식과 대롱형 형식으로 구분된다. 경주 황남대총 북분, 양산 부부총에서 출토된 금동관은 귀걸이 형식이며 호림 미술관 소장품, 대구 달성 문산리 및 강릉 초당동 고분군에서 출토된 금동관에서는 대롱형 수식이 확인된다(Yi, 2020). 창녕 교동과 송현동 63호분 출토 금동관 수식은 대롱형으로 확인되며 부식 및 파손되어 완전한 형태를 파악하기 힘들지만 현재 육안으로 관찰되는 편들로 보아 반구형과 기다란 원통장식을 교차로 엮어준 것으로 추정된다.(Figure 7-n) 육안 관찰 및 X선 투과 분석 결과 반구형 장식의 가장자리에 4개의 구멍을 뚫어 물방울 모양의 영락을 장식한 것으로 확인되며 반구형 장식 상부와 내부에는 원통장식을 엮어 주기 위한 원형 고리도 관찰된다(Figure 7-o). 이 반구형 장식과 원통 장식은 꼬임이 있는 유기물로 연결했으며 동일한 원통 장식편을 확대 관찰한 결과 일부

Figure 6. Physical features-Surface of spangles; (j) Round-shaped spangles, (k) Front of fixed round head nail, (l) Side of fixed round head nails, (m) Back of fixed round head nails.

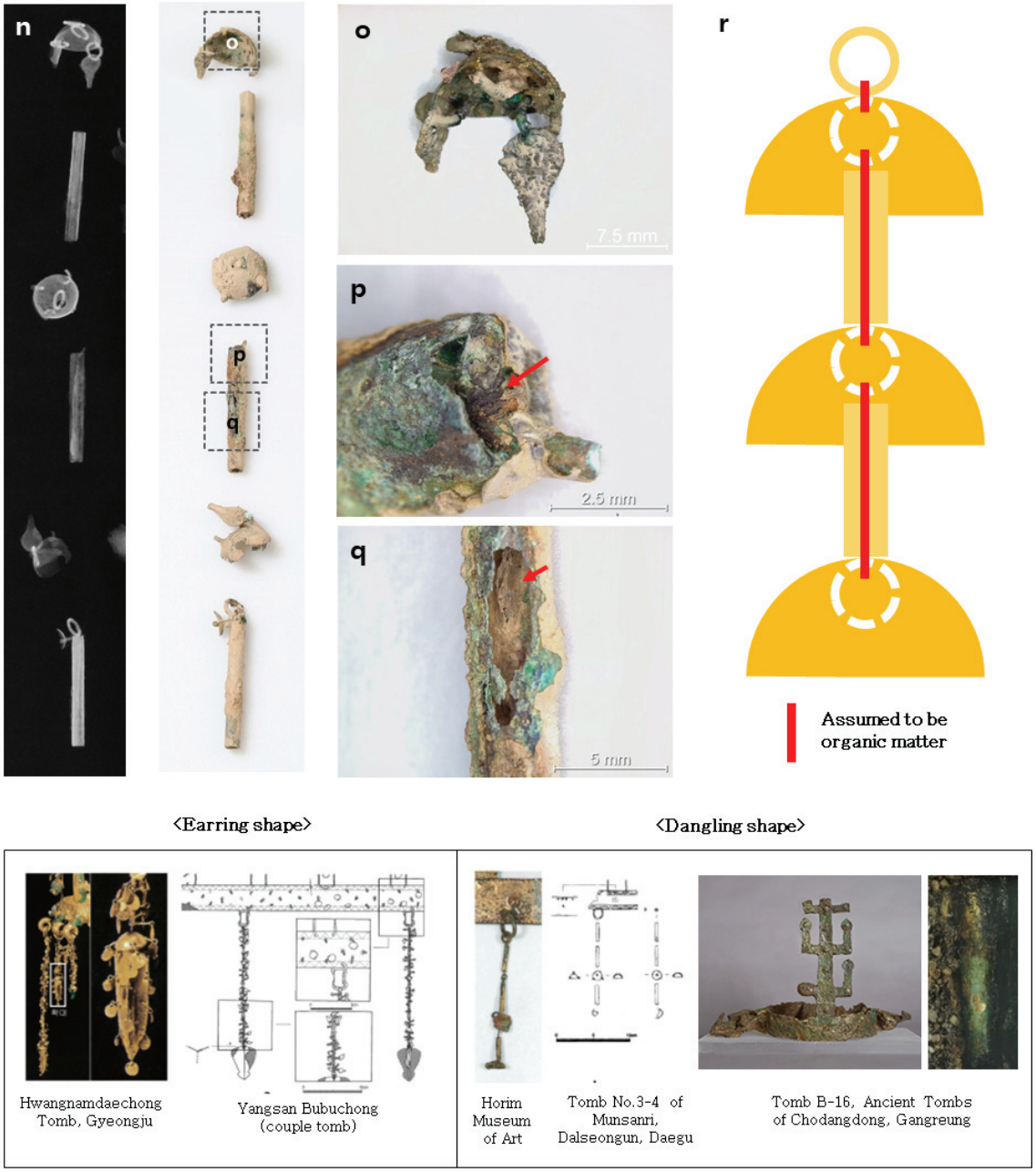

Figure 7. Physical features-Surface of Hanging ornaments and its types(Yi, 2020, Chuncheon National Museum, 2008); (n, o) Hanging ornaments, (p, q) Organic matter inside hanging ornaments, (r) Linking method).

금속편이 결실된 부분에서 유기질 끈이 확인되었다 (Figure 7-p, q). 또한 다른 관 수식 편의 현미경 관찰을 통해서도 원형 고리에서 꼬임이 있는 유기물을 확인할 수 있었다. Figure 7-r 의 모식도 내 적색 선의 표기와 같이 관 수식의 연결 방식은 유기물로 추정된다. Figure 5-i 에서 확인되는 바와 같이 금동관과 관 수식의 연결방식 및 관테를 머리에 고정하기 위한 방식 또한 주변에서 금속 고리가 따로 확인 되는 않는 점과 Figure 5-i의 구멍의 크기가 약 2.5 mm 인 점을 고려하면 이 또한 유기물을 이용해 금동관과 관 수식을 연결한 것으로 추정되나 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

