

부여 능산리사지 출토 누금세공 유물의 제작기술 연구

이선명¹ | 남궁승 | 김연미

국립부여박물관 보존과학실, ¹현재 국립문화재연구소 보존과학연구실

A Study on Handiwork Technique of Filigree Artifacts Excavated from Neungsan-ri Temple Site in Buyeo, Korea

Sun Myung Lee¹ | Seung Nam Kung | Yeon Mi Kim

Conservation Science Lab, National Museum of Buyeo, Buyeo, 323-806, Korea

¹Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

¹Corresponding Author: choro13@korea.kr, +82-42-860-9261

초록 부여 능산리사지 출토 누금세공 유물 4점을 대상으로 기초적인 재질특성과 미세조직을 분석하여 각각에 대한 제작방법을 살펴보았다. 이 결과 모두 22.7K 이상의 비교적 높은 순도를 나타냈으며 일부 유물에서는 금과 은이 일정 비율로 합금된 상태를 보였다. 표면을 장식한 금선은 0.2~0.8mm 두께를 보이고 다양한 단면형태를 나타냈다. 금입자는 2개 또는 3개가 접합되어 부착된 상태로, 0.3~0.8mm의 직경을 나타냈다. 금세선과 금입자의 표면 접합부에서는 땀의 잔재가 관찰되었으며 성분분석을 통해 금 땀의 사용 가능성을 확인하였다. 또한 진사(HgS), 먹과 같은 안료를 감장하여 표면을 장식한 모습도 보였다.

중심어: 누금세공, 금입자, 금세선, 땀, 진사, 제작방법

ABSTRACT This study examined each handiwork method of 4 filigree artifacts from Neungsan-ri temple site in Buyeo, Korea through material characteristic and microstructure analysis. As a result, it was indicated that all of the artifacts have comparatively higher purity than 22.7K and some of filigree artifacts showed that gold is alloyed with silver at a certain ratio. Gold thread that decorates surface showed thickness of 0.2~0.8mm and displayed various forms of section. Gold granule indicated that 2 or 3 granules are adhered together and they are 0.3~0.8mm in diameter. Trace of soldering was observed from gold thread and gold granule joints on surface and it confirmed a possibility of being soldering using gold solder through componential analysis. Also, it reveals a surface decorated with pigments such as cinnabar(HgS) and black.

Key Words: Filigree, Gold granule, Gold thread, Soldering, Cinnabar(HgS), Handiwork method

1. 서론

금(金)은 변하지 않는 특유의 색상과 광택, 희소성으로

인해 고대부터 사랑을 많이 받아왔으며, 특히 가공성이 풍부한 특성을 바탕으로 장신구, 장식품, 공예품, 불교예술품을 만드는데 사용되어 지배계층의 권위와 부의 상징으로

Table 1. Sample list of filligree artifacts excavated from Neungsan-ri temple site in Buyeo.

Type	Sample	Name	Number	Characteristics
Golden artifacts	NS-G1	Gold cone filligree ornament	1	d:0.6~0.8cm, h:3.1cm, w:2.4g
	NS-G2	Filligree bead	1	d:0.7cm, h:0.5cm, w:1.4g
	NS-G3	Filligree bead	1	d:0.7cm, h:0.5cm, w:0.9g
	NS-G4	Filligree ornament	1	d:0.6cm, w:0.6g

d: diameter, h: high, w: weight

이용되었다.

금제품의 제작에 사용된 가공기법에는 판금기법, 타출기법, 누금세공기법, 도금기법 등 다양하다. 이 중 누금세공기법은 금세선과 금입자로 문양을 형성하여 표면을 장식하는 것으로, 장식효과는 물론 기술적 측면에서도 세공세공의 극치를 보여준다. 뿐만 아니라 동서양의 금속공예에 사용된 세공기법으로 고대 동서문화의 전파에 따른 기술 전래에 있어 중요한 고찰 대상이 되어 연구의 필요성이 요구되고 있다.

누금세공기법에 대한 연구는 용어에 대한 정확한 해석과 개념 확립, 제작과정, 기원과 전래과정을 바탕으로 삼국 중에서도 신라 누금세공 유물에 대한 조형적 특징 연구가 상당히 진행된 상태이다^{1,2,3}. 또한 최근에는 과학적 장비를 이용하여 누금세공 유물을 조사하고, 이를 근거로 재현실험을 통해 세선과 세립의 제작과 고착기술을 연구하는 등 누금세공 기법의 실체를 밝히기 위해 연구영역을 점차 확대하고 있다^{4,5,6,7,8}.

이 연구에서는 부여 능산리사지 출토 누금세공 유물을 대상으로 비파괴 분석을 통해 금의 전반적인 재료학적 특성을 규명하였다. 또한 정밀 현미경 조사를 실시하여 미세 형태와 가공흔적 및 육안으로 알 수 없는 물질을 검토하였다. 이와 같은 자료는 백제의 금속 세공기술 수준을 이해하고, 교류사 측면에서 신라와의 비교연구를 위한 기초 자료로 활용될 것이다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

부여 능산리사지 출토 금제품은 모두 소형의 금공품들이다. 이 연구를 위해 금제품 중 누금세공기법을 보이는 4점을 분석대상으로 선정하였다(Table 1, Figure 1). 이는 백제 사비시대의 희소한 누금세공 유물로, 특히 원추형 누금장식(NS-G1)과 누금구슬 2점(NS-G2, NS-G3)은 사

지 내 금속공예품을 생산했던 것으로 추정되는 공방터 주변 조사 시 발견된 것들이다^{9,10}. 분석대상 유물에 대해서는 성분분석을 통해 기초적인 재질특성을 분석하고 현미경 조사로 미세조직을 관찰하여 전반적인 제작기술을 고찰하였다.

2.2. 연구방법

이 연구에서는 부여 능산리사지 유적에서 출토된 누금세공 유물을 대상으로 재료의 화학조성을 분석하기 위해 이동형 X-선형광분석기(P-XRF, ArtTAX Basic, Bruker AXS, Germany)를 이용하여 표면 비파괴 분석을 수행하였다. 분석조건은 No filter 상태에서 몰리브덴(Mo) 타겟으로 전압 50kV, 전류는 600 μ A, 분석시간은 200s이고, 분석면적은 직경 0.65mm이다. 조성 분석에 앞서 분석 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 신뢰도를 검증받은 금 표준시료로 생성한 보정 프로그램을 설정하고 이와 동일한 측정조건에서 분석하였다. 분석결과는 표준시료로 생성한 데이터로 보정한 100% 환산치이며, 표면분석에 의한 분석오차를 감안하여 해석하였다.

