

비파괴 분석법에 의한 백제 금동관 재질 특성 연구

Study of Material Features of Baekje Gilt-bronze Crowns

김성곤

국립공주박물관

Kim Seonggon

Gongju National Museum

요약

본 연구는 천안, 공주, 서산, 익산, 나주, 합천에서 출토된 금동관 7점을 중심으로 비파괴 분석법을 활용하여 재질 특성을 조사하였다. 금동관은 고깔 모양의 모관을 기본으로 하며, 전·후입식, 대롱, 수발, 영락 등의 장식을 가감하여 부착된다. 문양은 용문, 봉황문, 초화문, 타출문 등을 조금기법, 투조기법, 인각기법 등으로 시문하였다. 형태적 특징은 제작시기 및 출토 지역에 따라 차이를 보인다. 소지 금속은 순동과 소량의 납이 포함된 동으로 구분된다. 표면 도금은 아말감기법을 사용하였으며, 순금과 소량의 은이 함유된 금으로 분류된다. 옥전 23호 출토품의 은 함량이 높아 지역적인 차이를 보인다. 도금 두께는 백제 금동관에 비해 백제계 금동관인 옥전 23호분이 두꺼운 것으로 평가된다. 도금횟수는 1~2회인 반면 백제계 금동관인 합천 옥전 23호분 금동관은 최대 3회로 평가되며, 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

주제어 : 백제 금동관, 아말감도금, 도금 두께, 비파괴 분석법, XRF

Abstract

This study conducted non-destructive analyses of the material features of seven gilt-bronze crowns of Baekje Kingdom that were excavated in the Cheonan, Gongju, Seosan, Iksan, Naju, and Hapcheon areas. A typical Baekje gilt-bronze crown has a conical inner crown and an outer crown embellished with vertical ornaments on the front and the back, a tube topped with a hemispherical ornament, and other ornamentation. Diverse designs (e.g., dragon, bonghwang, flowers, and plants) were applied using a range of techniques, including repoussé, chasing, openwork, and engraving. Formal features differ among the crowns according to their period of production and site of excavation. The substrate metal of the crowns is either pure copper or mixed copper with a small amount of lead. The crowns were amalgam-plated on the surface with pure gold or gold with a small amount of silver. The crown from Okjeon Tomb No. 23 in Hapcheon in the ancient Gaya region has a high silver content, which appears to be a regional feature. In addition, this crown from Okjeon Tomb No. 23, which can be categorized as Baekje-style gilt-bronze crown, seems to be plated at most three times, while the gilt-bronze crowns found within Baekje Kingdom territory were plated once or twice.

Keywords : Baekje gilt-bronze crown, Amalgam-plating, Non-destructive analysis, XRF

1. 머리말

‘관(冠)’+‘모(帽)’로서 모든 머리쓰개를 통칭하는 관모는 예부터 복식의 한 부분으로서 중요한 위치에 있었다. 역사시대에 관모는 단순한 장식이나 실용성의 추구에 머무르지 않고 사회의 발전에 따라 사회적 지위나 역할의 표시와 더불어 위계화된 사회를 상징적으로 보여주었다.

백제지역 출토 관모의 재질은 순동이나 구리합금의 소지 금속 위에 금을 도금한 금동 제품으로 백제 한성기의 지방 통치체제를 보여주는 대표적인 유물로 평가받고 있다. 한성기에서 웅진기에 걸쳐 사용된 것으로 추정되는 금동관은 천안, 공주, 서산, 익산, 나주, 고흥, 화성에서 출토되었다. 백제 금동관은 백제 지방 세력이 가지는 최고의 위세품으로 동시대의 금속공예기술을 집대성한 대표적인 유물로 평가된다. 고구려와 신라에서 유사한 형태의 관이 확인되지만, 백제 고유의 특성을 나타내며 일본의 에다후나야마(江田船山)고분 금동모관, 합천 옥전 23호분 금동모관에 영향을 준 것으로 추정되고 있다.^[1]

백제 금동관에 대한 연구는 2000년대 들어서 공주·서산지역에서 금동관 3점이 출토된 뒤 고고학적으로 다양한 방면에서 연구가 활발히 진행되었다. 특히 지방 통치 체제, 형태 및 문양, 재질 및 제작기법에 관한 연구 등이 진행되고 있다. 이 중 재질에 관한 연구는 자연과학적 분석법을 사용하여 합천 옥전 23호분(강대일, 1993), 서산 부장리 5호분, 공주 수촌리 II-4호(정광용, 2006), 공주 수촌리 II-1호분(조남철, 2007) 금동관의 재질 및 제작기법에 대한 연구를 주사전자현미경을 사용하여 박락 시편을 대상으로 분석이 이루어졌다. 미시적인 방향으로 조직, 도금층의 상태, 미소부위 재질 등을 연구하기에는 적합하지만, 백제 금동관의 전체적인 특징을 제시하기에는 조사 시료의 한계성이 나타났다. 또한, 보존처리가 완료된 나주 신촌리 금동관과 익산 입점리 금동관을 연구에 적용하기에는 분석시료 확보의 한계성을 가지고 있다. 연구대상인 백제 금동관은 현재까지 출토된 수가 적으며, 자연과학적 분석을 통한 기초자료 조사가 부족한 상태이다. 본 연구에서는 금동관의 손실을 최소화하고 재질에 대한 기초자료를 확보하기 위해 X-선형광분석기를 사용하여 백제 금동관의 소지 금속과 표면 도금의 조성 및 제작기법을 비교·분석하였다. 분석 결과를 토대로 백제 금동관의 시기적·지역적인 특성을 확인하고자 하였다.

2. 분석 대상 및 분석 위치

백제 금동관의 재질특성 및 제작기법을 확인하기 위해 백제(계) 금동관 중 총 7점을 대상으로 선정하였다. 이 중 6점은 백제고분에서 출토된 금동관으로, 공주 수촌리(2점)·천안 용원리·서산 부장리·익산 입점리·나주 신촌리 출토품이다. 특히 입점리 1호분에서는 금동모관과 관련된 다수의 금동 편이 출토되었는데, 이 중에서 후입식 추정 편·삼각형장식 편·입식 편을 분석대상으로 하였다. 신촌리 9호분에

서는 모관과 대관이 함께 출토되어 모두 분석대상으로 선정하였다. 그리고 백제 금동관의 재질특성과 비교하기 위해 백제계 금동관으로 알려져 있는 합천 옥전 출토 금동모관 1점을 별도로 선정하였다^{(표1)[2]}.

