

# 재현실험을 통한 아말감도금 기술 연구

문환석·한민수\*·고경신\*\*  
국립해양유물전시관 학예연구실,  
\*국립문화재연구소 보존과학연구실,  
\*\*중앙대학교 화학과

## A Technical Study of the Amalgam Gilding through the Reproduction Experiment

Whan Suk Moon, Min Su Han\* and Kyong Shin Koh\*\*  
*Office of Curatorial Affairs, National Maritime Museum,*  
*\*Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage,*  
*\*\*Department of Chemistry, Chung-Ang University*

### 1. 머리말

금속 가공기술에서 도금(鍍金, gilding)이란 소지금속의 표면에 얇은 금층을 입히는 것을 말한다. 넓은 의미로 금속 표면에 금, 은, 니켈, 크롬, 아연, 주석, 납 등의 다른 금속을 피막으로 입혀 아름다움과 내식성을 향상시키는 표면처리를 말하며, 좁은 의미는 금의 피막만을 지칭한다.<sup>1,2</sup> 예로부터 피막형태의 도금기술은 소량의 금으로도 소지금속의 특성을 살리면서 경제적, 장식적 효과와 금이 가지는 약한 강도를 보완할 수 있어 금속공예기술의 하나로 발전되어 왔다.<sup>3</sup>

도금방법은 소지위에 금이나 은의 얇은 막을 직접 올리는 포장도금법(foil gilding), 소지위에 칠, 달걀흰자와 풀 등의 유기 접착제를 사용하는 칠박도금법(leaf gilding)이 있다. 또한 수은의 낮은 용해점을 이용하여 수은에 금을 용해시켜 도포하는 아말감도금법(amalgam or fire gilding)과 수은을 소지에 직접 올리고 금박이나 은박을 입히는 수은박도금법(mercury leaf gilding)이 있는데, 두 방법 모두 도포한 후에 가열하여 수은을 증발시켰다. 하지만 수은을 사용하는 도금은 수은의 유해성으로 인해 19세기 초에 도입된 전기도금으로 대체되고 있으나, 현재 일부지역에서 사용되고 있다.<sup>4</sup>

도금기술은 고대로부터 수많은 종류의 제품에 사용되었으며, 원료의 채취, 제련과 정련, 가공기술 등을 포함하고 있어, 과학적인 분석을 통해 제작 당시의 사회상과 예

술적인 기호뿐만 아니라, 그 민족의 기술수준을 알 수 있게 해준다. 하지만 이같은 제작기술의 연구는 조사대상의 부족과 경우에 따라 소량의 시료를 채취하고, 고가 분석장비를 사용해야 하는 어려움으로 인해 현재까지 부분적으로만 이루어지고 있다.

본 연구는 고대 금속공예의 중요한 위치를 차지하고 있는 아말감도금기술을 규명하고자 출토 유물과 재현한 시료를 비교하였으며, 이들 시료의 수은 검출을 통해 금아말감도금법 또는 수은금박도금법을 사용했는지와 도금두께, 도금순도, 소지금속의 특성 등을 종합적으로 고찰하였다.

## 2. 실험시료

재현시료의 경우 수은, 순금, 금박, 구리판재 등을 구입하여 전승 금속공예 장인의 도움으로 도금유물과 비교할 수 있는 시료를 만들었다. 이때 아말감을 만드는 도금금속의 종류, 금아말감도금과 수은금박도금의 도금특성, 소지금속과 표면처리에 따른 도금작업의 용이성, 도금층의 치밀성 등 고대 도금제작기술을 규명하기 위해 관계되는 여러 가지 요소를 비교할 수 있도록 제작하였다.