또한 누금세공 유물의 미세한 실체를 확인하기 위해 실체현미경 관찰을 실시하여 세부 형태, 표면 상태, 가공흔적 등의 미시적 특징을 조사하고 제작기법을 해석하였다. 여기에 이용된 기기는 Leica MZ12로 시료를 8배에서 100배까지 확대할 수 있어 육안으로 확인하기 어려운 세공기법을 관찰하는데 용이하다. 그러나 실체현미경의 경우 시료의 세부 형태를 칼라상으로 관찰 할 수 있는 반면에 분해능에 한계가 있다.

따라서 입체감이 풍부한 유물의 정밀한 관찰에 있어, 이와 같은 문제점을 보완하여 높은 분해능과 심도 깊은 영상을 획득하고 간단한 영상분석을 하기위해 주사전자현미경(TESEM, VEGA II LMH, TESCAN, Czech)을 이용하였다. 또한 여기에 장착된 에너지 분산형 성분분석기(EDS XFlash detector, Bruker AXS, Germany)를 이용하여 미지의 물질

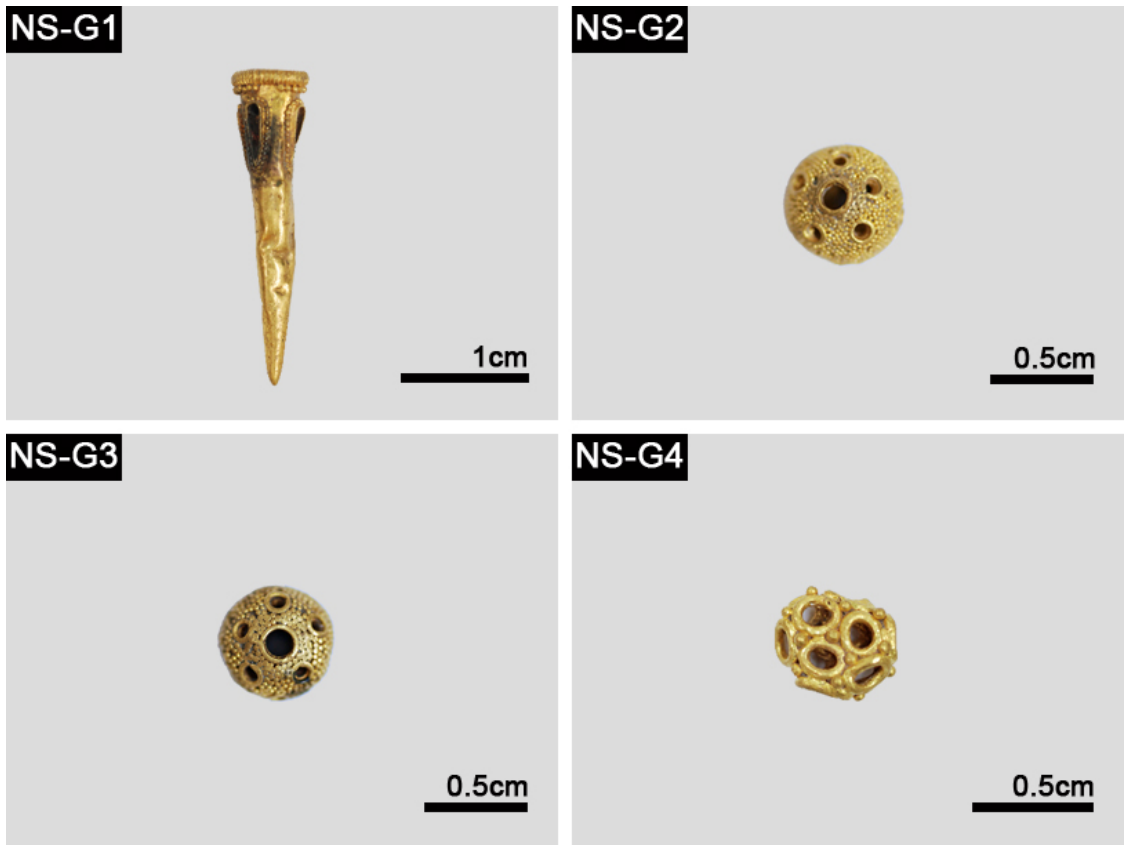


Figure 1. Golden artifact samples. Gold cone filigree ornament(NS-G1), Filigree bead(NS-G2), Filigree bead(NS-G3), Filigree ornament(NS-G4).

에 대한 정성분석을 실시하였다. 분석대상 유물은 모두 전도체로 전자현미경 관찰시 전도도를 높이기 위한 별도의 코팅은 하지 않았다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 화학조성 분석

3.1.1. 금제 원추형누금장식(NS-G1)

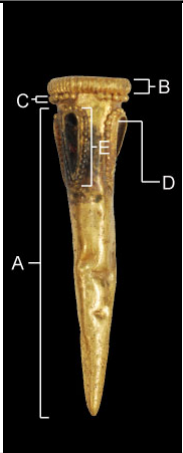
금제 원추형누금장식(NS-G1)은 5개 부위로 나누어 총 14지점에 대해서 분석하였다. 이를 세부적으로 살펴보면 원추형 금판 3지점, 상단 새김무늬 금세선 띠장식 2점, 띠장식 직하 금입자 3지점, 금판 위 별도의 금판장식 2지점과 금판을 둘러싼 금입자 4지점이다. 분석결과, 이 유물의 주요 구성원소로 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 철(Fe)이 검출되었으며 각 원소별 상대적인 조성비와 금의 함유량에 따른

순도를 환산하여 정리하였다(Table 2).

원소별로 살펴보면 금(Au)이 86.01~99.24%의 범위를 보이며 평균 94.44%를 나타냈고, 은(Ag)은 0.05~0.15%의 범위로 평균 0.11%를 구리(Cu)는 0.54~13.20%의 범위를 나타내며 평균 5.05%, 철(Fe)은 0.06~1.39%로 평균 0.41%를 보였다. 여기서 은(Ag)과 철(Fe)은 대부분이 1% 이하의 함량을 나타내는 것으로, 원료의 불순물 또는 표면분석이란 점을 고려했을 때 매장과정에서 영향을 받은 표면 이물질로 판단된다. 검출 원소를 바탕으로 금제 원추형누금장식의 전체 순도를 확인한 결과 평균 22.7K로 높은 순도를 나타냈다.

분석 위치별로 살펴보면 원추형 금판, 상단 새김무늬 금세선 띠장식, 원추형 금판에서 표면을 구획한 금판장식에서는 모두 평균 23.5K 이상의 순금에 가까운 조성을 보였다. 반면에 상단 금세선 띠장식 직하를 둘러싼 금입자와 금판장식 주변을 둘러싼 금입자에서는 구리(Cu)의 함량이

Table 2. XRF analysis result of Gold cone filligree ornament(NS-G1).