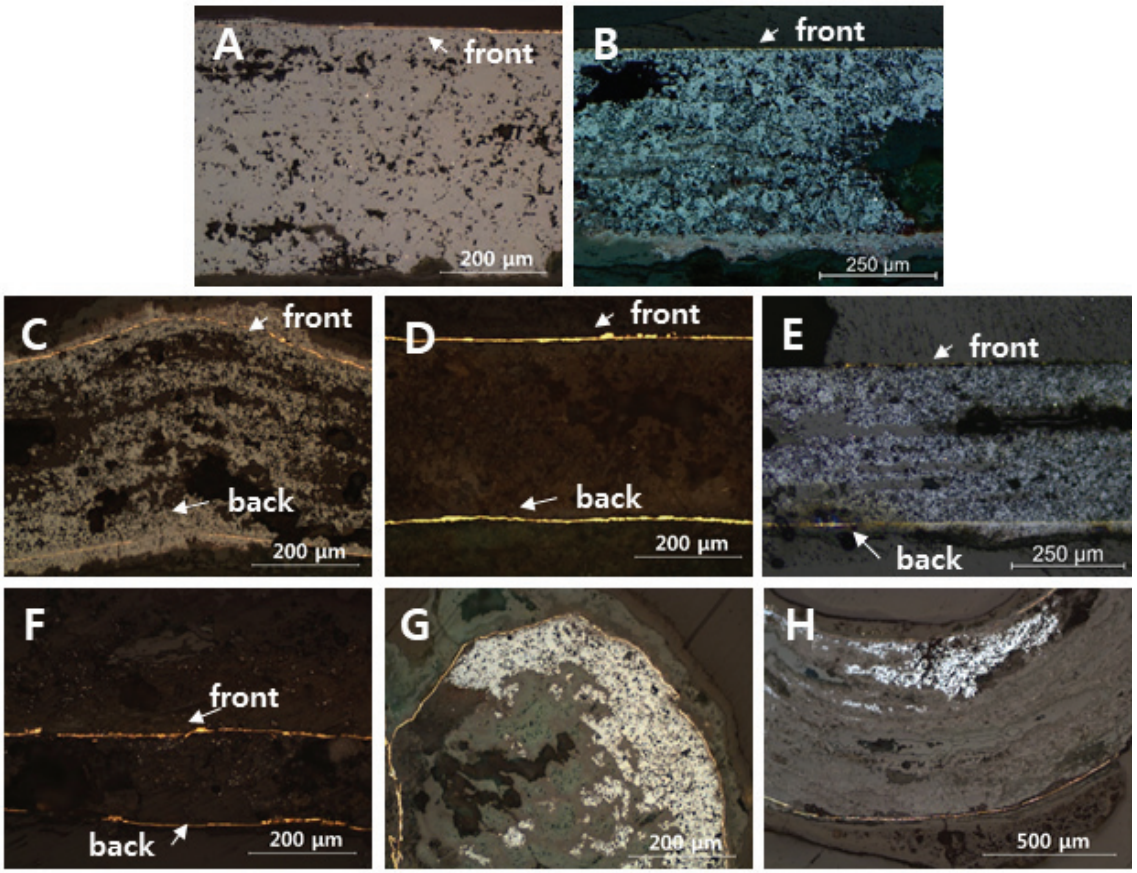

Figure 8. Cross-section image of optical microscope; (A, B) Head band, (C, D) Left of Uprights, (E) Middle of Uprights, (F) Spangle, (G, H) Spangle ring.

3.2. 재질 특성

관테, 세움장식, 영락 및 영락을 걸어주기 위한 고리 중 채취한 시료의 현미경 사진은 Figure 8과 같다. 전체적으로 바탕 금속은 남아있지 않으며 관테와 세움 장식의 비금속 개재물은 좌우로 길게 늘어진 형태로 관찰되어 얇은 판을 제작하기 위해 좌우로 늘려주는 처리를 한 것으로 판단된다. 도금층의 두께는 관테 0.4~0.8 μm, 세움장식 0.5~3.4 μm, 달개 2.6~3.6 μm, 달개 고리는 1.9 μm로 확인된다.

채취한 시편의 단면 성분 분석 결과, 바탕 금속은 모두 부식되어 O(산소), Cu(구리)가 주성분으로 검출된다(Figure 9). 바탕 금속에서 백색의 Pb(납) 입자가 확인되는데 영역 분석 결과 1 wt.% 이내로 미량 검출되는 것으로 보아 인위적으로 합금한 것이 아닌 구리 광석 내 포함된 불순물인 것으로 판단된다. 바탕 금속은 모두 부식되어 정확한 함량 분석이 어려우나 부식물 분석을 통해 구리 산화물이 99 wt.% 이상으로 검출되는 것으로 보아 인위적 합금을 하지 않은 구리를 이용한 것으로 추정된다. 바탕 금속이 주석, 납 등을 이용하여 합금된 경우 경도가 올라가 제작자가 투조나 시문 등 가공 작업을 어렵게 하기 때문에(Moon, 2004) 합금하지 않은 구리의 사용은 표면 점열문, 원형타출, 영락을 달기 위한 투공 등 가공 및 세공 작업을 쉽고 정밀하게 할 수 있다.

표면 도금은 관테의 경우 한쪽 면만 도금한 것이 확인되며 세움 장식과 영락은 양면 도금한 것으로 관찰된다. 또한 영락 고리는 고리 가장자리 전면이 도금된 것을 알 수 있다. 도금층에서는 Au(금), Ag(은), Cu(구리), Hg(수은)이 주성분으로 검출된다. Hg(수은)의 검출을 통해 수은아말감 도금법을 이용하여 Au(금), Ag(은)을 도금한 것을 알 수 있다.

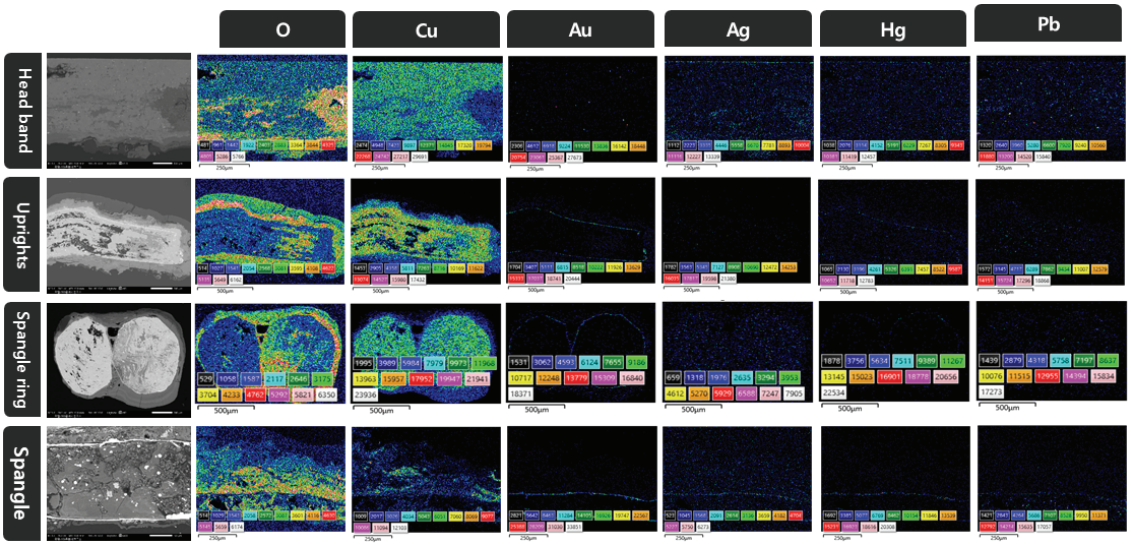

Figure 9. Cross section SEM image and map of EDS analysis.