백제(계) 금동관은 측관, 복관, 입식, 대관, 수발, 대롱, 영락 등으로 구성되어있다. 따라서 분석 위치는 각각의 구성을 이루는 금동관을 중심으로 소지 금속과 도금층을 구분하여 지정하였다. 특히 입점리 1호분 출토품의 경우는 전·후면 도금층에 남아있는 아말감도금 흔적을 확인하기 위해 분석 전에 실체현미경 관찰을 통해 도금층의 상태를 파악한 후 분석 위치를 정하였으며, 신촌리 9호분 출토품 중 금동대관은 개작과 관련한 원두정을 중심으로 분석하였다.

표 1. 분석 대상 유물

연번	유물사진	유물명	유적명	편년	비고
1		금동모관 편	천안 용원리 9호 석곽묘	5세기 2/4분기	
2		금동모관	공주 수촌리 II-1호 토광묘	5세기 1/4분기	
3		금동모관	공주 수촌리 II-4호 석실분	5세기 2/4분기	
4		금동모관	서산 부장리 분구묘 5호분 1호 토광묘	5세기 2/4분기	
5		금동관 (대관 및 각종장식 편)	익산 입점리 1호 석실분	5세기 3/4분기	편 3점 분석
6		금동관	나주 신촌리 9호분 을관	5세기 4/4분기	
7		금동모관	합천 옥전 23호분 목곽묘	5세기 2/4분기	

3. 분석 방법

3.1. X-선형광분석

이동형 X-선형광분석기를 사용하여 비파괴 분석을 실시하였으며, 분석 위치는 도금기법과 금의 순도를 확인하기 위해 표면 도금부와 소지 금속의 재질 확인을 위해 소지 금속부를 분석하였다. 특히 금동관은 여러 장의 금동관이 결합된 유물로, 부위별 재질 및 제작기법을 확인하기 위해 분석 위치를 선정하였다. 하지만 분석 대상인 금동관이 입체적이며, 다수의 장식으로 인해 접근성이 떨어져 일부 불가피하게 누락된 부위도 있다. 재질분석에 사용된 이동형 X-선형광분석기는 분석 대상에 제약이 있어 다음과 같은 두 종류의 기기를 사용하였다^(표2).

표2. X-선형광분석 장비 및 분석조건

모델명	전압	전류	측정시간	조사경 직경	비고
SEA200 (seiko)	50kV	자동전류	150S	2mm	
ArtTAX (Rontec)	50kV	600 μ A	150S	0.65mm	신촌리 금동관 분석

금동제 유물의 정량분석을 위하여 함량을 알고 있는 표준시료를 동일한 조건에서 분석하여 검량선을 작성한 후 각 유물을 정량분석하였다. 또한, 비파괴 분석 대상 유물의 분석 해당 면은 오염 물질이 분석 결과에 영향을 미치지 않도록 ethyl alcohol을 면봉에 묻혀 세척한 후 분석을 하였다. Ti, Ca, Cr 등과 같은 미량원소는 전체 정량분석 값에서 제외하고 Au, Ag, Cu, Sn, Pb, Hg, Fe를 대상으로 분석 결과를 정리하였다. 정량분석에 사용된 원소는 소지 금속, 표면 도금 조성을 알기 위해 위와 같은 조건으로 분석 결과를 정리하였다. 정량분석 결과는 전체함량을 소수점 이하 둘째 자리까지 나타내었고, 정량분석을 하여 전체함량이 100%에서 벗어나는 경우 100%로 환산한 값을 수록하여 표면 조성의 분석 결과를 상호 비교할 수 있도록 하였다. 분석 결과에 대한 데이터 정렬방식은 유적별로 정리하였다.

3.2. 도금 두께 측정

도금 두께 측정은 형광X-선의 특징인 흡수와 여기에 의한 강도의 차이를 이용한다. Au-Cu단층도금 샘플에 1차 X-선을 조사하면, 표면 도금에서는 Au형광X-선이 발생하며, 소지 금속에서 Cu형광X-선이 발생하게 된다. 이때 X-선의 대표적인 특징인 흡수와 여기가 일어나며 이로 인해 형광X-선의 강도 차이가 발생하게 된다. 이 값을 그래프로 나타내면 서로 교차하는 형태의 여기 곡선과 흡수 곡선이 그려진다.

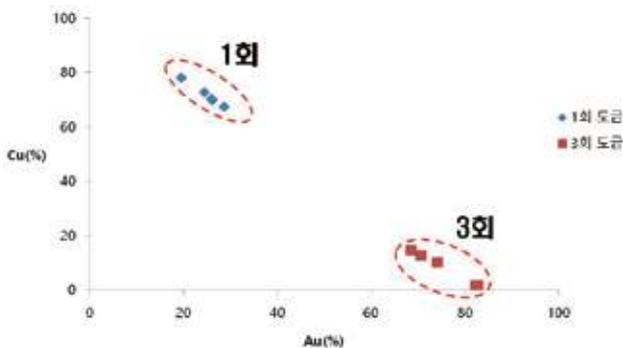
다. 여기 곡선은 표면 도금인 Au의 형광X-선으로 도금층이 두꺼울수록 강해지는 특성을 가진다. 하지만 흡수 곡선은 Cu 형광X-선으로 표면 도금이 두꺼워질수록 약해진다. 이는 소지 금속에서 발생하는 형광X-선이 표면 도금층에 흡수되기 때문이다.

$$X = (1/u) \log e \{ (I_s - I_o) / (I_s - I) \}$$

흡수곡선 사용측정
 X : 도금두께
 u : 흡수계수(기울기 결정 물리정수)
 I_s : 도금두께가 0일때 Background강도
 I_o : 도금두께 X 일때 형광 X선 강도
 I : 형광엑스선 강도

표면 도금층 두께를 측정하기 위한 검량선은 도금층의 두께를 알고 있는 표준시료, 표면 순금속(무한 두께 시료), 소지 순금속(두께 0의 시료)을 분석하여 만든다. 순동과 순금 시료의 Au, Cu의 형광X-선의 강도를 측정하였다. 수은아말감법으로 도금 시편을 제작하였다. 시편은 순동의 소지에 순금과 수은을 혼합하여 만든 금아말감을 1회와 3회 도포하여 제작하였다. 제작된 도금 시편 중 3회 도금 시편을 seiko사의 이동형 X-선형광분석기로 금동관 분석조건과 동일한 조건으로 분석하여 Au, Cu의 형광X-선의 강도 값을 구하였다. 주사전자현미경을 사용하여 도금층 두께를 측정하였고, 그 결과 17~27 μ m 내외이며, 평균 값인 20 μ m를 적용하여 위의 식을 사용하는 프로그램으로 검량선을 작성하였다.^[3]

도금 횟수 추정을 위해 완성된 도금 시료는 백제 금동관 분석에 사용한 seiko사의 이동형 X-선형광분석기를 사용하여 동일 조건에서 5회씩 분석을 하였다. 분석 결과, 도금 1회 시편은 Cu 71.67 \pm 4.01%, Au 24.87 \pm 3.42%이고, 도금 3회 시편은 Cu 8.20 \pm 6.07%, Au 75.57 \pm 6.54%로 확인되었다. 이 결과를 도식화하면, 다음과 같이 구분되었다(도1). 제작된 시편의 도금층 두께와 Au-Cu비율이 도금횟수 따라 편차를 보이는 상태이며, 이는 금동제 유물에 적용시 도금층 두께에 대한 절대적인 평가보다는 유물 간의 상대적인 비교 평가에 적합할 것으로 보인다.