Name	Measure point	Element(%)				Total (%)	Karats (K)	
		Au	Ag	Cu	Fe			
Gold cone filligree ornament (NS-G1)		A	98.09	0.05	1.45	0.40	100	23.5
			99.24	0.11	0.54	0.11	100	23.8
			97.14	0.13	2.66	0.08	100	23.3
		B	98.63	0.13	1.18	0.07	100	23.7
			98.07	0.14	1.30	0.49	100	23.5
	C	96.29	0.14	2.19	1.39	100	23.1	
		91.10	0.07	8.78	0.06	100	21.9	
		86.01	0.10	13.20	0.69	100	20.6	
	D	98.07	0.07	1.78	0.08	100	23.5	
		98.90	0.09	0.93	0.08	100	23.7	
	E	86.01	0.10	13.20	0.69	100	20.6	
		97.02	0.15	1.49	1.34	100	23.3	
		90.35	0.09	9.45	0.11	100	21.7	
			87.26	0.10	12.49	0.15	100	20.9

A: gold sheet of cone(上·中·下), B: gold cincture of the upper end, C: gold granule under cincture, D: gold thread that decorate on gold sheet of cone, E: gold granule around gold thread.

Table 3. XRF analysis result of Filligree beads(NS-G2, G3).

Name	Measure point	Element(%)				Total (%)	Karats (K)
		Au	Ag	Cu	Fe		
Filligree bead (NS-G2)	gold thread(上)	98.50	0.80	0.48	0.22	100	23.6
	gold thread(中)	98.54	0.72	0.47	0.27	100	23.6
	gold thread(下)	98.86	0.67	0.33	0.15	100	23.7
	gold granule(上)	98.74	0.77	0.44	0.05	100	23.7
	gold granule(中)	98.52	0.73	0.51	0.24	100	23.6
	gold granule(下)	98.52	0.73	0.51	0.24	100	23.6
Filligree bead (NS-G3)	gold thread(上)	98.25	0.74	0.77	0.22	100	23.6
	gold thread(中)	98.30	0.76	0.83	0.12	100	23.6
	gold thread(下)	96.48	0.72	2.62	0.19	100	23.2
	gold granule(上)	96.95	0.75	2.15	0.16	100	23.3
	gold granule(中)	98.34	0.73	0.66	0.27	100	23.6
	gold granule(下)	98.14	0.73	0.94	0.20	100	23.6

증가하며 상대적으로 낮은 순도를 보였다. 이와 같이 특정 위치에서 구리(Cu)의 함량이 높게 검출되는 현상은 단순히 표면 이물질에 의한 것으로 판단하기 어려우며, 구리(Cu) 성분의 인위적인 첨가 가능성이 높은 것으로 해석된다.

3.1.2. 누금구슬(NS-G2, G3)

누금구슬 2점(NS-G2, G3)은 각각 6지점을 분석하였다. 이를 세부적으로 살펴보면 금세선 테두리 장식 상, 중, 하 3 지점과 금입자 3지점이다. 분석결과, 주요 구성원소로 금

(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 철(Fe)이 검출되었으며, 각 원소별 상대적인 조성비와 금의 함유량에 따른 순도를 환산하여 정리하였다(Table 3).

원소별로 살펴보면 NS-G2의 경우, 금(Au)이 98.50~98.86%의 범위를 보이며 평균 98.61%를, 은(Ag)이 0.67~0.80%의 범위를 보이며 평균 0.74%를, 구리(Cu)가 0.33~0.51%의 범위로 평균 0.46%를 나타냈고 철(Fe)은 0.05~0.27%의 범위에서 평균 0.21% 보였다.

NS-G3은 금(Au)이 96.48~98.34%의 범위에서 평균

Table 4. XRF analysis result of Filigree ornament(NS-G4).

Name	Measure point	Element(%)				Total (%)	Karats (K)
		Au	Ag	Cu	Fe		
Filigree ornament (NS-G4)	gold ring	95.85	3.79	0.32	0.04	100	23.0
		95.63	3.86	0.46	0.05	100	23.0
		96.69	2.81	0.06	0.17	100	23.2
	gold granule	95.91	3.71	0.26	0.12	100	23.0
		96.04	3.57	0.30	0.09	100	23.0
		96.82	2.95	0.19	0.04	100	23.2

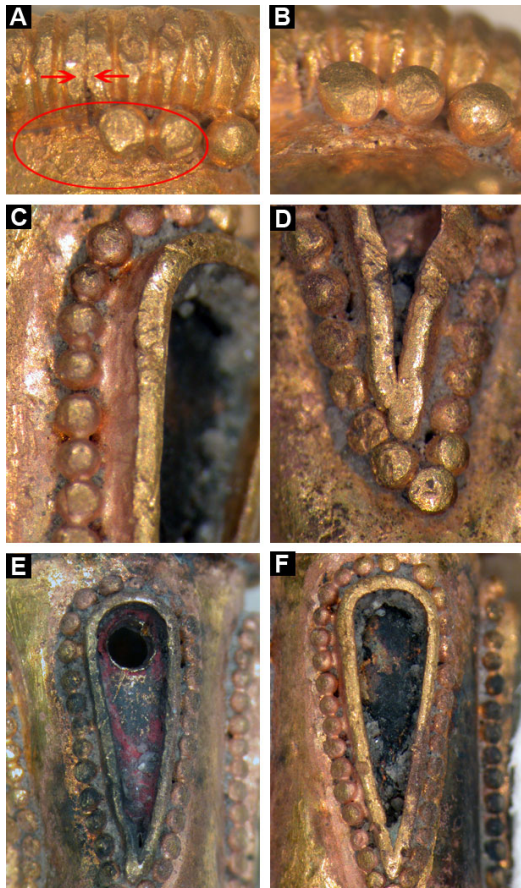


Figure 2. Microphotographs of Gold cone filigree ornament(NS-G1). (A, B) Join state of gold cincture and gold granules. (C, D) Gold granule around gold thread. (E) Red color material of gold thread interior that decorate on gold sheet of cone. (F) Black color material of gold thread interior that is decorated on gold sheet of cone.

97.74%를, 은(Ag)이 0.72~0.76%로 평균 0.74%를, 구리(Cu)는 0.66~2.62%의 범위에서 평균 1.33%를 보였으며

철(Fe)에서는 0.12~0.27%의 범위로 평균 0.19%를 나타냈다.

이를 바탕으로 누금구슬 2점의 전체 순도를 확인한 결과, NS-G2가 23.7K, NS-G3이 23.5K를 보였다. 이는 은(Ag)과 철(Fe)의 평균 함량이 1% 미만이고 구리가 2% 미만으로, 원료의 불순물이나 표면 이물질로 판단되는 시점에서 금 순도 분석 결과에 큰 영향을 미치지 않는 점을 감안하면 거의 순금에 가까운 조성을 나타낸다.

분석 위치별로 살펴보면 NS-G2의 금세선 테두리 장식 및 금입자의 평균 순도가 23.6K로 모두 일정하게 높은 순도를 보여 위치별 차이가 나지 않았다. NS-G3에서도 금세선 테두리 장식 및 금입자의 평균 순도가 23.5K로 높은 순도를 보이며 위치별 차이를 보이지 않아 누금구슬 2점 모두 순금의 특성을 보이는 것을 알 수 있었다.

