

국보 제123호 왕궁리5층석탑 출토 사리기 성분분석연구

유혜선*, 이영범**

*국립중앙박물관 보존과학실, **국립전주박물관 보존과학실

I. 서론

국립전주박물관은 전북지역에서 출토된 고고 및 미술사 관련 소장품을 대상으로 지속적인 과학적 분석을 실시함으로써 성분 및 제작기법에 대한 연구결과의 데이터베이스(DB)를 구축하고자 한다. 이렇게 축적된 데이터는 고고, 미술사 연구는 물론이고 보존처리 및 유물 복원 등의 기초 자료로 활용될 것이다. 이를 위하여 먼저 전북 익산 왕궁리5층석탑 출토 사리기 일괄품(국보123호)에 대한 비파괴 조사를 국립중앙박물관 보존과학실과 공동으로 실시하였다. 이 사리기는 1965년 5층석탑의 해체 수리복원 과정에서 출토되어 1966년 7월 26일 국보 123호로 지정되었으며, 그 동안은 미술사 특히 금속공예품의 측면에 대한 연구가 주로 수행되어 왔으며, 양식적으로 석탑과 출토유물 등에 대하여 학자들 마다 편년을 달리하는 등 시대를 구분하는데 논란이 많은 것으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 석탑에서 출토된 각 유물들에 대한 과학적인 분석을 실시함으로써 석탑이외의 왕궁리 유적에서 출토된 고고 및 미술자료들에 대한 분석결과와 비교함으로써 보다 과학적인 시대 편년이 될 수 있는 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

II. 조사대상 및 방법

1. 분석대상

표 1. 분석대상

연번	유물번호	유물명	출토지	비고	
1	新2127	유리제사리병	익산 왕궁리 오층석탑	국보123호	
2	新2128	금제사리병좌			금제사리 내합·외합
3	新2123	금제사리내합			
4	新2124	금동제사리외합			
5	新2129	금제불설금강 반야바라밀경			금제경판 내합·외합
6	新2125	금동제경판내합			
7	新2126	금동제경판외합			
8	新2130	금동여래입상			기타 출토품
9	新2131	경식			

2. 분석방법

이동형 X선-형광분석기(ArtTAX μ XRF spectrometer)를 이용하여 비파괴 분석을 수행하였다. 이때 사용한 콜리메이터의 직경은 $600\mu\text{m}$ 이었고, 빔과 시료와의 거리는 4mm, 전압은 50kV, 전류는 $600\mu\text{A}$, 분석시간은 200s의 조건에서 수행하였다. 금제유물의 정량분석은 미국 Taylor사에서 제조한 BRM5(Au75%, Ag15%, Cu10%) 및 일본에서 제조한 금은 합금(Au80%, Ag20%) 표준시료¹⁾를 사용하였다.

III. 분석결과 및 고찰

1. 사리병·내합·외합

1) 유리제사리병(新2127)

유리제사리병을 정성분석한 결과 PbO의 함량이 매우 높은 납유리로 추정되며, Mg의 함유량도 비교적 높은 특징이 있다. 사리병 뚜껑에 대한 정량분석 결과 Au86.30%, Ag13.71%의 평균값을 나타내고 있으며, 금순도는 20.7K로 확인되었다. 그 밖의 원소로 Cu와 Fe가 미량의 불순물로 포함되어 있다.(photol)

1) 공주대학교 문화재보존과학과 김규호 교수 제공

2) 금제사리병좌(新2128)

앞의 유리제사리병의 받침대로서, 연꽃모양 받침 밑에 사각형 모양의 받침이 있는 이중받침구조를 하고 있으며, 특히 연꽃모양 받침은 원형대좌가 부착되어 있으며, 못으로 연결되어 있다.(photo2)

① 연꽃받침

연꽃받침의 분석결과 Au와 Ag가 주성분으로 확인되었으며, 불순물로 Cu, Fe가 미량 함유된 것으로 조사 되었다. 각 분석위치별 보다 자세한 분석결과는 표 2에 수록하였다.

