고대 도금 제작 기술에 관한 연구

(수은 아말감 도금법을 중심으로)

A study on the production techniques of ancient gilding (Focus on the mercury amalgam gilding)

韓旼洙 · 黃振周 · 文煥晳

Min Su Han, Jin Ju Hwang and Whan Suk Moon

ABSTRACT

This study is to disclose the gilding technique and distinctive features of using surface improvement technique in ancient gilt. There are many kinds of the ancient gilding technique so this thesis mainly focused on mercury amalgam gilding.

Gilding technique can be largely divided into two branches - the cladding and amalgam method - in ancient periods.

The researches have been carried out on two parts; the first is to find the making progress of amalgam on all sort of the gilding materials and the second is to show features of the gilded layer among basic metals.

As a result of this experiment, to achieve good quality of amalgam, suitable particle size of the gilding material should be needed and the heating, a primary factor, has an effect on amalgam to be formed. A special features of amalgam gilding, according to changing the basic metal, would be influenced by chemical attraction for the mercury, condition of the surface and some other factors. A platers 'abilities and the making progress of amalgam would be influenced by a uniform and good gilding layer.

In conclusion, it should be profoundly studied and investigated on the ancient gilding techniques and gold-gilt relics.

Ⅰ. 서론

인류는 오래 전부터 금속을 이용하여 그들이 필요로 하는 도구를 만들어 사용하였으며, 우리나라에서도 일찍부터 상당히 정교한 금속공예품을 만들어 도구로 사용하였다.[1] 그 중에서도 특히 표면에 금, 은, 동 등의 금속을 피막형태로 입히는 표면장식 기술의 하나인 도금기술이 성행하였으며, 이는 소량의 금이나 은, 동으로도 장신구류, 식기류, 용기류 등을 피막 장식하는 기술로 소지금속의 특성을 살리면서 경제적, 장식적 효과를 모두 가질 수 있게 하는 금속공예기법의 하나이다.[2-3] 특히 발굴되고 있는 유물 가운데 상당부분을 차지하고 있는 것이 동 또는 동합금에 소량의 금을 이용하여 도금을 실시한 것들이다.

도금이란 넓은 의미로 금속 제품(동, 청동, 황동, 은, 철 등)의 표면에 금, 은, 니켈, 크롬, 아연, 주석, 납 등의 다른 금속을 얇게 피막으로 입혀 미관, 내식성, 내마모성 등을 향상시키는 표면처리를 말하며, 좁은 의미로는 금만을 지칭한다.[4] 또한 고대의 도금법으로는 크래딩(Cladding)법과 아말감(Amalgam)법이 있는데 크래딩법은 청동과 금을 열로써 접착시키는 방법으로 비교적 표면상태가 단조롭고 작은 제품에 사용하며, 아말감법은 수은에 녹은 금니(金泥)를 금속표면에 도포하여 도금하므로 복잡하고 큰 것에도 사용할 수 있는 방법이다.[5]

우리나라 고대 도금법으로는 칠이나 아교와 같은 유기물질을 사용하여 금박을 접합시키는 칠박(漆箔)도금법, 소지금속을 금이나 은박으로 접착제를 사용하지 않고 감장하는 금은장(金銀裝)법, 소지금속 위에 아말감을 도포한 다음 그 위에 박(箔)을 올리고 열을 가해 수은을 증발시키는 박(箔)도금법, 은과 구리 및 구리합금제 기물에 얇은 금박을 올려놓고 반대면에서 가열하면서 광쇠질을 해주는 크래딩법과 수은에 금속을 용해시켜 아말감 상태로 만든 다음 소지금속에 아말감을 올리고 열을 가해 수은을 증발시키는 아말감법 등이 있다.[6]

본 연구는 고대 금속공예기법에서 표면처리기술에 해당되었던 도금기술에 대한 재현실험을 통하여 고대 도금법에 대한 제작기술 등의 기초자료를 마련하고,

자연과학적인 관점에서 고찰과 기존에 연구된 우리나라 고대 도금유물에서 도금에 관한 자료들과 서로 비교 · 검토하고자 하였다.

Ⅱ. 도금실험

1. 대상

도금 실험은 먼저 각 도금금속의 아말감 상태를 실험한 후 소지금속(동, 은, 황동합금)과 도금금속(금박, 금분, 은박, 은분, 동분), 도금회수(1회, 2회, 3회), 표면처리(질산에칭, 질산수은에칭) 등을 변화시켜 가며 도금을 실시하였다. 특히 이번 실험에서는 수은 아말감을 이용한 금도금법을 중심으로 실험을 실시하였다.