3.1.3. 누금장식(NS-G4)

누금장식(NS-G4)은 금제 고리 3지점 및 금입자 3지점의 총 6지점에 대해서 분석하였다. 분석결과, 주요 구성원소로 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 철(Fe)이 검출되었으며 각 원소별 상대적인 조성비와 금의 함유량에 따른 순도를 환산하여 정리하였다(Table 4).

원소별로 살펴보면 금(Au)이 95.63~96.82%의 범위에서 평균 96.16%를, 은(Ag)이 2.81~3.86%의 범위로 평균 3.45%를, 구리(Cu)는 0.06~0.46%로 평균 0.27%를 나타내며 철(Fe)은 0.04~0.17%의 범위에서 평균 0.09%를 보였다.

이를 바탕으로 미량의 구리(Cu)와 철(Fe)을 제외한 금(Au)과 은(Ag)의 성분비를 100%로 환산하여 합금비를 검토하였다. 이 결과, 누금장식은 모든 측정지점에서 금과 은의 합금비가 97:3으로 일정한 양상을 보였다. 이 같은 조성은 앞에서 언급한 금제 원추형누금장식(NS-G1) 및 누금구슬(NS-G2, G3)과 차이를 보이는 조성으로 금의 성질과 색상에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 검출원소를 바탕

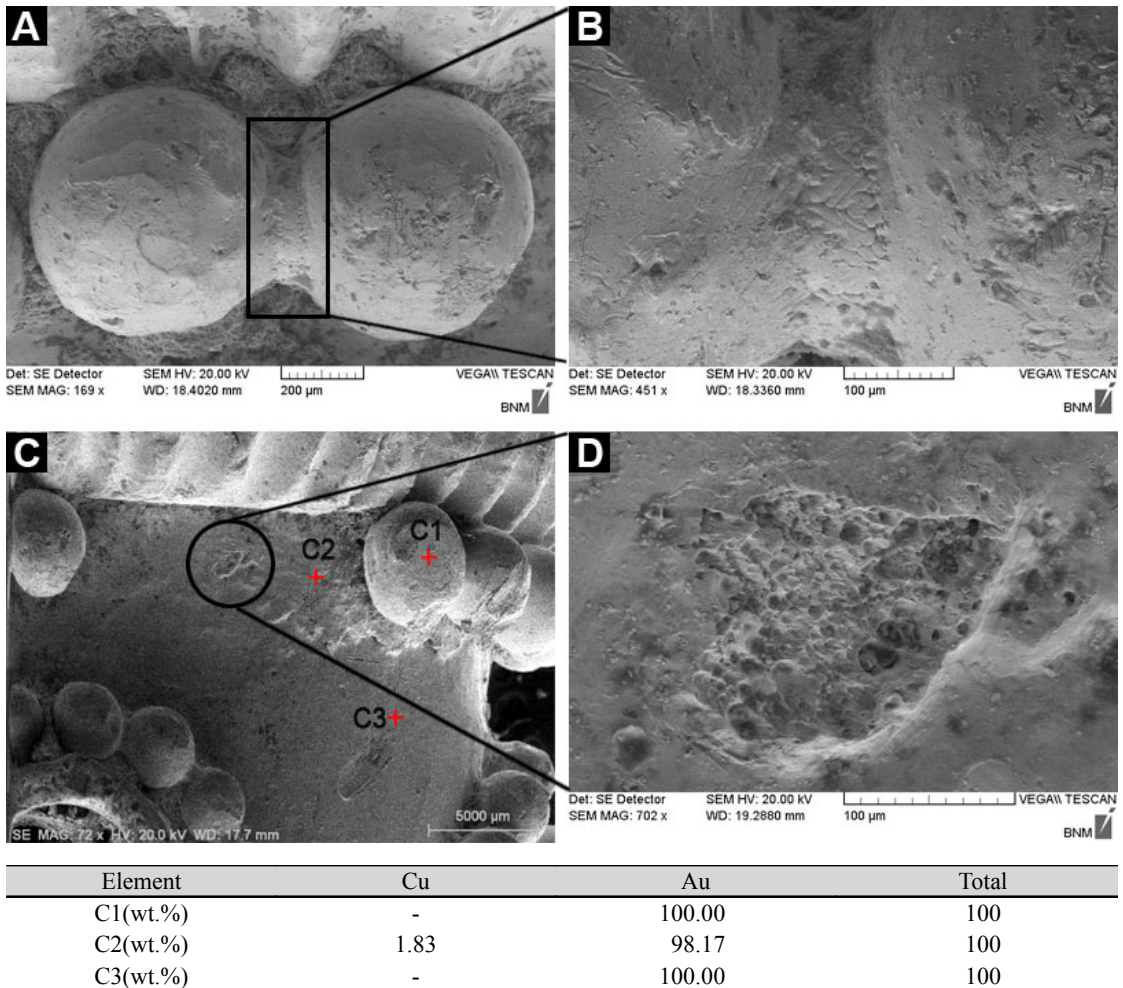


Figure 3. SEM images and EDS result of Gold cone fillgree ornament(NS-G1). (A, B) Join state of gold granules and detail image of joint section. (C, D) Trace of soldering that is observed in commissure of gold granule.

으로 유물의 순도를 확인한 결과 23.1K로 비교적 높은 수치를 나타냈다.

3.2. 미세조직 분석

3.2.1. 금제 원추형누금장식(NS-G1)

실체현미경 관찰 결과, 금제 원추형누금장식(NS-G1)은 얇은 금판을 말아 원추형으로 만들고 상단에는 원둘레를 따라 금세선이 둘러져 있었다. 금선은 단면이 방형으로 표면에 △형 새김이 일정한 간격을 두고 이어지는 모습을 보이며, 끝과 끝이 맞닿아 접합된 상태로 원추형누금장식의 상단에서 띠장식을 이루고 있다(Figure 2A). 상단 금세선

띠장식 직하에는 한 줄의 누금장식을 들렀으며 금입자가 2개 혹은 3개씩 연결된 상태로 띠장식과 금판에 부착되었다(Figure 2B). 특히 원추형 금판과 상부 새김무늬 금세선 및 금입자의 접합면에서는 미세하게 땀의 흔적이 관찰된다.

이 아래로 원추형 금판에는 4방향으로 얇은 금판을 직각으로 세워 유엽형(柳葉形)으로 구획하고 바깥쪽을 금입자로 장식하였다(Figure 2C, 2D). 이와 같이 구획된 곳은 4점 중 마주보는 2곳에서 지름이 약 1mm 정도의 작은 구멍이 뚫려 있고 적색의 물질을 감장한 흔적을 확인할 수 있다(Figure 2E). 반면 마주보는 다른 2곳에는 구멍이 뚫려 있지 않고 흑색의 물질이 감장되어 있는 것을 알 수 있다(Figure 2F).