Table 2. EDS analysis results of Gilt-Copper Crown surface

Analysis Position	Parts	Front/ Back	Color	Ave./ Std.	Gilt-layer composition(wt.%)				Au:Ag*	
					Au	Ag	Cu	Hg	Au	Ag
1	Head band	Front	Red ↑	Ave.	63.7	3.1	27.2	6.0	94.4	5.6
				Std.	1.5	0.52	1.6	0.37	*0.84*	*0.84*
2	Head band	Front	Red ↑	Ave.	62.7	1.4	30.1	5.8	97.3	2.7
				Std.	2.2	0.13	2.05	0.33	*0.37*	*0.37*
3	Head band	Front	Red ↑	Ave.	66.3	1.8	26.4	5.6	96.8	3.2
				Std.	2.0	0.15	1.31	0.82	*0.39*	*0.39*
4	Head band	Front	Yellow ↑	Ave.	63.7	10.4	16.0	9.9	84.6	15.4
				Std.	3.2	0.48	3.7	0.53	*1.0*	*1.0*
5	Head band	Front	Yellow ↑	Ave.	75.6	5.4	7.7	11.3	93.0	7.0
				Std.	1.4	0.85	1.2	0.37	*1.1*	*1.1*
6	Head band	Front	Yellow ↑	Ave.	70.3	5.5	12.2	12.1	95.1	4.9
				Std.	2.4	0.84	2.7	0.79	*0.41*	*0.41*
7	Head band	Front	Red ↑	Ave.	66.0	2.8	25.1	6.1	92.2	7.8
				Std.	1.0	0.26	1.2	0.28	*1.3*	*1.3*
8	Head band	Front	Red ↑	Ave.	66.6	1.7	26.3	5.4	97.0	3.0
				Std.	1.9	0.17	2.1	0.32	*0.19*	*0.19*
9	Head band	Front	Red ↑	Ave.	69.9	1.9	22.2	5.9	96.9	3.1
				Std.	0.58	0.60	2.1	1.2	*0.89*	*0.89*
10	Head band	Front	Yellow ↑	Ave.	69.4	2.9	19.2	8.6	95.5	4.5
				Std.	0.91	0.53	0.90	1.1	*1.6*	*1.6*
11	Head band	Front	Red ↑	Ave.	63.0	3.9	26.2	6.8	92.9	7.1
				Std.	2.1	1.0	0.79	0.80	*2.0*	*2.0*

Analysis Position	Parts	Front/ Back	Color	Ave./ Std.	Gilt-layer composition(wt.%)				Au:Ag*	
					Au	Ag	Cu	Hg	Au	Ag
12	Head band	Front	Red ↑	Ave.	62.0	1.8	29.6	6.6	96.6	3.4
				Std.	2.4	0.40	2.8	0.40	*0.55*	*0.55*
13	Head band	Front	Yellow ↑	Ave.	69.4	2.4	20.8	7.5	93.7	6.3
				Std.	1.9	1.4	6.1	3.4	*2.3*	*2.3*
14	Uprights1	Front	Yellow ↑	Ave.	69.7	6.0	13.2	11.2	91.5	8.6
				Std.	*1.3*	*1.5*	*1.8*	*1.6*	*1.9*	*1.9*
15	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	70.7	2.2	19.9	7.2	96.6	3.4
				Std.	*0.87*	*0.17*	*1.3*	*0.74*	*0.32*	*0.32*
16	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	72.0	3.2	14.8	10.0	95.3	4.7
				Std.	*0.51*	*0.66*	*1.4*	*0.76*	*0.90*	*0.90*
17	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	73.8	1.9	13.1	11.2	97.4	2.7
				Std.	*2.2*	*0.51*	*3.4*	*2.2*	*0.88*	*0.88*
18	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	75.7	2.6	6.5	15.3	96.7	3.3
				Std.	*1.4*	*0.21*	*2.9*	*2.0*	*0.28*	*0.28*
19	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	72.6	2.2	12.6	12.7	97.0	3.0
				Std.	*0.92*	*0.83*	*6.1*	*4.7*	*1.1*	*1.1*
		Back	Red ↑	Ave.	62.1	1.7	30.0	6.2	96.7	3.3
				Std.	*3.9*	*0.38*	*3.9*	*0.63*	*0.48*	*0.48*
20	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	75.0	2.8	8.6	13.7	96.3	3.7
				Std.	*0.80*	*0.22*	*0.99*	*1.04*	*0.33*	*0.33*
21	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	76.3	2.2	8.9	12.7	97.1	2.9
				Std.	*0.63*	*0.11*	*0.5*	*0.33*	*0.13*	*0.13*
22	Uprights1	Front	Red ↑	Ave.	67.4	0.76	24.1	7.7	98.7	1.3
				Std.	*4.8*	*0.27*	*5.2*	*0.66*	*0.49*	*0.49*
23	Uprights1	Front	Yellow ↑	Ave.	69.0	8.1	7.9	15.0	89.0	11.0
				Std.	*1.0*	*0.79*	*0.74*	*0.90*	*1.1*	*1.1*
		Back	Red ↑	Ave.	66.7	2.0	26.3	5.0	96.5	3.5
				Std.	*1.5*	*0.21*	*1.5*	*0.53*	*0.35*	*0.35*
24	Uprights1	Front	Yellow ↑	Ave.	74.8	6.4	7.3	11.6	91.8	8.2
				Std.	*1.2*	*0.73*	*1.3*	*0.70*	*0.97*	*0.97*
25	Uprights1	Front	Yellow ↑	Ave.	73.0	9.8	4.3	12.9	87.9	12.1
				Std.	*2.3*	*1.4*	*0.83*	*1.1*	*1.8*	*1.8*
26	Uprights1	Front	Yellow ↑	Ave.	75.4	3.7	10.1	10.8	95.0	5.0
				Std.	*4.2*	*1.6*	*6.1*	*2.5*	*2.5*	*2.5*
27	Uprights2	Front	Red ↑	Ave.	66.8	3.3	22.7	7.2	94.6	5.4
				Std.	*1.1*	*1.6*	*2.9*	*1.7*	*2.5*	*2.5*
28	Uprights2	Front	Yellow ↑	Ave.	70.0	7.4	10.6	12.0	89.8	10.2
				Std.	*0.74*	*0.86*	*2.4*	*1.5*	*0.99*	*0.99*
		Back	Yellow ↑	Ave.	68.8	5.0	17.6	8.6	92.4	7.6
				Std.	*2.0*	*1.7*	*3.5*	*2.4*	*2.4*	*2.4*

Analysis Position	Parts	Front/ Back	Color	Ave./ Std.	Gilt-layer composition(wt.%)				Au:Ag*	
					Au	Ag	Cu	Hg	Au	Ag
29	Uprights2	Front	Yellow ↑	Ave.	70.0	4.8	18.3	7.0	92.8	7.3
				Std.	*1.1*	*0.55*	*0.91*	*0.37*	*0.85*	*0.85*
		Back	Yellow ↑	Ave.	66.8	5.8	20.3	7.1	90.8	9.2
				Std.	*3.2*	*0.88*	*3.3*	*0.85*	*1.5*	*1.5*
30	Uprights2	Front	Yellow ↑	Ave.	78.0	3.0	8.3	10.6	96.1	3.9
				Std.	*1.7*	*0.82*	*2.0*	*1.5*	*1.0*	*1.0*
31	Uprights2	Front	Yellow ↑	Ave.	75.1	6.5	7.8	10.7	91.6	8.4
				Std.	*0.47*	*0.34*	*0.60*	*0.41*	*0.43*	*0.43*
32	Uprights3	Front	Red ↑	Ave.	74.4	1.3	15.0	9.3	98.2	1.9
				Std.	*1.5*	*0.27*	*3.5*	*1.8*	*0.28*	*0.28*
33	Uprights3	Front	Red ↑	Ave.	70.8	1.1	22.9	5.2	98.2	1.8
				Std.	*2.4*	*0.44*	*3.9*	*1.7*	*0.76*	*0.76*
34	Uprights3	Front	Red ↑	Ave.	71.1	1.2	22.7	5.0	98.1	1.9
				Std.	*0.82*	*0.12*	*0.84*	*0.07*	*0.17*	*0.17*
35	Uprights3	Front	Red ↑	Ave.	71.7	0.91	20.8	6.6	98.6	1.4
				Std.	*2.1*	*0.11*	*3.5*	*1.5*	*0.26*	*0.26*
		Back	Red ↑	Ave.	61.8	1.7	31.4	5.2	92.1	7.9
				Std.	*5.6*	*0.21*	*6.2*	*0.66*	*10.4*	*10.4*
36	Uprights3	Front	Red ↑	Ave.	70.9	0.77	22.8	5.6	98.8	1.2
				Std.	*3.9*	*0.11*	*4.2*	*0.72*	*0.24*	*0.24*
37	Uprights3	Front	Red ↑	Ave.	69.4	0.79	24.8	5.0	98.7	1.3
				Std.	*1.8*	*0.10*	*2.3*	*0.98*	*0.17*	*0.17*
38	Uprights3	Front	Yellow ↑	Ave.	78.1	2.6	6.6	12.7	96.7	3.3
				Std.	*0.79*	*0.31*	*0.61*	*0.75*	*0.42*	*0.42*
39	Uprights3	Front	Yellow ↑	Ave.	74.8	5.2	9.4	10.6	93.1	6.9
				Std.	*3.1*	*2.6*	*2.2*	*1.1*	*3.6*	*3.6*
40	Uprights3	Front	Yellow ↑	Ave.	71.8	6.3	9.4	12.5	91.4	8.6
				Std.	*2.7*	*1.3*	*2.4*	*2.8*	*1.9*	*1.9*
41	Hanging Ornament	-	Yellow ↑	Ave.	66.7	5.3	20.3	7.7	96.8	3.2
				Std.	*4.2*	*3.2*	*5.9*	*3.2*	*0.59*	*0.59*
42	Hanging Ornament	-	Yellow ↑	Ave.	71.6	13.4	2.5	12.5	84.2	15.9
				Std.	*5.8*	*6.9*	*0.31*	*0.91*	*7.9*	*7.9*
43	Hanging Ornament	-	Yellow ↑	Ave.	75.3	8.2	3.4	13.1	90.1	9.9
				Std.	*1.3*	*1.4*	*0.40*	*1.1*	*1.6*	*1.6*
44	Spangle	Front	Red ↑	Ave.	67.1	1.5	25.3	6.2	97.5	2.5
				Std.	*2.3*	*0.21*	*1.5*	*1.1*	*0.39*	*0.39*
		Back	Red ↑	Ave.	55.2	0.90	38.7	5.2	98.0	2.1
				Std.	*7.5*	*0.31*	*8.3*	*0.65*	*0.53*	*0.53*