도1. Au-Cu 도금 시편의 분석 결과.

4. 분석 결과

4.1. 천안 용원리 9호 석곽묘 출토 금동모관 편

‘U’자형 복륜은 길이 10.7cm이며, 영락을 달기 위한 투공 9쌍이 남아있다. 끝단의 모서리에는 측관 결구용 추정되는 투공이 남아있다. 반원형의 수발은 직경 2.4cm이며, 두께 0.15cm의 금판을 반원형으로 만들고, 그 가운데에 0.3cm 지름으로 구멍이 뚫려 있는데, 이것은 대롱처럼 생긴 관과 연결하기 위한 구멍으로 보인다.^[4]

천안 용원리 9호분 금동모관 편의 분석 위치는 표면 상태에 따라 구분하여 위치를 선정하였다. 표면 도금이 박락된 복륜, 복륜 추정 편, 대롱 추정 편을 대상으로 소지 금속 조성을 분석하였다. 또한, 표면 도금이 잘 남아있는 복륜, 복륜 추정 편, 대롱 추정 편, 수발을 대상으로 표면 도금 조성을 분석하였다^(도2).

분석 결과, 소지 금속은 납의 유무에 따라서 두 종류로 구분된다. 복륜 부위에서 Pb 2.57~4.23%가 함유된 동이 확인되며, 대롱 추정 편은 순동으로 확인된다. 표면 도금은 은의 유무에 따라서 두 종류로 구분된다. Ag 1.66~1.76%로 소량 함유된 수발 부위와 순금이 확인되는 복륜으로 구분된다. 복륜 부위의 도금 두께는 16.1~16.7 μ m이며, 수발 부위의 도금 두께는 17.0~18.9 μ m로 확인되었다^(표3). 도금층 두께의 차이가 1~3 μ m내외로 복원 제작한 시편의 오차범위 내에 포함된다. 도금 두께를 횡수로 평가면 수발(5-1)을 제외한 나머지는 1~2회에 걸쳐 표면 도금한 것으로 추정된다.

표3. 천안 용원리 9호 석곽묘 출토 금동모관 편 표면 XRF 분석 결과

구분	분석번호	분석위치	화합조성(wt%)						도금 두께 (μ m)	비고	
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg			Fe
소지 금속	1-1	복륜	0.35	0.13	96.60	0.11	2.56	0.00	0.25		
	2-2	복륜 추정 편	0.03	0.55	94.54	0.10	4.21	0.06	0.52		
	3-2	복륜 추정 편	0.01	1.17	94.05	0.04	4.03	0.04	0.67		
	4-2	대롱 추정 편	0.06	0.13	96.45	0.11	0.35	0.01	2.88		
표면 도금	1-2	복륜	34.40	0.17	57.31	0.05	1.39	6.63	0.05	16.2	
	1-3	복륜	42.10	0.14	49.19	0.25	0.63	7.56	0.13	16.7	
	1-4	복륜	33.47	0.15	58.42	0.26	1.24	6.46	0.00	16.1	
	2-1	복륜 추정 편	34.02	0.15	57.83	0.18	1.17	6.59	0.06	16.3	
	3-1	복륜 추정 편	27.46	0.15	66.96	0.10	1.28	3.89	0.17	-	제외
	4-1	대롱 추정 편	5.19	0.16	91.95	0.06	0.40	1.29	0.95	-	제외
	5-1	수발	65.70	1.75	18.05	0.04	0.36	13.75	0.34	18.9	
	5-2	수발	48.18	1.66	41.41	0.00	0.59	7.98	0.19	17.0	



(a) 전면
(b) 후면



도2. 천안 용원리 9호 석곽묘 출토 금동모관 편 표면 XRF 분석 위치.

4.2. 공주 수촌리 II-1호 토광묘 출토 금동모관

좌측판을 ‘U’자형 복륜이 감싸고 있는 고깔형태의 금동모관이다. 고깔을 중심으로 전·후입식을 갖추고, 복륜 후면과 정수리 부분에 각각 1개씩의 수발을 세웠던 것으로 추정되는 대롱이 남아있다. 측판·복륜·전·후입식에는 영락이 달려 있는데, 영락고리를 2.5~3회 정도 꼬아 매듭 기법으로 영락을 매달아 장식하였다. 문양은 용문, 화염문, 점열문이 화려하고 체계적으로 투조, 축조, 타출기법을 이용하여 시문되어있다.^[5]

공주 수촌리 II-1호분은 후입식, 전입식, 대롱, 복륜, 좌측판, 영락고리, 영락의 표면 도금에 대해서 XRF분석을 실시하였다^(도3).

분석대상의 특성상 소지 금속은 측정 불가하였다. 표면 도금은 순금으로 부위별로 동일한 것으로 확인되었다. 도금 두께는 2종류로 구분할 수 있다. 두꺼운 부위는 후입식, 전입식, 대롱, 복륜, 좌측판으로 15.4~17.9 μm 이며, 얇은 부위는 후입식, 영락고리, 영락으로 0.2~0.3 μm 이다. 1 μm 미만으로 확인되는 부위는 제작과정, 착장, 매장 환경, 보존처리, 분석조건 등에 영향을 받은 것으로 추정된다^(표4). 도금 횟수는 1회로 평가된다. 기존의 연구에서 대롱부 편과 영락 편을 대상으로 SEM-EDS분석을 하였다. 도금층의 두께는 1.0~3.4 μm 로 확인되며, 성분 분석 결과, 대롱부 편 Au 76.57%, Ag 2.36%, Cu 15.62%, Hg 5.46%이며, 영락 Au 72.05%, Ag 2.16%, Cu 20.8%, Hg 5.51%를 보인다. 아말감(금알갱이)이 묻쳐있는 것으로 보아 아말감도금법을 이용한 것으로 추정된다^[6]. 비파괴 분석을 통한 결과와 두께와 화학조성에서 차이를 보인다.