표 2. 금제사리병좌(연꽃받침)의 분석결과

분석위치	Au(%)	Ag(%)	Cu(%)	Fe(%)	금순도(K)
2-1(꽃잎)	88.51	11.49	0.23	0.07	21.2
2-2(꽃잎)	88.01	11.99	0.18	0.05	21.1
b2-3 (대좌뒷면)	86.82	13.82	0.13	0.06	20.8
b2-2 (연결 못)	75.67	25.23	0.18	0.28	18.2

결과에서 보이는 바와 같이 연꽃대좌는 금순도 약 21K의 재료로 제작되었으며, 대좌를 연결시킨 못은 18K의 순도를 갖고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

② 사각형받침

사각형받침에 대한 분석결과 Au, Ag, Hg가 주성분으로 검출되었으며, AgK와 AgL line에서의 농도 값(%)이 동일한 조건에서 측정된 표준시료(Au70:Ag30)와 비교하였을 때 현저한 차이를 나타내고 있는 것으로 보아 사각형 받침은 균일한 물질이라기보다 다층으로 이루어진 물체라고 판단되었다. 특히 Ag의 K와 L line에서 큰 차이를 보이는 것으로부터 도금 층 밑에 은판이 존재할 가능성이 예측되었으며, 또한 분석결과에서 Hg가 검출되는 것으로 보아 아말감 도금기법이 은판위에 사용된 것으로 여겨진다. 그러므로 엄밀히 말하면 금제사리병좌가 아닌 금은제사리병좌가 올바른 명칭으로 판단된다.

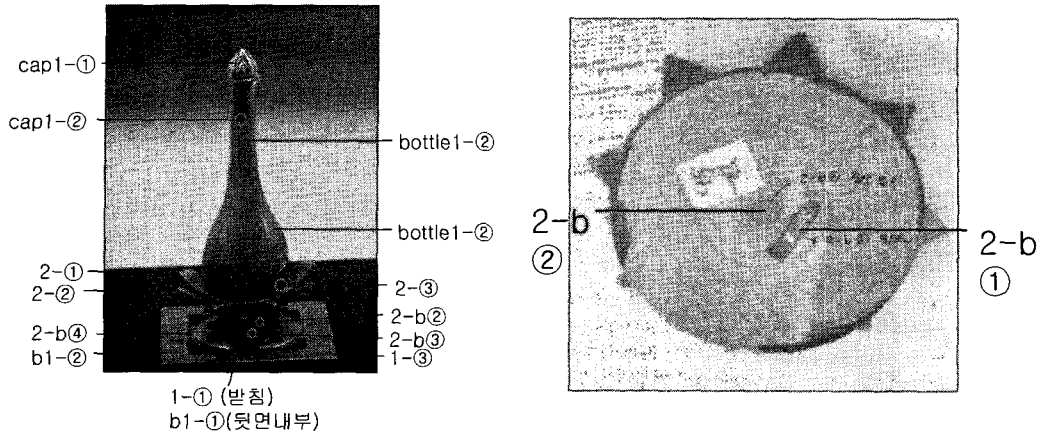


photo1.유리제사리병(新2127) 분석위치 photo2.금제사리병좌(新2128)의 분석위치

3) 금제사리내합(新2123)

금제사리내합의 뚜껑(1)과 몸체부분(2)을 구분하여 분석한 결과를 표3에 수록하였다. 결과를 자세히 살펴보면 먼저 뚜껑부분의 경우 Au가 84.8~87.6%, Ag는 12.5~15.2% 범위의 함유량을 나타내고 있으며, 평균값을 계산하여 보면 Au가 86.05%로서 순도 20.7K의 재료를 이용하여 제작된 것으로 여겨진다. 다음으로 몸체부분은 Au가 86.9~89.2%, Ag는 10.8~13.1% 범위의 함유량을 나타내고 있으며, 평균값을 계산하여 보면 Au가 87.95%로서 순도 21.1K의 재료를 이용하여 제작된 것으로 추정된다.

그 밖에도 극미량의 Cu와 Fe가 검출되는 것을 확인할 수 있으나 불순물로 여겨진다. 그리고 금판을 부착하는데 사용된 금제못의 분석결과 모두 동일한 순도(21.1K)로 확인되었다.(photo3)

표 3. 왕궁리5층석탑 출토 금제사리내합(新2123)의 비파괴 분석결과

분석위치	Au(%)	Ag(%)	Cu(%)	Fe(%)	금순도(K)
1-1	87.58	12.53	0.08	0.06	21.0
1-2	85.12	14.39	0.13	0.05	20.4
1-3	84.83	15.17	0.09	0.03	20.4
1-4	86.68	13.32	0.1	0.04	20.8
1-5	85.28	13.14	0.09	0.03	20.5
1-6	86.83	13.17	0.11	0.05	20.8
평균	86.05	13.62			20.7
2-1	89.18	10.82	0.06	0.02	21.4
2-2	87.81	12.19	0.27	0.04	21.1
2-3	87.87	12.13	0.08	0.02	21.1
2-4	86.93	13.07	0.63	0.04	20.9
평균	87.95	12.05			21.1
1-pin1	87.38	12.62	0.12	0.06	21.0
2-pin1	88.62	11.38	0.63	0.04	21.3
2-pin2	87.07	12.93	0.66	0.12	20.9
평균	87.83	12.31			21.1