* The result of converting the Au and Ag components excluding Hg, Cu components into 100 wt.% in the Au:Ag alloy ration of the gilding layer

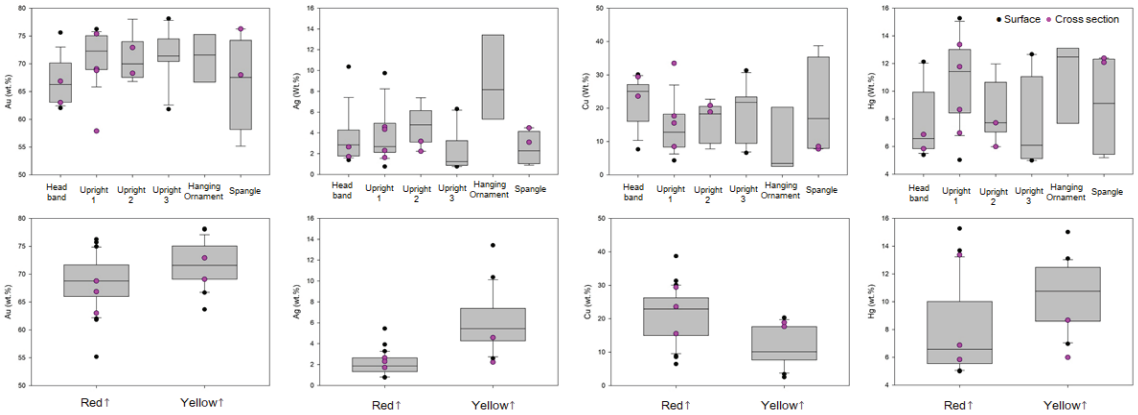

Figure 10. Distribution chart of Gilt-Copper Crown(parts, color).

도금층의 표면 색상 및 성분 분석결과는 Table 2에서 확인된다. 관테, 세움 장식1(좌측 가지), 세움 장식 2(중간 가지), 세움 장식 3(우측 가지), 관 수식, 영락 등의 부위에 금동관 표면 분석결과 관테는 Au(금) 67.0 wt.%, Ag(은) 3.6 wt.%, Cu(구리) 21.6 wt.%, Hg(수은) 7.8 wt.%, 좌측 세움 장식은 Au(금) 72.3 wt.%, Ag(은) 3.8 wt.%, Cu(구리) 12.6 wt.%, Hg(수은) 11.2 wt.%, 중간 세움장식 Au(금) 70.8 wt.%, Ag(은) 5.1 wt.%, Cu(구리) 15.8 wt.%, Hg(수은) 9.0

Table 3. EDS analysis results of Gilt-Copper Crown cross section

No.	Parts	Front/ Back	Color	Gilt-layer Thickness (μm)	Ave./ Std.	Gilt-layer composition(wt.%)				Au:Ag*		Base Metal	Trace element
						Au	Ag	Cu	Hg	Au	Ag		
A	Head band	Front	Red ↑	0.46	Ave.	66.9	2.7	23.6	6.9	95.6	4.4	Cu	Pb, As, Sb
					Std.	*2.4*	*2.5*	*3.8*	*3.2*	*3.2*	*3.2*		
B	Head band	Front	Red ↑	0.75	Ave.	63.0	1.7	29.4	5.8	96.7	3.3	Cu	P, S, As, Sb, Pb
					Std.	*2.2*	*0.57*	*1.9*	*0.83*	*1.1*	*1.1*		
C	Upright1	Front	Red ↑	1.3	Ave.	68.8	2.3	15.6	13.3	96.7	3.3	Cu	P, As, Sb, Pb
					Std.	*1.6*	*0.41*	*2.3*	*1.7*	*0.89*	*0.89*		
		Back	?	0.52	Ave.	57.9	1.6	33.5	7.0	96.6	3.4		
					Std.	*2.6*	*0.97*	*2.8*	*0.77*	*1.9*	*1.9*		
D	Upright1	Front	Yellow ↑	3.4	Ave.	69.1	4.6	17.7	8.7	92.9	7.1	Cu	Al, P, Cl, Ca, Fe, Sb, Pb
					Std.	*4.9*	*1.5*	*6.2*	*2.3*	*2.5*	*2.49*		
		Back	?	2.2	Ave.	75.4	4.3	8.5	11.8	94.3	5.7		
					Std.	*2.0*	*1.1*	*2.6*	*0.81*	*1.4*	*1.4*		
E	Upright2	Front	Yellow ↑	2.5	Ave.	72.9	2.2	18.9	6.0	96.6	3.4	Cu	Pb
					Std.	*1.4*	*0.52*	*1.7*	*0.69*	*0.78*	*0.78*		
		Back	?	2.2	Ave.	68.3	3.2	20.8	7.7	94.9	5.1		
					Std.	*2.1*	*0.89*	*3.0*	*0.94*	*1.3*	*1.3*		
F	Spangle	Front	?	3.6	Ave.	68.3	3.2	20.8	7.7	95.9	4.1	Cu	As, Sn, Sb, Pb
					Std.	*2.1*	*0.89*	*3.0*	*0.94*	*0.56*	*0.56*		
		Back	?	2.6	Ave.	68.0	4.5	7.8	12.4	92.3	7.7		
					Std.	*20.4*	*2.5*	*2.6*	*3.8*	*3.3*	*3.3*		
G	Spangle ring	-	?	1.9	Ave.	64.5	2.1	28.5	4.9	96.4	3.7	Cu	Sb, Pb, Sn, Cl
					Std.	*4.3*	*0.82*	*4.8*	*0.51*	*1.7*	*1.7*		
H	Spangle ring	-	?	1.9	Ave.	64.4	4.0	22.9	8.8	93.2	6.9	Cu	P, Si, Al, Sb, Cl, Ca, Pb
					Std.	*5.0*	*0.89*	*4.5*	*3.2*	*1.6*	*1.6*		

* The result of converting the Au and Ag components excluding Hg, Cu components into 100 wt.% in the Au:Ag alloy ration of the gilding layer.