출토 유물의 경우 시대별, 지역별로 다양한 시료를 대상으로 조사한 결과를 비교해야 하지만, 유물이라는 특성으로 인해 시료를 구하기 어려웠다. 이 때문에 5세기 말의 경주 황남대총 출토 금동관 등 28점, 통일신라 초기 7세기말의 감은사지 금동외함 등 25점, 6세기 백제권의 나주 복암리 출토 금동식리 등 4점을 대상으로 도금특성을 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### A. 아말감제작

금박과 은박의 경우, 수은과 접촉하는 동시에 바로 용해되어 아말감이 이루어졌다. 이때 금박의 두께는  $0.2\mu\text{m}$ 이었으며, 은박의 경우  $0.4\mu\text{m}$ 이었다. 하지만 금분과 은분처럼 미립자 상태일 경우, 수은 표면에 부유하여 아말감이 거의 만들어지지 않았고, 흔들거나 유리 막대로 저었을 경우에도 같은 결과였다. 가온하였을 때는 쉽게 아말감이 만들어졌으나, 수은이 증발되고 바닥에 흑색 이물질(수은 산화물로 추정)이 침적됨으로써 은백색의 아말감을 이루지 못했다.<sup>5</sup> 따라서 도금재료가 수은에 용해되어 아말감을 이루기 위해서는 적당한 크기의 입자나 얇은 박(薄) 상태여야 함을 알 수 있었다.

출토 유물에서 도금층의 구리성분은 황남대총이 1.31~45.0wt%이고, 감은사지의 경

우 0.65~33.0wt%로 검출되었으며, 복암리의 경우에도 3.78~18.9wt%로 유물에 따라 많은 차이를 나타냈다. 이같이 높은 함량의 구리가 아말감 과정에서 첨가되었는지를 검토하기 위하여 구리로 아말감을 만드는 실험을 실시하였다. 먼저 줄질로 만든 동분을 수은과 혼합했을 때 금과 은처럼 용해되지 않았으며, 72시간 후에도 아말감은 이루어지지 않았다. 또한 가운데여도 수은 증발만 심하게 일어날 뿐 아말감을 이루지 않았다. 이 결과로 도금층에서 구리가 많이 검출되는 이유는 소지 부식물이 도금층에 포함되어 있기 때문으로 추정된다.

## B. 도금순도

출토 유물들의 도금순도를 비교하고자 구리와 수은을 제외하고 금과 은의 성분함량을 100으로 환산하여 검토하였다. 은의 비율을 Y축으로 하여 세 지역 즉 황남대총, 감은사지와 복암리에서 출토된 유물의 분포 상태를 Figure 1에 나타냈다. 황남대총에서 출토된 도금유물의 경우 은 비율은 0.2~17.8로 폭이 넓게 분포하고 있으며, 감은사에서 출토된 도금유물은 은 성분에 영향을 받지 않는 일정한 함량상태로 분포하고 있다. 또한 복암리의 출토유물도 은 성분에 영향을 받으나, 비율차이가 심하지 않게 분포하고 있다.

여기에서 황남대총의 은 함량 차이는 유물의 종류에 따라 순도를 다르게 제작한 것보다 제작자나 공방에 따라 순도 차이가 있다고 추측을 할 수 있다. 즉 고분의 부장품으로 대량의 기물을 제작할 경우, 공방이나 제작자에 따라 사용 재료의 순도도 달랐음을 알 수 있다. 따라서 이런 대단위 부장품의 제작은 한 공방이 아닌 그 당시 운용 가능한 공방이나 장인들이 다를 수 있음을 추측할 수 있다.