실체현미경 관찰을 바탕으로, 주사전자현미경 조사를

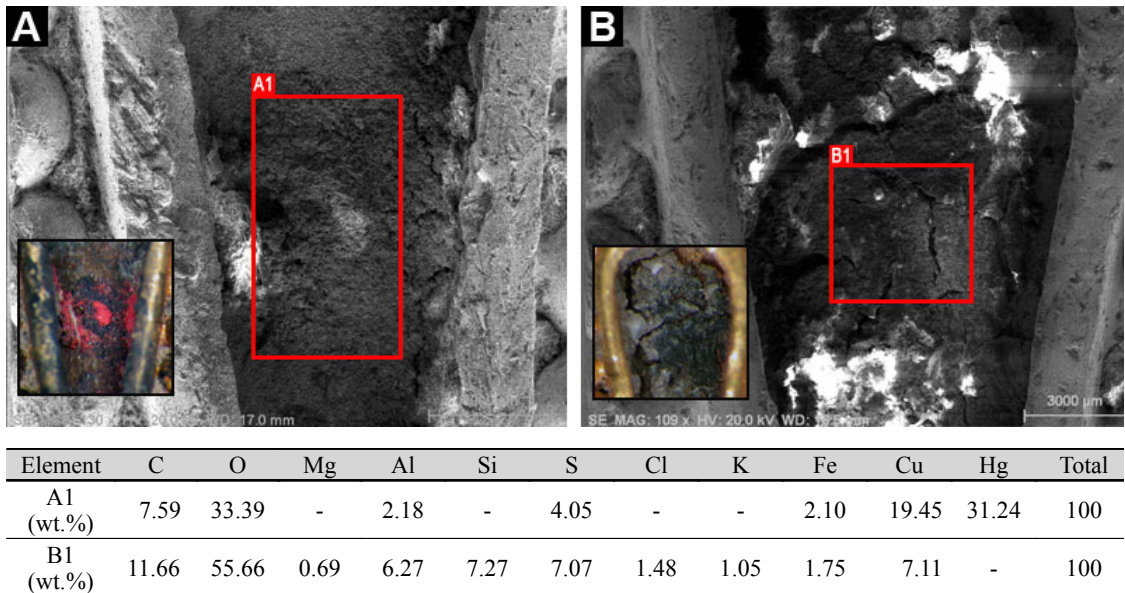


Figure 4. SEM-EDS result of red and black color materials in Gold cone filligree ornament(NS-G1).

통해 보다 높은 배율과 심도 깊은 입체영상을 획득하여 미세형태와 가공흔적을 확인하고 영상분석 및 미세조직의 성분분석을 실시하였다. 금제 원추형누금장식의 주사전자 현미경 사진을 영상분석한 결과, 원추형 금판 상부 금선 띠장식의 너비가 1.3mm를, 중앙에 유연형으로 구획한 금판은 0.2mm의 두께를 나타냈다.

또한 상단의 띠장식 직하를 둘러 장식한 금입자들은 대부분이 흠으로 빛은 것처럼 고른 표면에 완벽한 구체를 이루고 있었으며, 직경이 0.7mm로 일정한 크기를 보인다. 그러나 유연형으로 구획한 금판을 둘러 장식한 금입자들은 직경 0.4mm의 크기를 보인다. 표면 및 입자 사이사이에 이물질이 관찰되며 구형의 형태가 일그러져 있는 모습을 볼 수 있다. 이와 같이 1mm 이하의 구형의 금입자를 고대에 어떤 방법으로 제작하였는지에 대해서는 분명하게 알려져 있지 않으나 현재 일부 기록을 통해 몇 가지 가능한 제작 방법이 제시되고 있다.

누금세공의 공정에서 금속 표면에 금선과 금입자를 접착시켜 문양을 만드는 단계는 작품의 완성도를 결정짓는 중요한 과정이며 고난이도의 기술력을 요한다. 일반적으로 금제품의 세공에 사용되는 접합법에는 금 땀법이 있다. 이는 매개체인 땀을 금속표면과 장식요소 사이에 놓고 가열하면 접착제가 녹으면서 모든 요소들을 서로 연결시키는 접착방법이다. 땀질에 사용되는 매개체는 연납(軟鑢)과

경납(硬鑢)이 있는데 납이 녹는점에 따라 450℃ 이하의 용점을 가진 것을 연납, 그 이상의 용점을 갖는 것을 경납이라 부른다. 우리나라 신라 누금세공 유물의 접합방법에는 경납에 속하는 금 땀법이 적용된 것으로 알려져 있다¹¹.

금 땀법은 주로 금제품의 접합에 사용되는 것으로 금에 다 은, 구리, 아연, 카드뮴 등을 합금하여 풀위를 떨어뜨리면 용점도 낮아져서 모금보다 빨리 용해된다. 보통 모금보다 약 2개릿 정도 낮은 풀위를 맞추면 50~100℃의 온도차가 생긴다. 누금세공 장식과 같이 바탕금 또는 다른 입자와 최소한의 접합면을 갖도록 하기 위해서는 땀조각을 아주 작게 조각내거나 미세하게 갈아서 사용하는 등 섬세하고 정교한 땀 기술이 필요하며 그 밖에 화학반응에 의한 금속 화합물을 사용하여 금입자를 표면에 붙이는 접합법이 있다.

금제 원추형누금장식(NS-G1)에서 금입자의 접합상태를 자세히 살펴 본 결과 최소한의 접합상태로 깨끗하게 접합되어 있었다(Figure 3A). 이 접합부를 높은 배율로 관찰하면 접착단면에서 응고상 조직이 관찰된다(Figure 3B). 특히 원추형 금판과 상단 띠장식 및 금입자들의 접합면에서 땀의 잔재가 확인되었고 금입자가 탈락된 흔적도 볼 수 있어 접합방법으로 금 땀법의 사용 가능성을 확인하였다(Figure 3C, 3D).