표4. 공주 수촌리 II-1호 토광묘 출토 금동모관 표면 XRF 분석 결과

구분	분석번호	분석위치	화학조성(wt%)						도금 두께(μm)	비고
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg		
표면 도금	1-1	후입식	18.49	0.24	66.44	0.35	0.13	3.60	10.75	0.2
	1-2	후입식	20.99	0.18	56.56	0.24	0.18	4.06	17.79	0.3
	1-3	후입식	20.61	0.12	73.02	0.15	0.03	3.68	2.37	15.4
	2	전입식	18.78	0.12	76.64	0.15	0.05	3.56	0.70	17.9
	3	대롱	37.44	0.73	51.53	0.21	0.03	9.71	0.52	16.1
	4	복륜	33.90	0.15	58.71	0.20	0.03	6.48	0.52	16.3
	5	좌측판	25.15	0.13	66.68	0.21	0.15	4.68	2.99	15.5
6	영락고리	19.68	0.25	69.29	0.25	0.35	4.41	5.77	0.3	
7	영락	19.51	0.26	65.56	0.23	0.10	4.42	9.91	0.2	



a b

(a) 우측면
(b) 좌측면

도3. 공주 수촌리 II-1호 토광묘 출토 금동모관 표면 XRF 분석 위치.

4.3. 공주 수촌리 II-4호 석실분 출토 금동모관

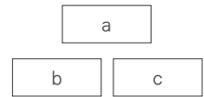
상단부가 둥근 고깔모양이 관모를 중심으로 전·후면에 입식을 갖추고 후면에 수발을 세웠으며, 전체에 원판모양의 영락을 매달아 꾸민 형태이다. 모관의 중심이 되는 내관은 용문과 당초문이 투조된 2매의 금동판으로 되어 있으며, 금동판이 마주 닿는 부분을 'U'자형 복륜을 돌렸다. 전·후입식은 다른 형태를 가진다. 전입식은 육각을 이루는 본체 상단부에 세 갈래로 길게 봉황의 머리와 양 날개를 연상케 하는 입식을 세운 형상이다. 후입식은 한쪽 부분이 대부분 결실된 상태이며, 잔존부위는 꼬리를 부채처럼 활짝 편 형태로 하단부가 대륜부와 연결되어 있다. 수발은 단면 원형의 가늘고 긴 대륜 끝에 반원형의 둥근 발이 달려 있는 것으로, 내관과 후식 사이에 원두정으로 고정되어 있다. 금동관의 전체적인 무늬는 용문, 화염문, 점열문 등이 주를 이루며, 투조, 축조, 타출 등의 기법으로 시문되었다. 모관과 전·후입식에 영락이 장식되어 있거나 장식된 흔적이 확인된다^[7].

공주 수촌리 II-4호분 금동모관은 전·후입식, 좌측판, 수발을 대상으로 분석을 하였다. 분석대상의 특성상 소지 금속은 측정 불가하였다^(도4).

표면 도금의 경우 두 가지로 구분되었다. 전·후입식과 좌측판에서 순금으로 확인되었으며, 수발에서 소량의 은이 함유된 것으로 확인되었다. 분석 결과를 바탕으로 도금 두께를 측정하였을 때 15.1~17.8 μm 으로 확인되었다^(표5). 기존 연구를 살펴보면, 금속현미경과 SEM을 사용하여 7개의 편을 분석하였다. 도금 두께는 평균 3~5 μm 로 7개의 시편의 평균치는 일치하였다. 곡선 부분은 도금층이 얇거나 도금이 되지 않은 부분이 확인되며, 평평한 부분은 균일하게 도금이 된 것으로 관찰된다^[8]. 비파괴 분석을 통한 측정치와 차이를 보인다.

표5. 공주 수촌리 II-4호 석실분 출토 금동모관 표면 XRF 분석 결과

구분	분석번호	분석위치	화학조성(wt%)							도금 두께(μm)	비고
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg	Fe		
표면 도금	1-1	전입식	16.73	0.11	78.61	0.20	0.04	3.93	0.38	15.1	
	1-2	전입식	35.71	0.21	53.39	0.23	0.06	9.44	0.96	16.7	
	1-3	전입식	29.52	0.18	60.60	0.21	0.04	9.39	0.05	16.3	
	2-1	후입식	12.81	0.13	80.26	0.19	0.45	3.41	2.74	-	제외
	2-2	후입식	27.89	1.00	63.17	0.01	0.02	7.45	0.47	15.8	
	2-3	후입식	11.75	0.10	83.69	0.17	0.04	3.32	0.92	-	제외
	3	좌측판	31.11	0.36	54.20	0.17	0.50	9.01	4.64	17.8	
	4	수발	31.57	1.48	55.07	0.00	3.08	8.56	0.24	16.2	



- (a) 정면
(b) 후면
(c) 좌측면



도4. 공주 수촌리 II-4호 석실분 출토 금동모관 표면 XRF 분석 위치.

4.4. 서산 부장리 5호분 1호 토광묘 출토 금동모관

좌측판을 ‘U’자형 복륜으로 고정시킨 모관을 중심으로 전·후입식을 세우고 하단부에 대륜을 돌린 고깔형태의 금동모관이다. 대륜을 제외한 모관 전체에는 영락을 달았는데 외면에서는 영락 고리를 1~3회 회전시킨 것으로 확인된다. 측판과 입식은 투조로 문양을 표현하였으며, 그 주변의 세부적인 문양을 정교하게 축조하였다. 모관 내부에는 백제 금동모관 중에서 유일하게 백화수피제모관이 확인되며, 백화수피와 금동모관 사이에 직물은 뒀던 흔적도 일부 관찰된다. 현재 좌측판의 일부가 분리되어있는 상태이며, 이 부분을 통해서 백화수피제모관의 표면을 자세히 관찰할 수 있다. 측판에는 연속적으로 육각문을 배치하고 그 안에 용문, 봉황문, 등을 표현하였으며, 육각문 외각 전체에는 점열과상문 등을 돌렸다. 시문 방법으로는 투조, 축조, 타출기법이 사용되었으며, 육각문의 점점과 문양 중심부에 매듭 기법으로 영락을 매달았다^[9].

서산 부장리 5호분 금동모관은 전·후입식, 좌측판, 대륜, 원두정, 영락을 대상으로 분석을 실시하였다^[55].

소지 금속은 순동으로 부위별 동일한 것으로 확인되었다. 표면 도금의 순금으로 추정할 수 있다. 분석 결과를 도금 두께로 환산한 결과 두 그룹으로 구분되었다. 두꺼운 부위는 좌측판, 후입식, 대륜, 원두정, 영락으로 15.1~17.1 μm 로 확인되었다. 얇은 부위는 전입식, 좌측판, 후입식으로 0.3~0.7 μm 로 확인된다^[56]. 일부 두꺼운 부위와 겹치는 곳이 있지만, 이는 동일한 금동판에서 제작과정, 착장, 매장 환경, 보존처

리, 분석조건 등에 영향을 받은 것으로 추정된다. 기존 연구 결과는 SEM-WDS으로 5점의 시편을 분석하였다. 도금 두께는 1.72~8.67 μm 이며, 표면 도금층의 화학조성은 Au 98%, Ag 1% 이내로 확인된다. 도금 시 손이 미치지 못하는 부분에 아말감(금알갱이)이 남아있으며, 다른 표면에 비해 수은의 함량이 많이 잔류하고 있는 것으로 보아 아말감도금법이 사용된 것을 의미한다^[10]. 비파괴 분석을 통한 도금 두께와의 차이를 보인다.