Table 4. Lead isotope abundance ratio of the Gilt-Copper Crown

No.	Sample name	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$
1	Head band A	18.156	15.619	38.570	0.8599	2.1226
2	Head band B	18.176	15.619	38.573	0.8595	2.1218
3	Upright C	18.175	15.619	38.576	0.8593	2.1212
4	Spangle ring G	18.008	15.608	38.411	0.8664	2.1313
5	Spangle ring H	18.003	15.598	38.374	0.8662	2.1300

wt.%, 우측 세움장식 Au(금) 71.5 wt.%, Ag(은) 2.2 wt.%, Cu(구리) 18.6 wt.%, Hg(수은) 7.8 wt.% 로 확인되며, 관 수식 Au(금) 71.2 wt.%, Ag(은) 9.0 wt.%, Cu(구리) 8.8 wt.%, Hg(수은) 11.1 wt.%, 달개의 경우 Au(금) 61.1 wt.% Ag(은) 1.2 wt.%, Cu(구리) 32.0 wt.%, Hg(수은) 5.7 wt.%의 평균값을 갖는다.

금동관 부위별 성분 분포도를 보면 관 수식 및 영락을 제외하고 금동관의 관테, 세움 장식 3개의 가지에 따른 원소 분포 차이는 크게 확인되지 않는다(Figure 10). 채취한 시료의 성분 분석 결과는 Figure 3에서 확인된다. 이 중 관테 A와 B, 세움 장식 C는 표면 전면이 적색으로, 세움 장식 D와 E는 황색으로 관찰된다(Table 3). 성분 분석결과 적색으로 확인되는 부분은 표면 분석결과와 유사하게 Cu(구리)가 높게 검출되며 황색 부분은 Au(금), Ag(은), Hg(수은)가 높은 비율로 확인된다. 표면 분석결과와 시료 채취를 통한 단면 분석결과와 비교해 볼 때 세움 장식 C 후면을 제외하고는 대부분 표면 분석값과 비슷한 범위 및 경향성을 갖는 것으로 확인된다(Figure 10).

3.3. 산지 추정

창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관의 바탕 금속층으로 추정되는 구리 부식층에서 미량 검출된 납의 동위원소 분석결과는 Table 4와 같다. 관테, 세움 장식, 달개 고리 등 총 5점에 대한 납동위원소비는 $^{206}Pb/^{204}Pb$은 18.003~18.176, $^{207}Pb/^{204}Pb$은 15.598~15.619, $^{208}Pb/^{204}Pb$은 38.374~38.576, $^{207}Pb/^{206}Pb$은 0.8562~0.8599, $^{208}Pb/^{206}Pb$은 2.1212~2.1300으로 확인된다. 한반도 납동위원소비 분포도(Jeong and Cheong, 2019)에 납동위원소비를 적용한 결과, 금동관 편은 모두 지역적으로는 전라도, 충청도, 경상도 북부지역을 포함하는 Zone 3에 위치하는 것으로 확인된다(Figure 11).

4. 고 찰

창녕 교동과 송현동 고분군 63호분에서 출토된 금동관은 합금하지 않은 구리를 사용하여 약 0.4~0.6 mm 두께의 얇은 판을 만든 뒤 표면에 수은아말감 도금법을 이용하여 0.4~4 μm의 두께로 금과 은을 합금하여 도금했다.

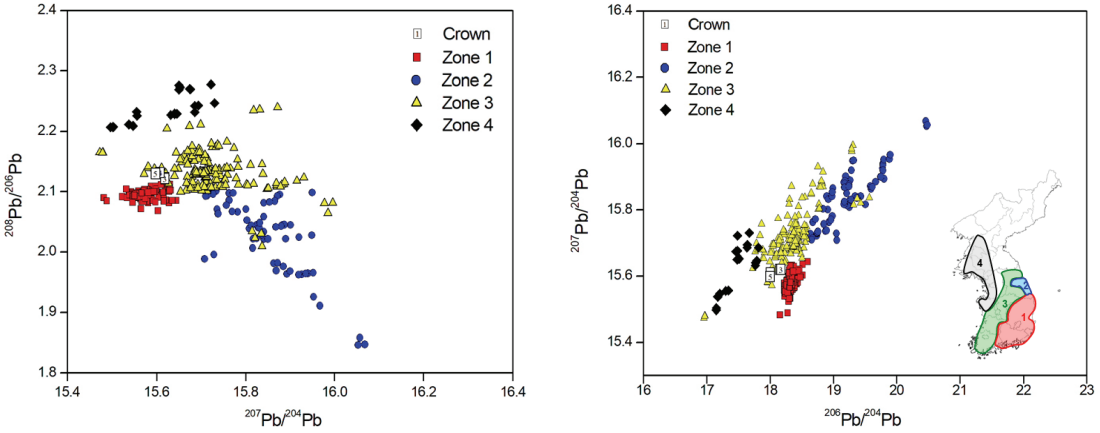

Figure 11. Comparison of lead isotope results($^{206}Pb/^{204}Pb$ vs $^{207}Pb/^{204}Pb$ and $^{207}Pb/^{204}Pb$ vs $^{208}Pb/^{206}Pb$) of the Gilt-Copper Crown.

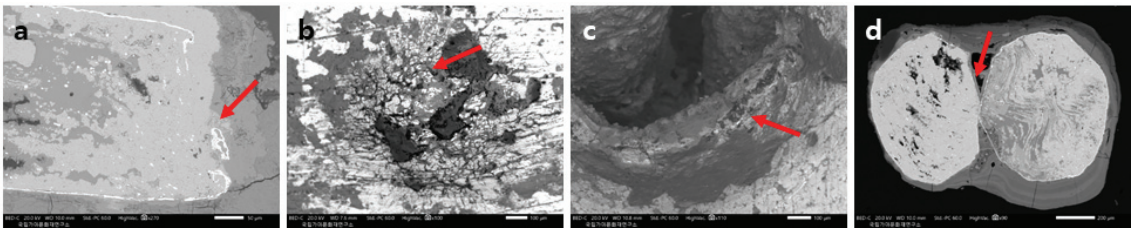

Figure 12. Process of gilding on the Gilt-copper crown.

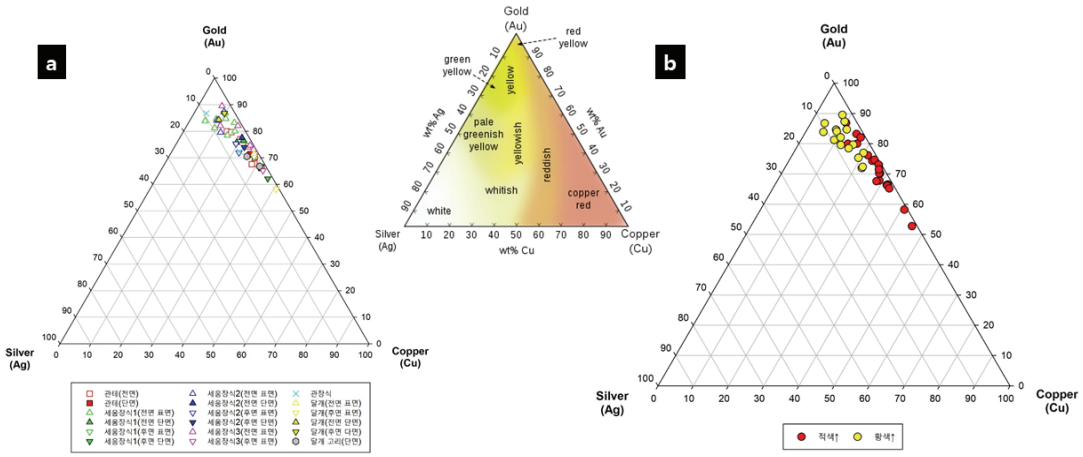

Figure 13. Gold-silver-copper ternary diagram(Metallos, 2009); (a) Parts, (b) Color.