따라서 이를 바탕으로 금판 및 고착된 금입자와 함께 땀의 미세 흔적을 성분 분석하였다(Figure 3C). 이 결과, 금

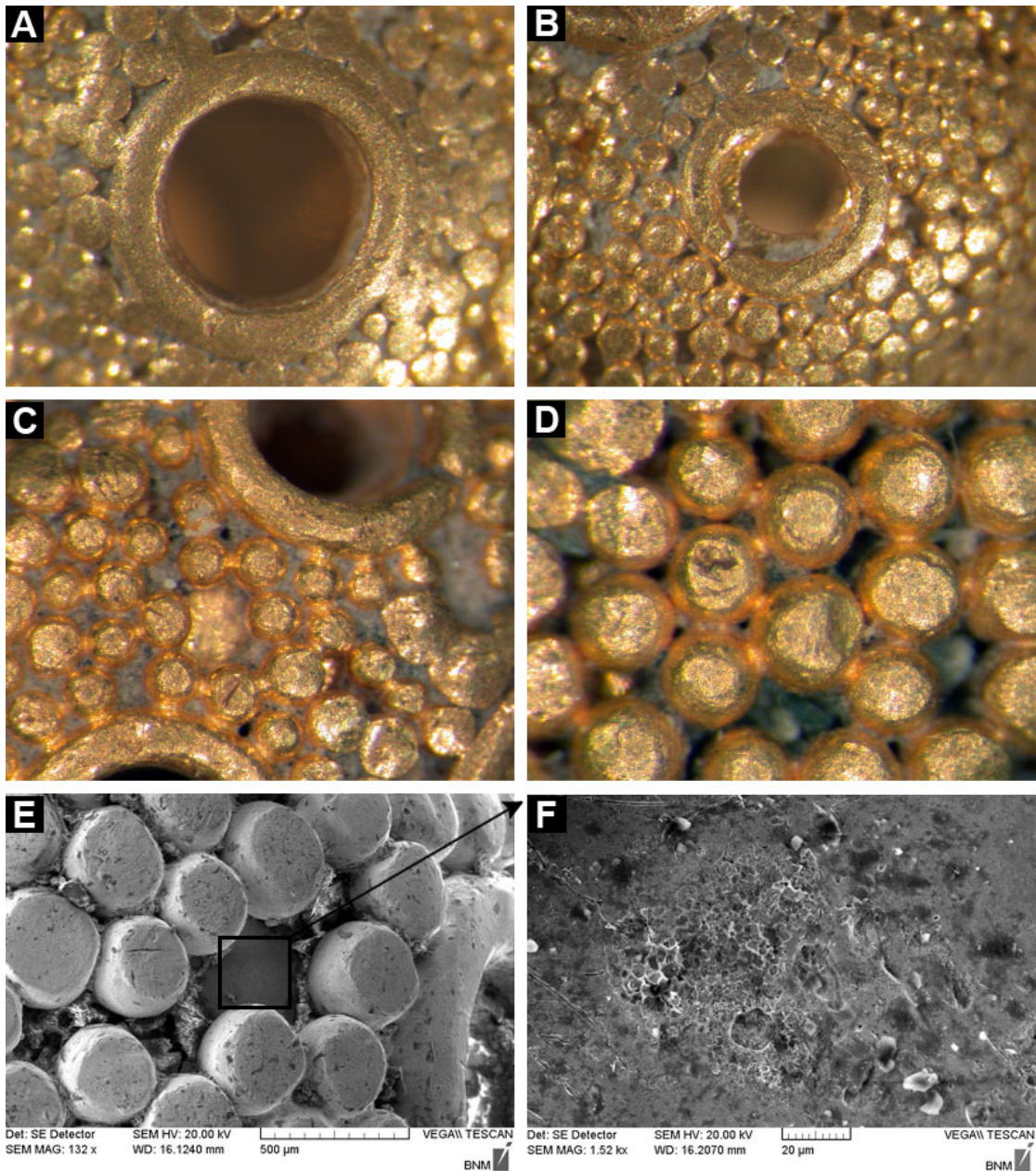
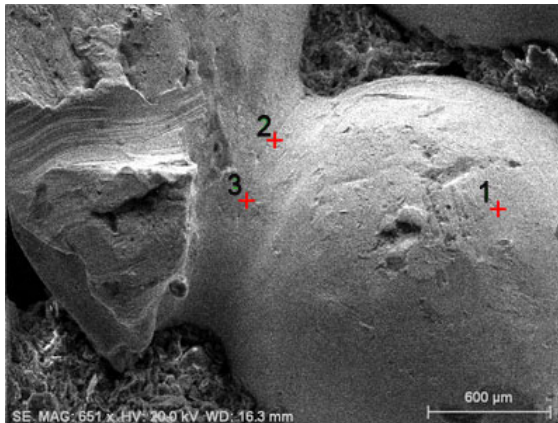


Figure 5. Microphotographs and SEM images of Filligree beads(NS-G2, G3). (A, B) Image that shows decorated border of hole in line of gold thread. (C, D) Join image of gold granules. (E, F) Image that shows gold granule drop and detail image of joint part.

판 및 고착된 금입자에서는 100%의 순금을 나타내는 반면 땀의 미세 흔적을 보이는 부분에서는 금(Au) 98.17%, 구리(Cu) 1.83%로 성분의 차이를 보였다.

여기서 구리 함량이 용점을 낮출 정도로 높게 검출되진

않았지만 EDS의 분석 오차를 고려하고, EDS보다 검출능력이 높은 XRF 분석에서 특히 금입자 부분에 구리 함량이 전반적으로 높게 검출되어 약 2캐럿 정도의 품위를 낮추고 있는 것을 감안할 때, 동을 함유한 금 땀의 사용 가능성을



Element	Al	Au	Total
1(wt.%)	-	100.00	100
2(wt.%)	-	100.00	100
3(wt.%)	1.21	98.79	100

Figure 6. Gold granule join state and join part SEM-EDS result of Filligree bead(NS-G3).

제시할 수도 있을 것이라 판단된다.

누금세공기법의 유물에는 금선이나 금입자만으로 장식하거나 다양한 종류의 가늘고 부드러운 금사를 엮어서 배열한 후 세선이 서로 교차하는 부분이나 문양의 사이사이에 금입자를 붙여 장식을 더욱 화려하게 한다. 나아가 보석류를 비롯한 유리나 유색의 물감을 포함한 장식재료를 첨가함으로써 장식효과를 얻는 경우가 빈번하며 이를 감입세공(嵌入細工)이라 한다.

정밀 현미경 관찰 결과, 금제 원추형누금장식(NS-G1)은 금판으로 금속의 표면을 구획하고 적색 및 흑색 물질을 감장한 것을 알 수 있었다. 따라서 감장해 넣은 적색 및 흑색의 물질이 무엇인지 확인하기 위해 현미경 관찰과 EDS 성분분석을 하였다(Figure 4). 이 결과 적색 물질에서는 높은 수은(Hg)의 함량과 함께 황(S)이 검출되어 진사(HgS)로 해석하였다. 또한 흑색 물질에서는 다양한 성분이 검출되었으나 상대적으로 탄소(C)에서 높은 검출함량을 보여 탄소화합물이 주성분인 흑색안료 또는 먹으로 추정하였다.

이를 통해 보통 감입세공이 적용된 유물이 보석이나 준보석류를 감입하는데 반해 금제 원추형누금장식(NS-G1)은 진사(HgS), 먹과 같은 안료로 감장한 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 백제 무령왕릉 출토 감장용금구의 감장안료의 분석 결과에서도 확인되는 것으로, 당시의 독특한 장식기법일 가능성이 있을 것으로 판단된다¹².