표6. 서산 부장리 5호분 1호 토광묘 출토 금동모관 표면 XRF 분석 결과

구분	분석번호	분석위치	화학조성(wt%)							도금 두께 (μm)	비고
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg	Fe		
소지 금속	2-4	좌측판	0.03	0.16	98.07	0.15	0.50	0.04	1.04		
	2-5	좌측판	0.04	0.19	97.69	0.22	0.45	0.04	1.36		
	3-3	후입식	6.20	0.15	91.83	0.16	0.04	1.57	0.07		제외
	4-3	대륜	3.03	0.21	95.44	0.21	0.05	0.97	0.10		제외
표면 도금	1-1	전입식	18.66	0.21	75.59	0.27	0.05	4.16	1.05	0.4	
	1-2	전입식	13.69	0.19	82.10	0.22	0.63	2.70	0.46	0.3	
	2-1	좌측판	15.43	0.16	76.32	0.16	0.06	7.87	0.00	0.7	
	2-2	좌측판	19.81	0.13	69.59	0.14	0.06	10.28	0.00	15.5	
	2-3	좌측판	16.66	0.16	71.86	0.24	0.62	10.46	0.00	0.3	
	3-1	후입식	34.97	0.12	57.78	0.22	0.58	6.32	0.02	16.6	
	3-2	후입식	15.70	0.14	71.32	0.19	0.07	12.58	0.00	0.5	
	4-1	대륜	22.44	0.17	65.16	0.25	0.34	11.64	0.00	16.0	
	4-2	대륜	19.83	0.19	68.43	0.16	0.04	11.35	0.00	15.4	
	5	원두정	38.87	0.16	38.90	0.16	0.00	21.91	0.00	17.1	
	6	영락	21.35	0.16	71.96	0.23	0.08	4.01	2.22	15.1	

- a
- b
- c
- d

(a) 우측면
 (b) 좌측면
 (c) 좌측판 전면
 (d) 좌측판 후면



도5. 서산 부장리 5호분 1호 토광묘 출토 금동모관 표면 XRF 분석 위치.

4.5. 익산 입점리 1호 석실분 출토 금동관(관장식)

익산 입점리 1호분에서는 금동모관을 포함한 다종 다양한 형태의 금동관 관련 자료들이 함께 출토되었다. 이들은 금동모관의 전후입식 편, 금동대관의 대륜 편 및 입식, 수하식 등으로 추정되고 있다. 모관은 2매의 반원형 금동판을 좌우에서 맞붙인 부분을 대륜으로 돌려 마무리한 것으로 머리에 쓰는 고깔 형태를 하고 있다. 대륜에는 상하 주연을 따라 파상문이 시문되어 있으며, 모관 외부는 물고기 비늘모양의 문양을 타날하고 있다. 아울러 모관의 후면에는 좁고 긴 대륜을 휘어서 장식하였고, 그 끝단에는 반원형의 수발이 올려져있다. 측판 하단부에는 입식으로 추정되는 작은 금동 편이 원두정으로 고정된 채로 잔존해 있다. 각종 장식 중 삼각형 장식은 중앙에 봉황문이 타출기법으로 새겨져 있으며, 가장자리에는 파상문이 새겨져 있다. 후면에서는 전면과는 다르게 일부분에만 도금층이 확인되며, 이는 전면 도금 후 남은 아말감이 뒷면으로 흘러내린 것으로 추정된다. 한편 입식은 3점으로 얇은 금동판인데, 타출 점선문에 의한 외연의 장식이 있고, 초화형 입식으로 추정되는 편도 있다^[11].

익산 입점리는 1호분 금동관(관장식)은 삼각형장식 편, 후입식 추정 편, 입식 편, 원두정을 대상으로 분석을 실시하였다^(도6).

소지 금속은 순동으로 부위별 차이가 없다. 표면 도금은 순금으로 추정할 수 있다. 분석 결과를 도금 두께로 환산한 결과 두꺼운 부위와 얇은 부위로 구분할 수 있으며, 두꺼운 부위는 삼각형 장식 편, 후입식 추정 편, 입식 편으로 14.1~16.1 μm 로 확인되었다. 얇은 부위는 삼각형 장식 편, 입식 편, 원두정으로 0.2~0.7 μm 로 확인된다^(표7). 1 μm 이하로 측정되는 부위는 제작과정, 착장, 매장 환경, 보존처리, 분석조건 등에 의해 영향을 받은 것으로 추정되며, 추가적인 검토가 필요하다.

표7. 익산 입점리 1호 석실분 출토 금동관 관장식 표면 XRF 분석 결과

구분	분석번호	분석위치	화합조성(wt%)							도금 두께 (μm)	비고
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg	Fe		
소지 금속	1-3	삼각형장식 편	0.02	0.11	99.58	0.24	0.02	0.01	0.02		
	2-3	후입식 추정 편	0.06	0.14	99.42	0.19	0.18	0.01	0.00		
	2-4	후입식 추정 편	6.08	0.15	91.78	0.15	0.08	1.70	0.06		제외
	3-5	입식 편	0.05	0.14	99.58	0.11	0.05	0.06	0.02		
	4-2	원두정	0.07	0.13	99.50	0.18	0.05	0.06	0.00		
표면 도금	1-1	삼각형장식 편	14.41	0.14	83.26	0.11	0.04	1.92	0.13	0.5	
	1-2	삼각형장식 편	16.68	0.09	80.86	0.16	0.05	2.17	0.00	14.6	
	1-4	삼각형장식 편 후면	13.37	0.12	84.19	0.11	0.00	2.15	0.05	0.6	
	1-5	삼각형장식 편 후면	13.02	0.22	80.53	0.15	0.16	2.14	3.78	0.2	
	2-1	후입식 추정 편	17.58	0.13	78.73	0.12	0.02	3.42	0.00	14.1	
	2-2	후입식 추정 편	18.49	0.10	77.59	0.16	0.02	3.62	0.02	14.5	
	3-1	입식 편	32.37	0.14	59.96	0.18	0.28	7.05	0.03	16.1	
	3-2	입식 편	16.28	0.13	80.42	0.09	0.01	3.07	0.00	0.7	
	3-3	입식 편	27.08	0.06	66.28	0.14	0.00	6.44	0.00	15.4	
	3-4	입식 편	18.42	0.13	78.20	0.15	0.06	3.03	0.00	14.7	
	4-1	원두정	9.64	0.14	88.94	0.15	0.01	1.12	0.00	0.3	

a b

(a) 전면
(b) 후면



도6. 익산 입점리 1호 석실분 출토 금동관(관장식) 표면 XRF 분석 위치.