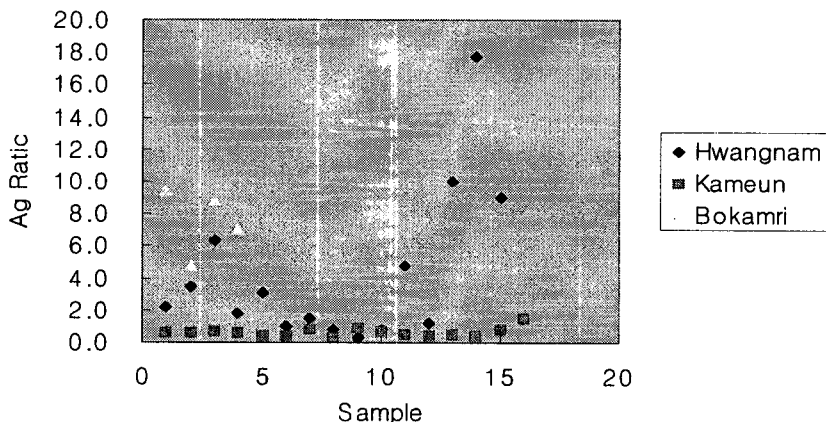


Figure 1. Distribution of silver ratio in gilt amalgam objects.

### C. 소지금속

분석대상 도금유물의 소지금속은 구리 또는 은이었다. 황남대총에서 금속심이 남아 있는 구리소지 유물에서 구리 함량이 평균 96.9wt%로 검출되고, 다른 성분들은 대체로 1wt% 내외로 미량이었다. 또한 은 소지의 경우 은 함량이 평균 98.5wt%로 순은에 가까웠으며, 다른 성분들은 1wt% 미만이었다. 감은사지 소지의 경우 순 구리에 가까웠으나, 내함의 경우 구리가 90.7wt%와 주석이 7.76wt% 검출된 청동이었다. 또한 은 소지 유물의 경우에서 은 함량은 91.7wt%이고, 구리와 금 함량이 각각 2.85wt%와 2.56wt%이었다. 북암리의 경우는 소지가 완전히 부식되어 함량은 측정할 수 없었다.

조사한 소지금속의 성분함량을 볼 때 감은사지 내함을 제외하고 합금이 아닌 주로 순 금속에 도금하였음을 알 수 있다. 합금이 도금된 예로는 부여 능산리에서 출토된 백제금동대향로(白濟金銅大香爐, 국보 제287호)가 있는데, 14.3wt%의 주석이 검출되었다.<sup>6</sup> 이같은 내함과 향로는 얇은 판재에 도금한 것이 아니라, 주조품에 도금하였으며, 여기에서 주조성을 용이하게 하는 납 함량은 1wt% 내외로 낮게 검출되었다.

### D. 단면관찰

도금재현 실험을 통해 금아말감의 경우도 도금공의 숙련도에 따라 수은금박도금과 같이 얇고 균일한 도금층을 올릴 수 있었다. 또한 고대 도금방법을 관찰할 때 소지의 미세한 흠에 도금층이 채워지지 않고, 얇고 치밀한 경우 수은금박도금이며, 흠에 도금층이 채워진 상태면 금아말감도금이라고 구분하는 경향이었으나 재현실험 결과 단순히 균일한 도금두께나 소지의 미세한 흠에 도금 입자가 채워진 상태관찰만으로는 금아말감도금과 수은금박도금을 구분하는 것은 어려웠다.

도금작업은 대체로 복잡한 장식이나 문양이 시문된 유물에서 도금작업 후에 파상문과 점열문의 시문과 구멍을 뚫는 작업이 이루어진 것으로 관찰되었다. 시문작업을 먼저하고 도금하였다면, 시문 부분에 도금입자들이 채워져 미세한 문양을 관찰할 수 없고, 도금층도 치밀하지 않을 것이다. 그러나 기물을 만든 후에 도금 작업을 한 유물도 일부 있다. 황남대총에서 출토된 금동제접시형장식의 경우 테두리 끝부분의 절단면에도 도금층이 존재하는 것으로 미루어 알 수 있으며, 만약 도금 후에 절단했을 경우 테두리 끝부분에서 도금층이 관찰되지 않을 것이다.