세움 장식 가장자리에서 도금층이 확인되는 것으로 보아 구리 판재를 제작한 뒤 도금한 것으로 판단된다(Figure 12a). 또한 점열문 상부 도금층 표면에 균열이 발생한 것을 통해 도금 후 점열문 작업을 진행한 것을 알 수 있다(Figure 12b). 달개를 달기 위한 구멍을 뚫기 위해 가한 힘의 방향으로 도금층이 휘어진 것이 확인되며 이곳에서도 도금층이 확인되어 도금을 진행 한 뒤 구멍을 뚫는 작업을 했을 것으로 판단된다(Figure 12c). 달개 장식을 위한 고리의 꼬임 내부에서 도금층이 확인되는 것으로 보아 도금을 한 뒤 달개 고리를 꼬았던 것으로 확인된다(Figure 12d). 결과적으로 도금이 완료된 후 금동관 표면 장식 및 장식물을 달았던 것으로 판단된다.

금동관 표면 도금층에서는 일부 색상이 균일하지 않은 부분이 확인되는데 색상의 차이에 따라 성분 차이도 발생하는 것을 알 수 있다. Figure 13의 Au(금), Ag(은), Cu(구리) 상태도에 분포하는 바와 같이 비교적 적색으로 확인되는 부분은 오른쪽으로 치우쳐 있으며 이는 Cu(구리)의 영향에 의한 것으로 판단된다. 비교적 황색으로 확인되는 부분은 좌측으로 치우쳐 있으며 Au(금) 함량과 관련이 있음이 확인된다. 하지만 각 금동관 부분에 따라 도금 함량을 달리한 것으로는 생각되지 않는다.

일부 채취한 도금층 시료 단면의 원소별 선분석결과는 Figure 14와 같다. 도금 층위에 따라 구리 양이 변화하는 것을 확인할 수 있는데 도금층 내부로 이동할수록 구리 함량이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 도금 공정 또는 도금 후의 열처리 과정에서 Cu(구리) 원소의 직접적인 도금층으로의 확산에 의한 것으로 판단된다(Jeon *et al*., 2010). 결과적으로 적색의 도금층 표면에 영향을 미치는 원소는 Cu(구리)이며 이는 인위적인 첨가보다는 도금 당시 열처리 과정에서 Cu(구리)의 확산을 통해 도금층에서 검출된 것으로 판단된다. 또한 적색으로 확인되는 도금층의 두께가 0.52~1.32 ㎛로 비교적 얇으며(Figure 14A) 황색으로 확인되는 도금층의 두께가 2.2~3.4 ㎛로 비교적 두꺼운 것(Figure 14D)으로 확인된다. 이는 도금층이 얇은 곳에서는 도금층과 바탕 금속 간의 활발한 원소 교환으로 인하여 표면의 구리 함량이 높아져 적색을 띠게 되며, 도금층이 두꺼운 곳에서는 바탕금속과 도금층 간 확산이 제한되어 상대적으로 도금층 원래의 금함량이 거의 그대로 유지되어 황색을 띠게 된다(Jeon *et al*., 2010). 이 때문에 상대적으로 도금층이 두꺼운 곳에서는 도금 당시 Cu(구리) 확산이 덜 일어나 Au(금)의 함량이 보다 높게 검출되어 황색이 나타나는 것으로 판단된다. 또한 도금층의 붉

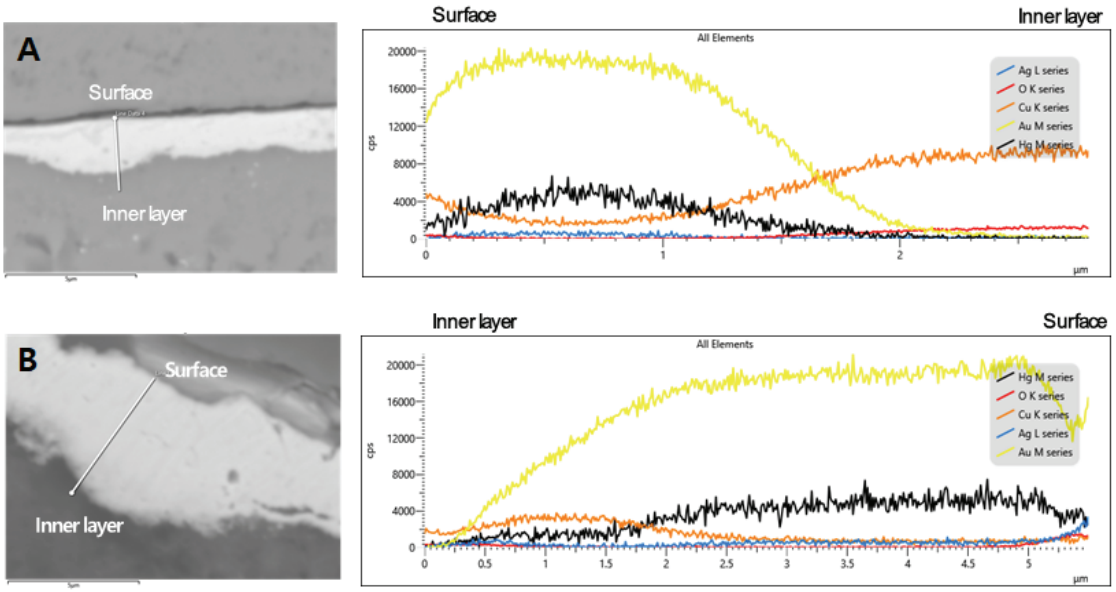

Figure 14. line of EDS analysis result of gild layer from the Gilt-Copper Crown; (A) Head band, (B) Upright.

은 표면색에 대한 원인을 파악하고자 한 수은아말감법을 이용한 표면 금도금 실험 재현 결과 온도, 열처리 시간이 많을수록 Cu(구리)의 비율이 기존보다 높아지는 반면에, Au(금)의 비율은 낮아지는 것이 확인된다. Hg(수은)의 경우 온도, 열처리 시간이 길수록 도금층 내부까지 잔존하지 않는 것으로 확인되며 Ag(은)의 경우 통일성 있는 경향성이 확인되지 않는다(Yang and kim, 2010). 이를 통해 Figure 14에서 확인되는 63호분 출토 금동관의 선분석 결과와 유사한 경향성이 확인되며, Au(금), Hg(수은)은 표면으로 갈수록 증가하는 동일한 경향성을 갖으며, Cu(구리)는 그 반대의 경향성을 갖는다. Ag(은)의 경우 도금층 내부, 외부의 경향성을 갖지 않는다.