이상의 결과로 미루어 보아 사리내합은 순도가 약 21K정도 되는 금판 및 금못으로 제작된 것으로 판단된다.

4) 금동제사리외합(新2124)

사리외합 뚜껑 및 몸체부분 소지는 구리의 함량이 매우 높은 동제로 확인되었으며, 사리외합 표면 전반에 덮혀 있는 적색물질은 Hg가 주성분으로 검출되는 것으로 보아 진사/주(HgS)로 추정되었다(photo4). 여기서 한 가지 주목해야 할 점은 Hg와 함께 Pb의 함유량이 사리외합 소지 표면에 대한 측정값에 비하여 현저히 높다는 것이다. 이러한 결과는 비록 재질과 성격이 전혀 다른 유물이긴 하지만 고구려 쌍영총벽화에서 확인된 벽체위에 연백(염기성탄산납)을 바른 다음 안료를 채색하는 기법과 또한 최근에 분석을 수행한 백제 무령왕릉 출토 석수의 표면에서 연백의 가능성을 찾아 낸 것과 동일한 기법으로 추정되어 한 층 흥미롭다. 사리외합의 표면에는 연백을 도포한 다음 적색안료를 채색한 반면에 외합의 내부에는 주철대신에 수은아말감 도금기법을 사용한 것으로 확인되었다.

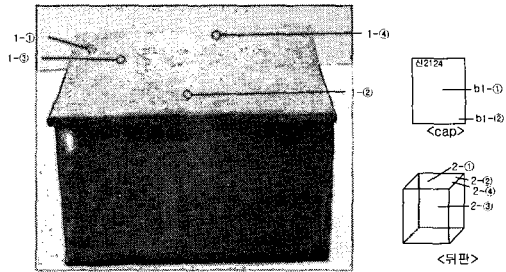
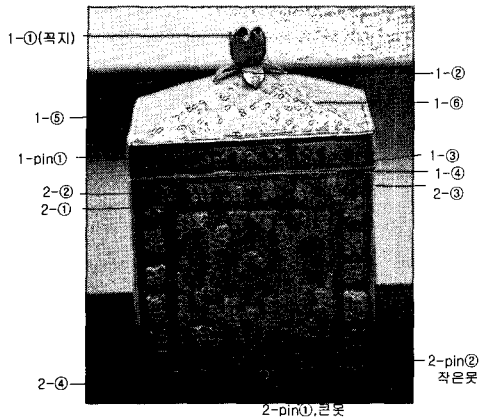
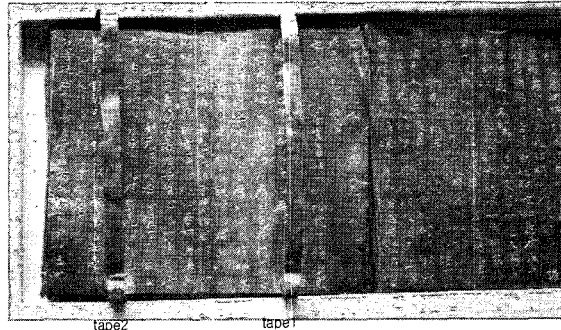


photo3.금제사리내합(新2123)의 분석위치 photo4.금동제사리의합(新2124)의 분석위치

2. 금강경판 · 내합 · 외합

1) 금제불설금강반야바라밀경(新2129)