3.2.2. 누금구슬(NS-G2, G3)

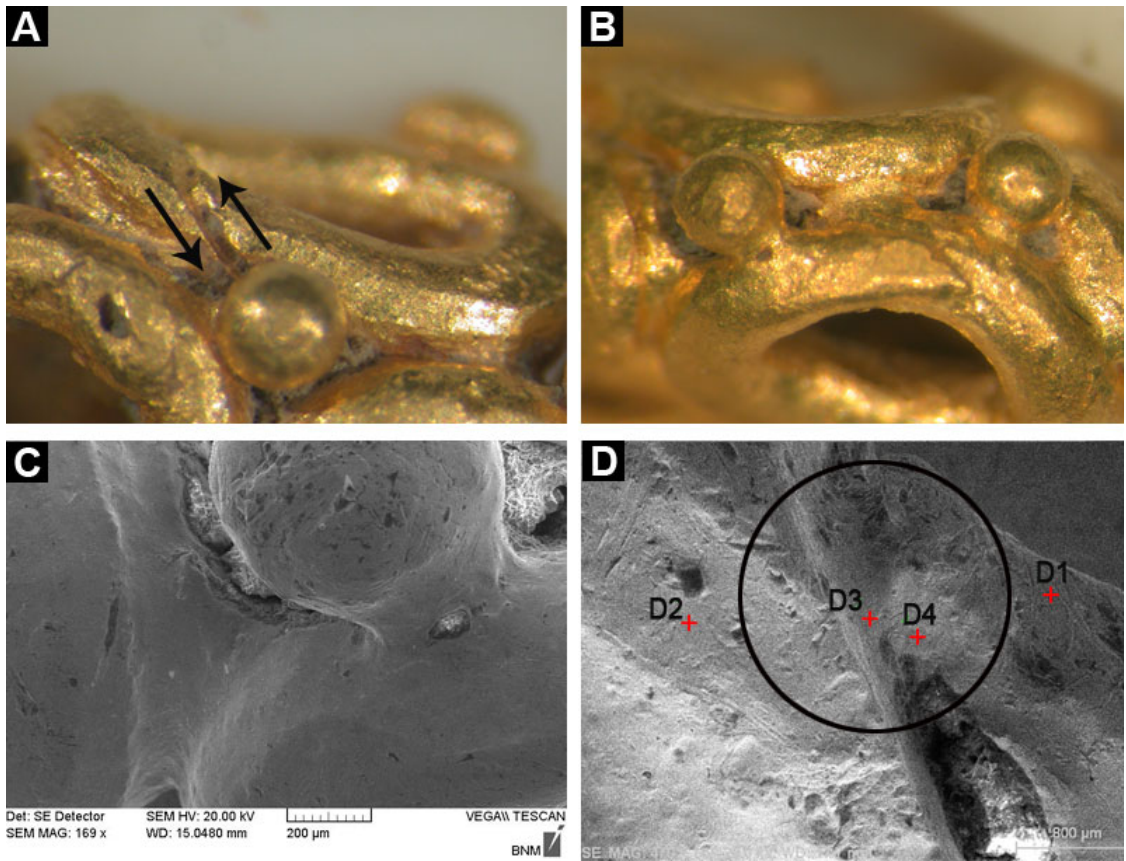
누금으로 표면을 장식한 구슬로, 타원형의 구체를 금으로 만든 다음 중앙에 상하로 관통하는 구멍을 뚫고 측면에

는 상·중·하 단에 각각 5개씩 원 둘레를 따라 이 보다 작은 구멍을 뚫었으며, 구멍 주위에는 금세선을 돌려 테두리를 장식하였다(Figure 5A, 5B). 금판 표면의 나머지 부분은 미세한 금입자들이 2개 이상씩 연결되어 테두리를 중심으로 채워졌으며, 미세 금입자들은 최소한의 결합을 통해 고착된 상태를 나타냈다(Figure 5C, 5D).

주사전자현미경을 통한 영상분석 결과, NS-G2는 중앙의 상하를 관통하는 구멍의 지름이 측면의 구멍에 비해 1.5배 큰 직경을 나타냈으며 구멍의 크기에 상관없이 테두리 금세선의 두께는 0.3mm로 측정되었다. 금입자는 구형에 고른 표면 상태로 제작되었으나 금속판에 접합하는 등 제작 과정에서 형태가 일부 일그러지고 표면이 불균일해진 것으로 판단된다. 직경의 측정 결과, 테두리 금세선의 두께와 같은 0.3mm를 나타냈다.

NS-G3은 중앙의 상하를 관통하는 구멍의 지름이 측면에 비해 1.9배 큰 직경을 나타냈고 구멍 테두리 금세선의 두께는 구멍이 큰 부분에서 0.4mm, 작은 부분에선 0.3mm로 큰 차이를 보이지 않았다. 금입자는 앞서 설명한 NS-G2와 같이 제작과정에서 형성된 미세 가공흔에 의해 형태가 많이 일그러지고 표면이 불균일해진 상태로 직경 0.4mm의 크기를 보였다.

누금구슬 표면에서는 고착된 누금입자들이 부분적으로 탈락된 상태이며 탈락된 부분을 고배율로 살펴본 결과, 접합상태의 흔적은 있으나 너무 미세하여 접합형태를 추정하기 어려웠다(Figure 5E, 5F). 따라서 금입자의 접합단면을 높은 배율과 심도 깊은 입체영상으로 관찰하고 SEM-EDS를 통해 접합단면을 분석하였다(Figure 6).



Element	Al	Ag	Au	Total
D1(wt.%)	-	2.65	97.35	100
D2(wt.%)	-	2.64	97.36	100
D3(wt.%)	-	3.52	96.48	100
D4(wt.%)	0.85	3.45	95.70	100

Figure 7. Microphotographs and SEM-EDS result of Filigree ornament(NS-G4). (A) Connection part image of gold ring. (B) Join state of gold ring and gold granule. (C) Detail image of joint part. (D) Trace of microscopic soldering that is observed from connection part of gold ring.

이 결과, 금입자의 접합면에서 접합단면의 경계면이 뚜렷이 관찰되었다. 또한 접합부의 성분분석에서는 금입자 사이에 충전된 토양성분으로 추정되는 알루미늄(Al)이 1.21% 검출될 뿐 순금에 가까운 금입자와 성분적 차이를 보이지 않았다. 이를 통해 누금구슬의 접합방법을 확인하지 못했지만 금입자의 접합강도가 금제 원추형누금장식에 비해 약한 것을 알 수 있었다.