4.6. 나주 신촌리 9호분 을관 출토 금동관

나주 신촌리 9호분 을관 출토 금동관은 대관과 모관으로 구성된다. 금동관을 이용하여 대륜을 만들고, 정면과 좌우에 초화형 입식 3개를 각각 두 개의 못으로 고정했는데, 좌우의 입식이 붙는 대륜에는 각각 중앙의 입식 쪽으로 2개 한 쌍의 폐기된 결합공이 남아 있으며, 중앙 입식이 붙는 대륜에는 이러한 폐공이 보이지 않는다.

모관은 2판의 금동판을 합쳐 복륜으로 덮어 원두정으로 고정된 고깔형태의 모자이다. 측판은 주연대와 내구로 구성되어있는데 주연대는 상하 양변을 따라 타출점 열문을 세긴 뒤 내부에 파상문이 타출되어 있다. 그 사이의 내구에는 삼엽문, 봉오리 모양의 화문으로 구성되어 있고, 이를 둘러싸듯 당초문을 주위에 돌렸다. 좌우 측판의 문양은 동일하나 완전히 같지 않다^[12].

나주 신촌리 9호분 을관 모관은 복륜, 좌우측판, 원두정을 대상으로 분석을 하였다. 소지 금속은 유물의 형태적 특성상 측정이 불가하였다^(도7).

표면 도금은 두 종류로 구분이 된다. 순금을 사용한 복륜, 좌우측판, 원두정(2-1, 4-3)과 Ag 1.30~1.40% 함유된 금으로 도금한 원두정(4-2, 4-4)으로 구분되어진다. 도금 두께 측정은 분석 장비의 차이로 인해 측정이 불가능하였다^(표8).

표 8. 나주 신촌리 9호분 을관 출토 모관 표면 XRF 분석 결과

구분	분석번호	분석위치	화합조성(wt%)							도금 두께 (μm)	비고
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg	Fe		
표면 도금	1-1	복륜	44.35	0.90	45.15	0.00	0.14	9.44	0.03	미측정	
	1-2	복륜	42.20	0.28	47.93	0.00	0.13	9.43	0.03		
	1-3	복륜	27.46	0.21	66.96	0.01	0.10	5.23	0.03		
	1-4	복륜	48.62	0.94	39.80	0.00	0.18	10.41	0.06		
	2-1	우측판	41.04	0.24	52.24	0.02	0.13	6.28	0.05		
	2-2	우측판	31.66	0.22	63.21	0.10	0.08	4.67	0.06		
	2-3	우측판	33.10	0.26	61.29	0.00	0.13	5.15	0.08		
	3-1	좌측판	32.46	0.24	62.02	0.05	0.10	5.08	0.05		
	3-2	좌측판	30.82	0.27	63.93	0.07	0.10	4.75	0.06		
	3-3	좌측판	30.62	0.21	64.12	0.06	0.08	4.88	0.03		
	4-1	원두정	15.22	0.71	82.43	0.00	0.14	1.47	0.05		
	4-2	원두정	30.58	1.40	63.62	0.00	0.18	4.15	0.06		
	4-3	원두정	7.19	0.48	91.28	0.04	0.90	0.05	0.06		
	4-4	원두정	32.70	1.30	61.94	0.00	0.12	3.90	0.05		



(a) 전면
(b) 후면
(c) 우측면
(d) 좌측면

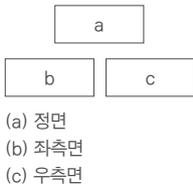
도7. 나주 신촌리 9호분 을관 출토 모관 표면 XRF 분석 위치.

나주 신촌리 9호분 을관 대관은 중앙입식, 좌우입식, 대륜, 원두정, 영락 고리, 영락을 대상으로 분석을 실시하였다(도8).

소지 금속은 유물의 특성상 측정이 불가하였다. 표면 도금은 순금을 사용하였으며, 부위별로 동일한 것으로 확인된다. 특히 제작에 사용된 것으로 보이는 원두정과 폐기된 원두정의 조성 상의 차이점을 확인할 수 없었다(표9). 도금 두께 측정은 분석 장비의 차이로 인해 측정이 불가능하였다.

표9. 나주 신촌리 9호분 을관 출토 대관 표면 XRF 분석 결과

구분	분석위치	분석위치	화합조성(wt%)						도금 두께 (μm)	비고
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg		
표면 도금	1-1	중앙입식	17.62	0.26	80.39	0.00	0.36	1.35	0.06	미측정
	1-2	중앙입식	21.87	0.24	73.72	0.00	0.33	3.81	0.04	
	1-3	중앙입식	22.71	0.28	72.76	0.00	0.34	3.92	0.03	
	2	우입식	7.23	0.21	91.21	0.04	0.39	0.89	0.03	
	3	좌입식	13.55	0.25	84.72	0.00	1.09	0.37	0.02	
	4-1	대륜	6.61	0.23	91.98	0.00	0.43	0.67	0.10	
	4-2	대륜	23.48	0.28	72.25	0.00	0.44	3.55	0.02	
	5-1	원두정	16.10	0.21	82.04	0.00	0.39	1.19	0.07	
	5-2	원두정	26.90	0.27	69.83	0.00	0.22	2.77	0.02	
	5-3	원두정	23.78	0.25	73.43	0.00	0.50	2.00	0.06	
	5-4	보수 원두정-대륜	14.53	0.20	83.00	0.00	0.46	1.73	0.08	
	5-5	보수 원두정-대륜	24.50	0.22	71.62	0.02	0.43	3.14	0.07	
	6	영락고리	11.61	0.21	86.96	0.03	0.16	1.00	0.03	
	7-1	영락	16.39	0.24	81.47	0.02	0.17	1.69	0.02	
7-2	영락	11.04	0.24	87.62	0.00	0.13	0.94	0.03		



도8. 나주 신촌리 9호분 을관 출토 대관 표면 XRF 분석 위치.