금제불설금강반야바라밀경은 19장의 경판에 구멍을 내서 경첩으로 연결되어 전체적으로 접을 수 있도록 제작되어 있으며, 각각에 금사가 부착되어 있다. 이 경판(1-1~19-1)과 경첩부분(10-11L, 12-13L 및 16-17L) 및 금사부분(10-11S, 12-13S 및 18-19S)에 대한 정량분석을 실시한 결과 Ag, Au, Hg가 주성분으로 확인되었다. 먼저 경판소지에 대한 분석결과를 자세히 살펴보면 앞 절의 사각형받침의 분석결과와 같이 AgK와 AgL line에서의 농도 값(%)에 현저한 차이를 나타내고 있고, Hg가 검출되는 것으로 보아 은판 위에 수은아말감 도금기법을 이용하여 제작한 것으로 판단된다. 다음으로 경판을 연결한 경첩의 분석결과를 보면 앞의 경판소지의 경우와 마찬가지로 은판위에 수은아말감도금을 한 것으로 추정되었으며, 아울러 경판을 접은 다음 묶은 띠의 경우도 마찬가지로 기법으로 제작된 것으로 추정된다. 마지막으로 금사의 경우는 분석될 수 있는 면이 좁아서 밑에 존재하는 경판의 소지 등에서 Hg 등이 검출되는 등 정확한 분석을 수행 할 수 없었으나 다행히도 18-19S에서는 금사의 정보만이 검출되어 20.0K의 금사가 사용된 것을 추정할 수 있었다.(photo5)



경첩부분(10-11L, 12-13L 및 16-17L)
금사부분(10-11S, 12-13S 및 18-19S)

photo5.금제불설금강반야바라밀경(新2129)의 분석위치

2) 금동제경판내합(新2125)

경판내합은 뚜껑 및 몸체부분 모두에서 Au, Ag, Cu가 주성분으로 확인된 것으로 보아 동소지위에 수은아말감 도금하여 제작한 것으로 여겨진다. 그러나 합을 연결시키고 있는 못을 분석한 결과 금제못으로 확인되었으며, 보다 자세한 분석결과는 표 4에 수록하였다.

표 4. 금동제경판내합(新2125)에 사용된 금제못의 분석결과

분석위치	Au(%)	Ag(%)	Cu(%)	Fe(%)	금순도(K)
1-pin1	80.68	18.89	0.22	0.16	19.4
2-pin1	80.09	19.62	0.2	0.04	19.2
2-pin2	80.36	19.29	0.2	0.11	19.2
2-pin3	80.81	18.86	0.21	0.07	19.4
평균	80.49	19.17			19.3

이상의 결과로부터 금동제경판내합의 표면에는 주철을 내부면에는 수은아말감 도금을 하였고, 경판내합의 연결을 위하여 19.3K의 순도를 갖는 금제못이 사용된 것으로 확인되었다.(photo6)

3) 금동제경판외합(新2126)

금동제경판외합은 앞의 新2124 금동제사리외합의 분석결과와 매우 유사하다. 즉 외합은 비교적 순도가 높은 동으로 제작되었으며, 외합 표면에 연백을 도포한 다음 그

위에 적색안료로 진사/주를 채색한 것으로 확인되었다. 그리고 함의 내부는 앞의 금동제사리의외함의 경우와 마찬가지로 주칠대신에 아말감도금기법을 사용한 것으로 확인되었다.

이상의 결과로 미루어 보아 금동제사리의외함과 경판외함은 동일한 시기에 동일한 제작기법으로 제작된 것으로 추정할 수 있다.(photo7)

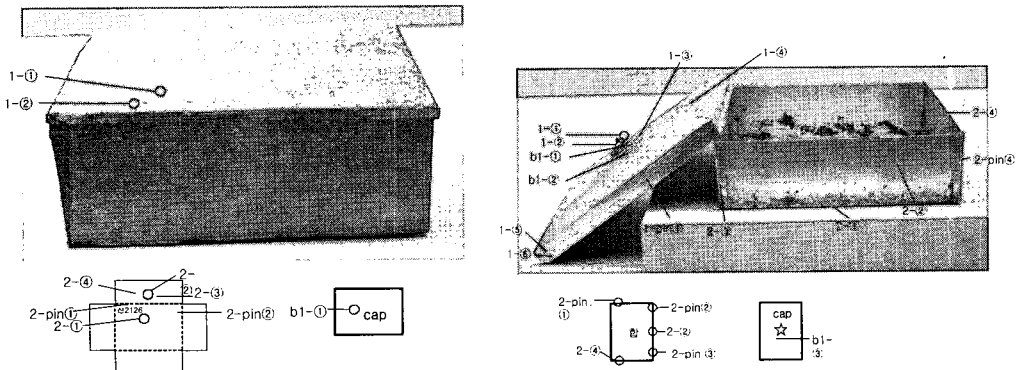


photo6.금동제경판외함(新2126).분석위치 photo7.금동제경판내함(新2125)의 분석위치

3. 그 밖의 출토품

1) 금동여래입상(新2130)