선행 연구 결과에서 확인되는 도금층 두께 대한 분석 결과와 비교해 볼 때 서산 부장리 백제 금동관모(Chung *et al*., 2006)의 경우 도금층의 두께는 2.8~4.5 ㎛로 확인되며, 황남대총 남분 출토 신라 금동관, 금동관모(Gang, 1993; Moon, 2004)는 2~9 ㎛, 합천 옥전 고분군 23호분 출토 가야 금동관(Gang, 1993)은 10~12 ㎛으로 확인된다. 이를 통해 볼 때 창녕 교동과 송현동 63호분 출토 금동관의 도금층 두께는 0.4~4 ㎛로 상대적으로 두께가 얇은 것으로 확인된다. 도금층 재현실험 결과 1회에 비해 2회, 3회의 반복 도금 작업을 통해 도금층이 더 두껍고 치밀한 도금층이 만들어지는 것이 확인된다(Moon, 2004). 결국 도금층의 두께는 도금의 횟수와 관련 있는 것으로 추정되며 교동과 송현동 63호분 출토 금동관은 도금 횟수를 줄여 금을 절약하려고 한 것으로 판단된다.

금동관 바탕 금속의 구리 원소가 도금층으로 확산됨에 따라 의도와는 다른 도금 함량이 표면에서 확인된다. Cu(구리), Hg(수은)를 제외한 Au(금), Ag(은)을 100 wt.%로 환산한 결과(Table 2-3, Figure 15) 창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관은 약 84~98 wt.% 이상 포함된 Au(금)을 사용하여 표면을 도금한 것으로 판단된다. 동일 시기, 다른 유적에서 출토된 금동관 및 금동관모의 Au(금), Ag(은) 합금비와 비교 분석한 결과를 Figure 15에 정리했다. 황남대총 남분 출토 금동관 및 금동관모(Kang, 1993; Moon, 2004)의 Au(금) 함량은 93~98 wt.%로 확인되며, 공주 수촌리 1호분, 공주 수촌리 4호분 금동관모, 천안 용원리 9호분 출토 금동관모, 익산 입점리 1호분 출토 금동관, 서산 부장리 5호분 출토 금동관모, 나주 신촌리 9호분 출토 금동관 및 금동관모는 Au(금)의 비율이 93~99 wt.%로 확인된다(Kim *et al*., 2011). 합천 옥전 23호분 출토 금동관은 Au(금) 함량이 91~99 wt.%로 확인되며(Kang, 1993; Kim *et al*., 2011), 창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관의 경우 84~98 wt.%로 Au(금) 함량의 범위가 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 여기서 확인되는 Au(금), Ag(은)의 차이는 인위적인 합금에 의한 것 보다는 금의 제련 및 정련도의 차이에서 기인된 결과로 판단된다(Kim *et al*., 2011). 결과적으로 창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관을 제작한 공인 집단은 금을 고도로 정련할 수 있는 기술 및 도금 후 열처리 기술을 갖지 못한 것으로 추정된다.

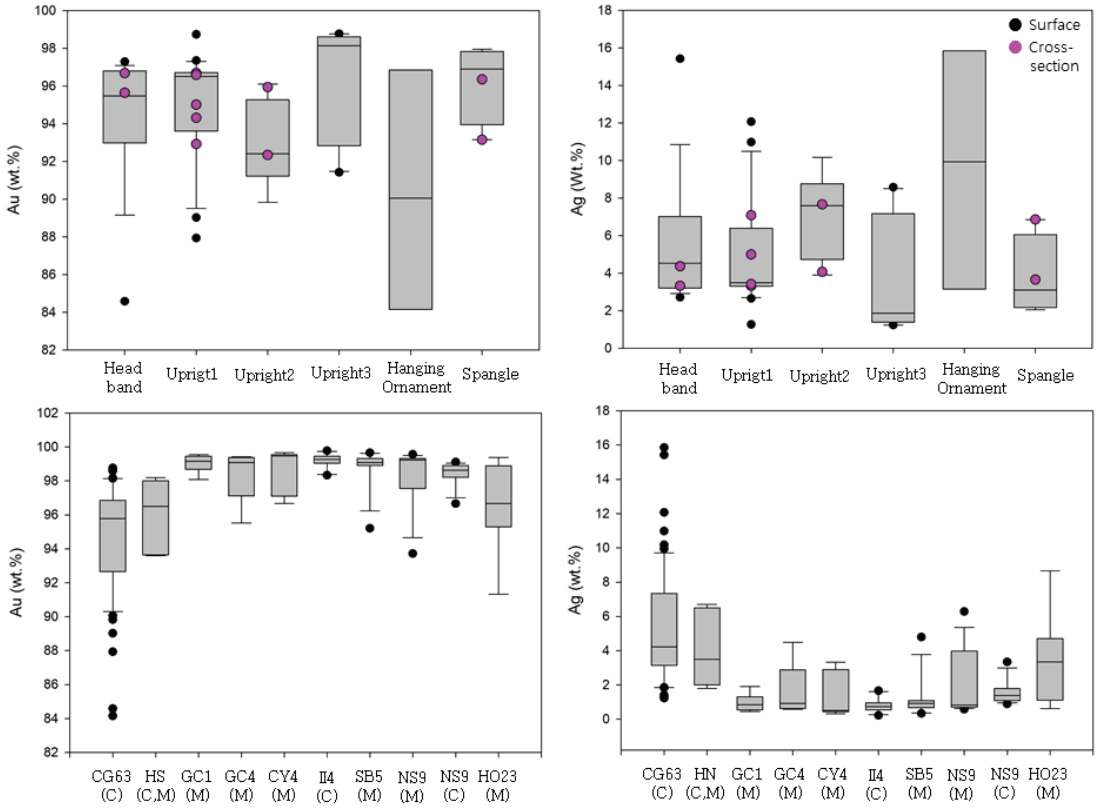

Figure 15. Au, Ag ratio of the Gilt-Copper Crown from Gyodong/ Songhyeondong Tomb No. 63 and other sites; (CG) Changnyeong Gyodong and songhyeondong, (HS) South mond of Hwangnamdaechong, (GC) Gongju Suchonri, (CY) Cheonan Yongwonri, (II) Iksan Ipjeomri, (SB) Seonsan Bujangri, (NS) Naju Sinchonri, (HO) Hapcheon Okjeon, (C) Gilt-Bronze Crown, (M) Gilt-Bronze Cap.

창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관의 납동위원소 분석 결과를 통해 제작에 사용된 구리 원광석 산지를 확인할 수 있다. 구리 광산 근처에는 납 광산이 함께 존재하는 경우가 많기 때문에 구리를 채굴할 당시 근처에 납 광산이 존재할 가능성이 있다. 따라서 의도하지 않아도 납은 구리와 함께 포함되어 들어갔을 것으로 생각된다. 그렇기 때문에 납동위원소비는 구리 산지를 대변할 수 있다(Hirao, 2001). 출토 금동관 파편 5점의 납동위원소비는 전라도, 충청도, 경상도 북부지역을 포함하는 Zone 3에 위치하여 출토지인 창녕과는 거리가 있는 지역의 원료를 사용하였던 것으로 판단된다. 원료가 혼합되거나 재활용된 경우 역시 납동위원소비가 zone 3에 위치한다. 기존 연구자료(Kim, 2015)에 의하면 초기철기시대에서 조선시대로 시대가 변화할수록 zone 1에서 zone 4까지 넓게 분포하던 납동위원소비 범위가 특정 지역(zone 3)으로 좁아짐을 알 수 있다. 원료가 혼합되면 납동위원소비가 중간값으로 수렴되기 때문에 zone 3에 위치하게 된다. 하지만 5~6세기의 삼국시대의 경우 납동위원소비가 넓게 분포되어 원료 혼합의 가능성보다는 원료 산지를 대변하는 것으로 해석하는 것이 바람직하다 생각된다.