4.7. 합천 옥전 23호분 목곽묘 출토 금동모관

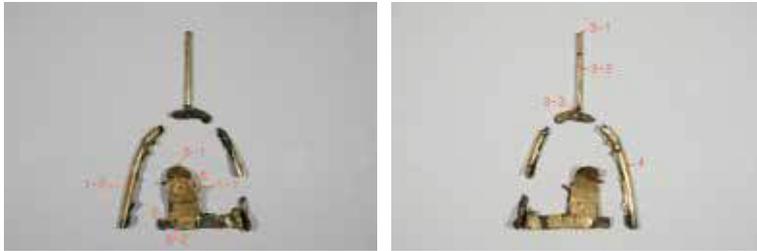
합천 옥전 23호분 출토 금동모관은 반타원형의 금동관 2장을 붙이고 가장자리를 복륵을 돌려 마무리한 고깔모양의 모관을 중심으로 좌·우측면에 조우형의 장식을 갖추고 그 위로 대륵을 돌렸다. 정수에 세운 수발대가 남아있으며, 측판 가장자리와 조우형 입식에 영락을 매달아 장식하였다. 대륵에 날개장식 결구시 원두정이가 아닌 금동사를 사용하여 결구하였다. 합천 옥전 23호분 금동모관은 문양이 나타나는 좌·우측판이 결실되고 일부가 날개장식 안쪽으로 남아있는 상태이다. 남은 문양은 투조기법으로 타원형 속에 삼엽문을 시문하였다^[13].

합천 옥전 23호분 금동모관은 대륵, 우측판, 우입식, 복륵, 금동사, 영락을 대상으로 분석을 실시하였다^(도9).

소지 금속은 소량의 납이 함유된 동으로 확인되었다. 표면 도금은 두 종류로 구분이 가능하며, 순금을 사용한 금동사(5-1)와 Ag 1.10~2.22%를 함유한 금을 사용한 우측판, 우입식, 복륵, 금동사(5-2), 영락으로 구분할 수 있다. 이중 대륵과 복륵부위의 Ag 5.57~6.70%로 확인된다. 분석 결과를 도금 두께로 환산한 결과 14.6~21.8 μm 로 확인되었다. 부위별 편차는 확인되나 모두 두꺼운 상태의 도금으로 나타났다. SEM을 통한 기존 연구 결과는 10~12 μm 으로 비파괴 분석 결과와 차이를 보인다^[14].

표10. 합천 옥전 23호분 목곽묘 출토 금동모관 표면 XRF 분석 결과

구분	분석번호	분석위치	화학조성(wt%)							도금 두께(μm)	비고
			Au	Ag	Cu	Sn	Pb	Hg	Fe		
소지 금속	3-1	대롱	0.00	0.60	93.80	0.10	4.78	0.03	0.68		
	3-3	대롱	0.01	0.18	85.12	0.18	6.25	0.01	8.25		
표면 도금	1-1	우측판	44.85	2.22	42.17	0.00	0.06	10.71	0.00	16.8	
	1-2	우측판	44.06	1.78	43.54	0.02	0.03	10.56	0.01	17.1	
	2	우입식	56.99	1.44	27.60	0.01	0.01	13.96	0.00	18.2	
	3-2	대롱	69.16	5.57	5.68	0.00	0.02	18.68	0.89	21.2	
	4	복륜	70.54	6.70	4.04	0.00	0.04	18.53	0.17	21.8	
	5-1	금동사	19.68	0.12	74.79	0.14	0.70	4.52	0.04	14.6	
	5-2	금동사	33.34	1.63	55.26	0.00	0.90	8.71	0.16	16.1	
	6	영락	38.14	1.10	51.62	0.05	0.21	8.86	0.02	16.5	



(a) 우측면
(b) 좌측면

도9. 합천 옥전 23호분 목곽묘 출토 금동모관 표면 XRF 분석 위치.

5. 백제 금동관의 재질적 특성

백제 금동관의 재질 특성을 확인하기 위해 이동형 X-선형광분석을 실시하였다. 먼저 재질 조성 확인을 위해 소지 금속과 표면 도금으로 나누어 분석하였고, 분석 결과를 환산하여 도금 두께를 측정하였다. 더불어 표준 도금 시료의 분석 결과를 통해 도금 횟수를 추정하였다. 백제 금동관이 가지는 재질 특성을 확인하기 위해 백제 금동관과 유사한 형태를 가지는 백제계 금동관인 가야지역의 합천 옥전 23호분 금동모관의 분석 결과와 비교하여 살펴보았다.

5.1. 소지 금속

백제 금동관 소지 금속의 XRF분석 결과를 살펴보면 주성분은 동으로 확인되며, 소량의 납 유무에 따라 두 종류로 구분할 수 있다. 순동을 사용한 금동관은 천안 용원리 9호분의 대롱부위와 서산 부장리 5호분, 익산 입점리 1호분이며, 소량의 납이 함유된 동을 사용한 금동관은 천안 용원리 9호분의 복륜 부위와 합천 옥전 23호분에서 확인된다. 하지만 동에 함유된 납의 함량은 5%미만으로 재질의 특성을 변화시키기 위해 고의적으로 첨가한 것으로 보기에 는 힘들다. 백제 금동관은 순동 또는 높은 순도의 동을 사용하여 소지 금속을 제작한 것으로 확인된다. 이는 순동이 다른 금속과 합금인 상태에 비해서 가단성이 높아 관금, 투조, 조금기법 등을 적용하는데

용이하기 때문으로 추정된다. 또한 도금기법에 있어서 수은을 사용한 기법은 순금과 순동에 가까운 재료일수록 도금이 잘 입혀지는 특성을 금동관을 제작하는 장인이 인지하고 있었던 것으로 생각된다^[15]. 부위에 따라 소량의 납 성분이 차이가 나는 이유는 부위별 금동관을 각각 제작하여 결합과정을 거쳐 완성되는 금동관의 제작 특성상 부위별로 다른 재료를 사용했을 가능성을 보여주고 있다.

5.2. 표면 도금

백제 금동관의 표면 도금 조성은 은 유무에 따라 2종류로 구분된다. 단일 조성으로 확인되는 금동관은 공주 수촌리 II-1호분, 서산 부장리 5호분, 익산 입점리 1호분, 나주 신촌리 9호분 을관 대관이며, 부위별로 상이하게 나타난 금동관은 천안 용원리 9호분, 공주 수촌리 II-4호, 나주 신촌리 9호분 을관 모관, 합천 옥전 23호분으로 확인된다. 백제 금동관의 표면 도금에 함유한 은의 조성은 2% 미만으로 인위적인 첨가가 아닌 정련과정 상의 불순물로 추정된다. 옥전 23호분은 복륜과 대롱 부위에서 은의 함량이 5% 이상으로 확인되며, 다른 재료를 사용한 가능성을 보여준다. 도금시 금아말감에 은의 함량이 높은 경우 도금이 잘 안 되는 특징이 있다. 이는 재현실험 결과를 보았을 때 은 함량이 20%까지는 치밀한 도금층이 형성되는 것으로 확인되었다^[16]. 하지만 소지가 확인되지 않은 옥전 23호분 복륜부위의 성분에 대해서는 추가적인 검토가 필요하다.