금동여래입상 육계의 청색부분을 분석한 결과 Cu가 97%이상 검출었으며, 이는 동소지층이 분석되었거나 청색안료인 남동광(azurite)이 채색되어 있기 때문으로 여겨진다. 다음으로 얼굴부분은 Au, Cu, Hg가 주성분으로 검출된 것으로 보아 순도가 높은 구리 위에 수은 아말감기법으로 도금된 것으로 여겨진다. 동소지부분의 합금원소를 확인하고자 도금층이 벗겨진 부분에 대한 분석을 수행한 결과 Cu이외에 미량의 Pb가 검출될 뿐 Cu의 순도가 매우 높았다.(photo8)

2) 경식(新2131)

그림 8에서 보이는 유리구슬 중에서 청색유리(blue1) 1점, 녹색유리(green1, 2) 2점에 대한 정성분석을 실시한 결과 청색의 경우는 K(칼륨)의 함량이 높은 알칼리유리이며, Mn의 함량도 비교적 높은 특징을 보이고 있다. 다음으로 녹색의 경우는 green1은 알칼리유리로 추정되며 Cu의 함량이 비교적 높은 특징이 있으며, green2의 경우는 Pb가 80% 이상 검출된 것으로 보아 납유리로 판단된다. (photo9)

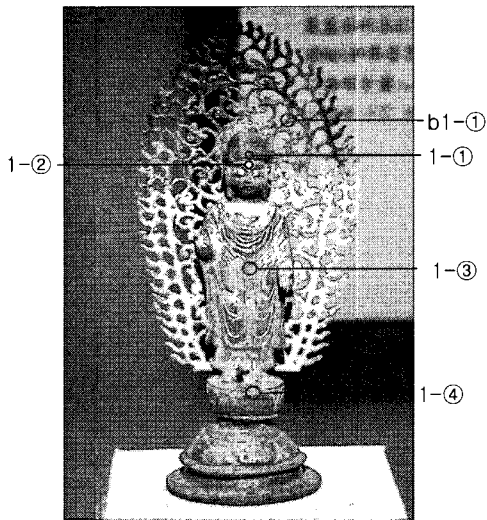


photo8.금동여래입상(新2130)의 분석위치

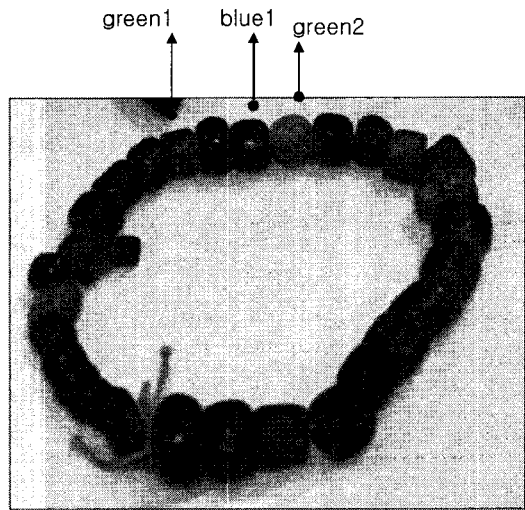


photo9.경식(新2131)의 분석위치

IV. 결론

익산 왕궁리5층석탑 출토유물 유리제사리병(新2127)은 납유리로 확인되었으며, 사리병 뚜껑은 약21K의 순도를 갖는 재료로 제작되었다. 금제사리병좌(新2128)에서 연꽃받침 대좌는 약21K, 연결못은 18K의 순도를 갖는 금제로 추정되지만 사각형받침은 은판 위에 수은아말감 도금을 한 것으로 여겨진다. 금제사리내함(新2123)은 약 21K의 금순도를 갖는 금판 및 금못을 사용하여 제작한 것으로 추정된다. 그리고 금제로 알려진 불설금강반야바라밀경(新2129)도 은판 위에 수은아말감 도금한 유물일 가능성이 더욱 높은 것으로 조사되었다. 금동제사리의외함(新2124), 금동제경판의외함(新2126)은 함의 내부에만 수은아말감 도금기법을 적용하였고, 함의 외부에는 연백을 도포한 다음 주칠(진사/주)을 한 것으로 확인되었다. 금동여래입상(新2130)은 동소지위에 수은아말감 도금한 것으로 추정된다. 경식(新2131)의 유리구슬은 납 및 알칼리유리로 확인되었다.