창녕 교동과 송현동 고분군 63호분 출토 금동관은 신라의 관과 형태적으로 유사하나 입식의 형태를 간소화하여 변형시킨 형태로(Park and Lee, 2010) 신라에서 일괄 제작하여 지방에 분배하였을 가능성도 있지만 신라 금동관인 황남대총 남분 출토품에 비해 도금층이 얇은 점, 도금층이 일정하지 않으며 도금 후 열처리도 균일하게 처리할 수 있는 공인 집단이 아닌 것으로 추정되는 것으로 보아 타 지역에서 원료를 공급받아 창녕지역에서 제작하였을 가능성을 배제할 수 없다. 이는 추후 신라 금동관과의 정확한 비교분석이 실시된다면 더 유의미한 결과가 나올 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

창녕 교동과 송현동 고분군 63호분에서 출토된 금동관의 제작 기법과 원료 산지에 대한 연구결과는 다음과 같다.

1. 금동관은 관테에 '출'자형 세움 장식이 3개 있으며 각각 3개의 못을 사용하여 관테와 장식을 연결하였다. 관테 및 세움 장식의 가장자리에서 점열문이 타출되어 있음을 확인할 수 있으며 각각의 세움 장식은 꽃봉오리 모양으로 제작했다. 관테와 세움 장식에는 원형의 영락 장식이 달려있으며 영락을 달기 위한 원형 타출이 총 58개가 확인되는 것으로 보아 58개의 영락이 장식된 것으로 판단된다. 관테 하단에 확인되는 1쌍의 수식은 반구형과 기다란 원통형 장식을 교차로 연결했으며 연결에는 유기물을 사용한 것으로 추정된다.
2. 금동관의 제작은 다음 순서와 같다. 얇은 판재를 만든 후 관테 및 세움 장식 모양으로 절단했다. 관테는 단면, 세움 장식은 양면을 도금했으며 도금된 금동관 가장자리에 점열문을 시문하고 영락을 장식했다. 관테와 세움 장식은 각 3개의 고정못을 이용해 조립했다.
3. 금동관은 합금하지 않은 Cu(구리)로 제작되었으며 Au(금)와 Ag(은)의 합금을 수은아말감법으로 도금했다. 세움 장식, 달개 및 달개를 다는 고리는 전면 도금 했으며 관테는 한쪽 면만 도금하여 육안으로 관찰되는 부분을 중요하게 생각하여 제작한 것으로 판단된다.
4. 도금층에서 확인되는 색상 차이는 도금 당시 소지 금속 Cu(구리) 확산에 의한 것으로 추정되며 도금층의 두께는 균일하지 못하다. 이는 제작 당시 도금 횟수 차이 및 열처리 조절이 잘 되지 않은 것으로 추정된다.
5. 납동위원소비 분석 결과 금동관의 원료 광석은 한반도 납동위원소 분포도의 Zone 3에 위치하여 전라도, 충청도, 경상도 북부지역을 포함하는 산지의 구리 광석을 사용한 것으로 판단된다.
6. 본 분석 결과를 통해 금동관 제작 공인 집단을 파악할 수 있을 것으로 판단되며, 추후 신라 금동관과의 정확한 비교분석이 실시된다면 더 유의미한 결과가 나올 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 문화재청 국립문화재연구원 국립가야문화재연구소 문화유산조사연구(R&D) 사업의 지원을 받아 이루어졌으며, 2021 추계 보존과학회, 2022년 동아시아 고고학회에서 발표한 내용을 수정 및 보완하였다.

REFERENCES

Chuncheon National Museum, 2008, Chuncheon Natioanl Muserum special exhibition: Symbolize power, Crown-from Gyeongju to Gangwon.

Chung, K.Y., Lee, S.H. and Kim, G.T., 2006, Manufacturing Techniques of a Backje Gilt-Bronze Cat from Bujang-ri Site in Seo san, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 39, 243-280.

Gang, D.I., 1993, Analysis of Gilted artifacts from South Korea, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 26, 172-210.

Gaya National Research Institute of Cultural Heritage, 2011, Tumuli in Gyodong and Songhyeondong, Changnyeong-Excavation Research Report from Tomb No.6・7 Ⅰ, Gaya National Research Institute of Cultural Heritage, 8-20.

Gaya National Research Institute of Cultural Heritage, 2021, Research result repot of Studies on Gaya tumuli and artefacts, Gaya National Research Institute of Cultural Heritage.

Gyeongju Natioanl Museum, 2001, 新羅黃金 - A mysterious land of gold, Citypartner, Gyeongju, 21.

Hirao Y., 2001, The eyes of science to study cultural properties, Hakyounmunhwasa, 60-61.

Jeong, Y.J. and Cheong C.S., 2019, Lead isotope mapping of galena from base metal deposits in the southern Korean Peninsula, Geoscience Journal, 23(2), 235-252.

Jeon I.H., Lee J.S. and Park J.S., 2010, A Study on Elemental Diffusion in Gilded Artifacts, Journal of Conservation Science, 26(2), pp.109-120.

Kim, J.Y., 2009, Anlaysis and study on Gilt-Bronze Crown Excavated from Tomb No. 6, Naksanri, Waegwan, Research Study of Cultural Heritage, 1, 111-127.

Kim, J.Y., 2020, Comparison of Gaya and Silla Crown, 2020 Gimhae Natioanl Museum Gaya Academic Festival comparison on gilt-bronze crown from The era of the three kingdom, Gimhae National Museum, Bokcheon Museum, 7-28.

Kim, S.G., Choi G.E., Lee, J.H., 2011, Material Characteristics of Backje Gilt Bronzed Caps by Non-destructive Analysis, Baekje Crown, Gongju National Museum, 132-141.

Lee, J.G,, 2019, Curator's Pick: Gaya Gilt-Bronze Crown. https://www.museum.go.kr/site/main/relic/recommend/view?relicRecommendId=16886(July 5, 2021)

Metallos, 2009, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ag-Au-Cu-colours-english.svg

Moon, W.S., 2004, A Scientific Technological Study on

Metallic Craft and Art of Ancient Korea-Gilding and Granulation Techniques, Chung-ang University

Paton, C., Woodhead, J.D., Hellstrom, J.C., Hergt, J.M., Greig, A. and Maas, R., 2010, Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. Geochemistry Geophysics Geosystems 11, Q0AA06.

Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J. and Hergt, J., 2011, Iolite: freeware for the visualization and processing of mass spectrometric data. Journal of Analytical Atomic Spectrometry 26, 2508-2518.

Park, H.J. and Lee, H.G., 2010, A Study on Golden Crowns During the Period of Three Kingdoms, Journal of the Korean Society of Design Culture, 16(4), 284-295.

Kim, S.J., Han W.R., Hwang J.J., Jeong Y.J. and Han M.S., 2015, Lead Isotope Ratios characteristics of excavated Bronzes from Korea peninsula, Conservation Science 36, 4-10.

Shin, Y.B., Yu, H.S. and Yun, E.Y., 2015, A Scientific Analysis of Gold Crowns in SIlla, Conservation Science in Museum, 16, 46-55.

Yang S.W. and Kim S.K., 2012, A study on the Surface Phenomena of Re-creational Gilt Layer by Conditions of Heat Treatment, Journal of Conservation Science, 28(1), 29-37.

Yi, G.Y., 2020, The Original Form and Meaning of the Gilt Bronzed Crown in Naju Bogam-ri Jongchon tumbs(NBJ), Munhwajae, 53(3), 202-223.