3.2.3. 누금장식(NS-G4)

누금장식은(NS-G4)는 전체적으로 금제 원추형누금장

식(NS-G1)과 누금구슬(NS-G2, G3)에 비해 밝은 색감을 나타냈다. 실체현미경 관찰 결과, 작은 금제 고리는 제작 시 원형의 금세선을 만든 후 양단을 사선방향으로 절단하여 연결부위의 결합력을 증가시킨 것을 알 수 있었다(Figure 7A). 이렇게 만들어진 고리는 12개를 연결하여 구체를 만들고 고리 사이의 공간에는 금입자를 접합한 것으로, 현재 상하로 찌그러진 상태이다(Figure 7B).

주사전자현미경으로 관찰하고 영상분석을 실시한 결과, 금제 고리와 금입자 모두 표면 질감이 매끈한 상태로, 금제 고리는 크기가 일정하며 0.7mm의 두께를 나타냈다. 연결되

는 고리 사이에 접합된 금입자는 거의 완벽한 구체를 이루며 직경이 0.8mm를 나타냈다. 고리와 금입자는 접합부의 면적이 넓고 매끈한 상태로, 강한 접합강도를 보이며 일부 금제 고리의 사선방향 연결부에서 미세한 땀의 형상이 관찰되어 금 땀의 가능성을 지시하였다(Figure 7C, 7D).

따라서 금 땀 형상이 관찰되는 접합부의 성분을 금제 고리의 소지와 함께 SEM-EDS로 비교 분석하여 누금장식의 접합방법을 살펴보았다. 이 결과, 금제 고리의 소지 2 지점에서는 금(Au)이 약 97%, 은(Ag)이 약 3%로 동일한 검출 함량을 보였다. 접합부에서는 접합부 사이에 충전된 토양 성분으로 인해 알루미늄(Al)이 미량 검출되었으며 금(Au)이 약 96%, 은(Ag)이 약 4%로 금제 고리의 소지와 거의 유사한 성분비를 가지는 것을 확인하였다.

금제품의 접합을 위해 사용되는 금 땀의 경우 소지금속인 금의 녹는점 보다 적어도 50~100℃ 정도 낮도록 금합금 조성비를 조절하여 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 금제 고리의 소지와 고리의 접합부 땀 흔적의 성분 차이를 볼 때, 성분차이에 따른 재료간의 용융점보다는 고리 사이에 금을 미세한 분말로 사용하고 표면적을 넓힘으로써 순식간에 용융이 이루어지도록 하여 접합한 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 부여 능산리사지 출토 누금세공 유물 4점을 대상으로 기초적인 재질특성과 미세조직을 분석하여 각각에 대한 제작방법을 살펴보았으며 이를 정리하면 다음과 같다.

1. 금제 원추형누금장식은 전체 순도가 22.7K로 비교적 높은 순도를 나타냈다. 이는 얇은 금판을 말아 원추형으로 만들고, 상단에는 너비 1.3mm를 보이는 새김무늬 금세선 띠장식을 둘렀으며 띠장식 아래에는 직경 0.7mm 크기의 금입자가 2개 또는 3개씩 연결된 상태로 띠장식과 금판에 부착되었다. 아랫부분에는 0.2mm 두께의 금판을 직각으로 세워 유엽형으로 구획하고 진사(HgS), 떡과 같은 안료로 감장하였으며 바깥쪽을 직경 0.4mm 크기의 금입자로 장식하였다. 원추형 금판과 상단의 띠장식 및 금입자들의 접합면에서는 땀의 잔재가 확인되어 금 땀의 사용 가능성을 지시하였다. 접합부에 대한 SEM-EDS 분석과 금입자의 XRF 분석을 통해 동을 함유한 금 땀을 사용하여 금입자를 접합하였을 것으로 해석하였다.

2. 누금구슬은 2점 모두 순금에 가까운 조성을 나타냈

다. 미세 금입자는 직경 0.3~0.4mm의 크기를 보이며 표면에 최소단면이 접합된 상태이다. 이를 확대 영상으로 살펴본 결과, 금입자의 접합면에서 접합단면의 경계면이 뚜렷이 관찰되어 상대적으로 접합강도가 약한 것을 알 수 있다. 이는 누금구슬 표면에 고착된 누금입자들이 부분적으로 탈락된 상태를 보이는 것을 통해 재차 확인할 수 있다. 금입자의 접합흔적이 관찰되나 형태를 추정하기 어렵고 분석에서도 접합방법에 대한 정확한 증거를 찾기 어려웠다.

3. 누금장식은 금과 은이 97:3의 비율로 합금된 상태이나 전체 순도가 23.1로 아주 높은 수치를 나타냈다. 금제 고리는 0.7mm의 일정한 두께로 제작 시 원형의 금선을 만든 후 양단을 사선방향으로 절단하여 연결부위의 결합력을 증가시킨 모습을 보이며, 연결된 금제 고리 사이사이에 강한 접착강도로 접합된 금입자는 직경 0.8mm의 크기를 나타냈다. 금제 고리의 사선방향 연결부에서 미세한 땀의 모습이 관찰되어 접합방법으로 금 땀의 가능성을 확인하였다. 분석결과, 접합부의 성분이 금제 고리의 소지와 유사한 것으로 보아 용융점의 차이보다는 동일 재료를 분말상태로 미량 바른 후 열을 가해 순식간에 금 땀의 용융이 이루어지도록 하는 접합방법을 적용한 것으로 추정하였다.

이와 같은 결과는 백제시기의 금속 세공기술을 과학적으로 설명하는 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 이난영, "韓國古代의 金屬工藝". 서울대학교 출판부, (2000).
2. 이영희, "古新羅 金屬工藝의 鑲金細工技法 研究". 이화여자대학교 박사학위논문, (1998).
3. 이유진, "고대 누금세공(鑲金細工)기법의 전개와 발전". 기초조형학연구, 7, p377-383, (2006).
4. 권향아, "삼국시대 이식(耳飾)의 누금기법(鑲金細工)에 관한 연구". 한국공예논총, 5, p7-35, (2002).
5. 문환석, 조남철, 홍종욱, "고대 누금 세공기법 제작기술 연구". 보존과학연구, 22, p81-91, (2001).
6. 주진욱, 강대일, "皇南大塚 南墳출토 大環耳飾의 성분분석과 그 특징". 보존과학연구, 27, p130-143 (2006).
7. 허우영, "금제태환이식(보물557호)에 사용된 누금기법". 호암미술관 연구논문집, 6, p113-123, (2003).
8. 허우영, "5-6세기 금제 귀걸이 누금세공에 사용된 접합기법". 삼성미술관Leeum 연구논문집, 1, p135-145, (2005).

9. 국립부여박물관, "농사-부여 능산리사지 발굴조사 진전보고서-" p83-101, (2002).
10. 국립부여박물관, "백제의 공방". p12-23, (2006).
11. 문환석, 조남철, 강대일, 이명희, "재질분석을 통한 제작특성 연구". 감은사지 동 삼층석탑 사리장엄, 국립문화재연구소, (2000).
12. 유혜신, "채색 및 감장안료 분석". 무령왕릉: 출토 유물 분석 보고서(1), p8-27, (2005).