5.3. 도금 두께

나주 신촌리 금동관을 제외한 백제 금동관의 표면 도금에 대한 분석 결과를 활용하여 도금 두께를 추정하였다. 도금 두께는 $1\mu\text{m}$ 이하와 $14\mu\text{m}$ 이상의 두 종류로 구분된다. $14\mu\text{m}$ 이상의 도금층은 백제 금동관과 옥전 23호분에서 모두 확인된다. 백제 금동관이 $14\sim 17\mu\text{m}$, 옥전 23호분이 $14\sim 21\mu\text{m}$ 로 옥전 23호분의 도금층이 상대적으로 두꺼운 것으로 평가할 수 있다. 기존 연구 결과, 공주 수촌리 II-1·4호 금동관과 서산 부장리 금동관의 도금층이 옥전 23호분 금동관에 비해 얇은 것으로 확인되며, 유사한 경향성을 보인다. 백제 금동관의 도금 횟수를 측정 결과를 통해 추정해보면, 백제 금동관은 도금 횟수가 1~2회, 옥전 23호분은 3회로 차이를 보이는 것으로 나타난다. 이러한 차이는 도금 기술계통으로 차이가 존재하는 것으로 추정할 수 있다. 기존 분석 결과와 보이는 차이와 $1\mu\text{m}$ 이하의 분석 결과는 아말감도금 시의 두께 차이, 소지금속인 구리의 부식으로 인한 영향, 분석 방법 및 조건 영향으로 오류가 생긴 것으로 추정된다. 위 부분을 보완하기 전까지는 유물간의 상대적인 평가만 가능할 것으로 보인다.

6. 결론

백제 지방 지배 체제 연구에 중요한 유물인 백제 금동관은 재질특성에 대한 조사가 미흡한 실정이다. 그 이유는 금동관의 출토 수량이 아직 적은 편으로 자연과학적 분석 자료를 비교함에 있어 제약을 가지고 있기 때문이다. 본 연구에서는 비파괴 분석법을 통해 백제 금동관 6점과 백제계 금동관 1점을 중심으로 재질 특성에 대한 조사를 통하여 백제 금동관의 특성을 다음과 같이 정리하였다.

1. 백제(계) 금동관 소지 금속 조성은 두 종류로 분류된다. 소량의 납이 확인되는 동은 천안 용원리 9호분의 복륜 부위, 합천 옥전 23호분에서 확인된다. 천안 용원리 9호분 대롱 부위, 서산 부장리 5호분, 익산 입점리 1호분에서는 순동의 소지 금속이 확인된다. 소량의 납이 확인되는 것은 재료적 특성을 변화시키기 위해서 인위적으로 첨가한 것이 아니며, 제련 및 정련과정이 부족하거나 불순물로 인한 것으로 추정된다. 백제 금동관의 소지 금속에서 시대와 지역에 따른 공시적인 차이는 없는 것으로 판단된다.
2. 백제 금동관에 사용된 표면 도금은 순금과 소량의 은이 함유된 금으로 구분된다. 공주 수촌리 II-1호분, 서산 부장리 5호분, 익산 입점리 1호분, 나주 신촌리 9호분 을관 대관의 표면 도금층은 순금인 반면에 천안 용원리 9호분, 공주 수촌리 II-4호분, 나주 신촌리 9호분 을관 모관, 합천 옥전 23호분은 부위별로 상이하게 금과 은이 함유된 것으로 확인된다. 은이 소량 함유된 금을 사용한 금동관 중 백제 금동관의 은 함량은 2% 미만이며, 백제계 금동관인 합천 옥전 23호분의 은 함량이 이에 비하여 높은 편으로 지역적인 차이를 보인다.
3. 백제 금동관과 합천 옥전 23호분 금동관의는 도금 두께는 상대적으로 평가 가능하다. 백제 금동관은 14~17 μm 로 확인된다. 백제계 금동관인 합천 옥전 23호분의 경우 최대 21 μm 로 백제 금동관에 비해 도금층이 두꺼운 것으로 평가된다. 도금 횟수를 추정된 결과에서 백제 금동관은 일반적으로 1~2회, 백제계 금동관인 합천 옥전 23호분은 3회 도금으로 추정된다. 이는 금동관 제작에 있어 사용하는 도금 기술이 차이가 있을 가능성을 보여준다.

이 글에서는 비파괴 분석을 통해 백제 금동관의 특성을 알아보고자 형광X-선이 가지는 특성을 활용하여 재질 및 도금기법에 대해서 검토하였다. 백제금동관 6점과 백제계 금동관 1점의 분석 자료를 바탕으로 비파괴 분석의 활용 가능성과 한계점도 확인할 수 있었다. 비파괴 분석의 활용도를 높인다면 다양한 금동제 유물에 대한 평가가 가능할 것으로 본다. 그러기 위해서는 다양한 조건의 연구가 선행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 이한상, 백제의 금속제 관 문화, *백제의 관*, 국립공주박물관, p108~114, (2010).
2. 이한상, 백제의 금속제 관 문화, *백제의 관*, 국립공주박물관, p118. (2010).
3. 충북지방중소기업청, *XRF 도금 두께 측정기 정밀측정 기술 교육*, (2008).
4. 국립공주박물관, *백제의 관*, p46, (2011).
5. 국립공주박물관, *백제의 관*, p28, (2011).
6. 忠淸南道歷史文化研究院, *公州 水村里遺蹟*, p449~450, (2007).
7. 국립공주박물관, *백제의 관*, p36, (2011).
8. 정광용, *서산 부장리 출토 금동관모의 보존*, 한성에서 웅진으로 특별전기념 국제 학술심포지엄, 충청남도역사문화원·국립공주박물관, p147~190, (2006).
9. 국립공주박물관, *백제의 관*, p48, (2011).
10. 정광용·이수희·김경택, 서산 부장리 백제 금동모관의 제작 기법 연구, *문화재 제39호*, 국립문화재연구소, p223~280, (2006).
11. 국립공주박물관, *백제의 관*, p84, (2011).
12. 국립공주박물관, *백제의 관*, p96, (2011).
13. 慶尙大學校博物館, *陝川 玉田古墳群VI*, (1997).
14. 姜大一, 韓半島 出土 鍍金資料의 分析, *문화재 제26호*, 국립문화재연구소, p170~208, (1993).
15. 文煥哲, 韓國 古代 金屬工藝의 科學技術의 研究: 鍍金 및 鑲金 製作技術을 中心으로, 中央大學校 박사학위논문, (2004).
16. 이윤정, *금·은·구리 배합비에 따른 아말감도금의 색상 및 단면 특성 연구*, 용인대학교 석사학위논문, (2010).