균일한 도금층은 한 번의 도금작업으로 이루어지는 것이 아니라 반복 작업을 통하여 이루어지는 것을 알 수 있었으며, 실제 유물에서도 층구조의 도금층을 쉽게 관찰할 수 있다. 또한 광택을 위해 연마하면 도금 입자들이 뭉개지면서 도금표면에 미세한 연마 줄이 생기지만, 소지금속을 노출시키지는 않았다. 즉 한 번의 도금으로 1~3  $\mu\text{m}$  두께의 얇은 도금층이 만들어지지만, 연마작업으로도 도금층이 손상되지 않고, 찬

란한 금 광택을 나타낸다는 것을 알 수 있었다.

도금층의 두께를 측정했을 때 황남대총의 경우 대체로 2~4 $\mu\text{m}$ 로 얇으며, 복암리의 경우도 5 $\mu\text{m}$  이내로 얇다. 그러나 감은사지의 경우에는 10 $\mu\text{m}$  이상으로 매우 두껍다. 재현실험의 금아말감도금과 수은금박도금 모두 1회에서 3회에 걸쳐서 도금하여 연마하였을 때 두께가 1~16 $\mu\text{m}$ 로 범위가 크다. 이같은 출토유물과 재현실험을 비교할 때 도금층이 얇은 경우에도 찬란한 황금색을 나타내는 것은 두께에 따라 색의 차이는 없다는 것을 의미한다.

#### 4. 맺음말

이상과 같이 아말감 도금기술에 대한 출토유물과 재현실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 아말감은 적당한 크기의 입자나 얇은 박(薄)일 경우 바로 이루어졌으나, 입자가 너무 미세한 경우에는 수은에 부유하여 아말감이 쉽게 이루어지지 않았다. 또한 구리의 경우 아말감이 거의 이루어지지 않았다.

둘째, 도금재현 실험결과, 단순히 단면관찰을 통하여 금아말감도금과 수은금박도금을 구분하기는 어려웠다. 두 도금 모두에서 숙련된 도금공이라면 얼마든지 도금층의 치밀함이나 두께를 조절할 수 있다고 생각한다.

셋째, 도금기술로 제작된 공예품이 지금까지 경쟁력을 가지는 이유를 알 수 있었다. 도금 후 연마할 경우 연성이 좋은 도금입자들은 편평해지면서 찬란한 금색을 재현해 주며, 도금층은 두께에 관계없이 한번 도금이 되어지면 소지를 손상시키지 않는 한 쉽게 떨어지지 않았다.

넷째, 도금유물의 소지는 주로 구리나 은으로 다른 주석이나 납 등이 합금되지 않은 순수한 금속을 사용하였다. 대체로 도금유물은 판재에 세밀하고 정교한 투조와 시문을 위해 경도가 높은 합금보다 낮은 순 금속을 사용했다고 본다. 또한 주석, 납, 아연으로 합금하였을 경우 도금이 잘 올라가지 않는 특성에서 순수한 금속을 제련하고 정련하는 뛰어난 야금기술을 엿볼 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. 姜大一, “韓半島 出土 鍍金 資料의 分析”, 『文化財』, 제26권, 文化財管理局, 1994, 181~ 184.

2. 權香阿, 『韓國 古代의 金屬材料』, 한국공예총론, 1999, 69~86.
3. 임선기, 강대일, 김선덕, 박동규, 강성균, “미륵사지 출토 고대 금동유물의 도금 기법에 관한 연구”, 『保存科學研究』, 제 14호, 1993, 59~95.
4. Andrew Oddy, “A history of gilding with particular reference to statuary”, 『Gilded Metals』, 2000, 1~19.
5. 한민수, 황진주, 문환석, “고대 도금제작 기술에 관한 연구”, 『保存科學研究』, 제23호, 2002, 113~130.
6. 강대일, 한성희, 강형태, 안희균, 황진주, 임선기, “扶餘 陵山里 出土 金銅龍鳳蓬萊山香爐의 科學的 分析”, 『보존과학회지』, 제3호, 1994, 19~22.