2. 실험방법

도금 실험은 다양한 문헌상의 기록과 전통 금속공예 전승 장인이나 금속공예가들의 자문을 토대로 실험 과정과 방법을 구성하였으며, 가열기구나 합금 용기 등의 변화를 제외한다면 고대의 방식과 커다란 차이를 보이지 않는다. 또한 실험방법은 아말감 도금법을 위주로 하여 다음과 같이 서술할 수 있다.

(1) 아말감 제조실험

아말감 제조는 재료별로 실온과 가온에 의해 제조실험을 실시하였으며, 아말감 재료는 분말금분, 줄질금분, 금박(2겹지), 분말은분, 은박(1겹지), 줄질동(동분) 등을 사용하였고, 아말감 재료와 수은을 1 : 5의 비율로 용기 안에서 섞어 아말감의 상태를 확인하였다.[7)]

(2) 아말감도금법

① 용기 속에 금분(금박)과 수은을 1 : 5의 중량비로 혼합하여 충분히 섞는다.

② 금 아말감이 너무 부드러울 때는 한지로 감싸서 수은을 짜내고, 너무 딱딱하면 수은을 첨가하여 부드럽게 한다.

③ 소지금속을 세척(에칭과정 포함)하고, 3차 증류수로 3회 이상 세척하여 표면에 남아있는 이물질과 산기를 완전히 제거한다.

④ 구리주걱 등을 이용하여 금 아말감을 소지금속에 균일하게 바른다.

⑤ 소성장치를 이용하여 약 350°C정도로 가열 소성한다.

⑥ 냉각된 것을 확인하고, 시편을 소성장치에서 꺼내 묽은 산으로 닦고, 3차 증류수로 잘 세척한다.

⑦ 도금한 면을 광쇠로 잘 문지른다.

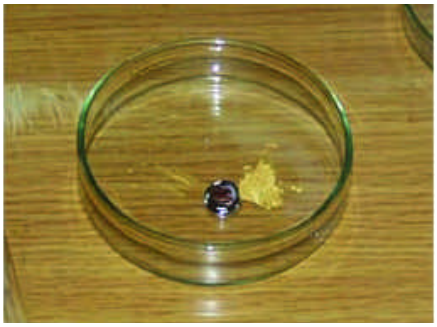
⑧ 필요한 경우 ④~⑦의 공정을 여러 번 반복한다.[8)]

위의 실험 과정(Photo 1)에서 가장 중요한 것은 모든 소지를 충분히 세척하여 유기물 등의 부식물을 제거해야 하며, 현대에도 귀금속 도금전의 세척공정들이 귀금속 도금층으로부터 요구되는 최상품을 생산하는데 가장 중요한 인자로 작용하고 있다.[9)] 그러므로 고대에도 이러한 세척 과정을 가장 중요시했을 것으로 생각된다.

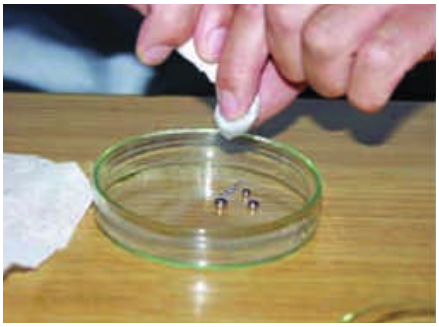
III. 분석방법

1. 단면관찰

도금층의 상태를 관찰하기 위하여 도금시료의 일부를 절단하여 에폭시수지로 마운팅한 후 연마지 #200, #500, #800, #1200, #1500, #2000, #2400, #4000을 사용하여 순서대로 양호한 도금층이 나올 때까지 그라인딩(grinding)과 연마(mechanical polishing)를 하였고, 광학현미경(Optical Microscope, Carl Zeiss, Axiotech

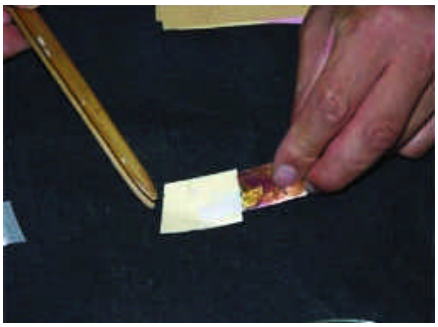


(1) 아말감 제작



(2) 수은 짜내기

(3) 금분아말감 올리기



(4) 금박 올리기

(5) 가열소성

(6) 광쇠질

Photo 1.
수은 아말감 도금 실험 과정

100HD/Progress 3012, Germany)으로 도금층의 단면을 관찰하였다. 또한 영상분석기(Image Analyzer, Carl Zeiss, KS300 System, Germany)를 사용하여 각 도금층의 두께를 측정하였다.

2. 성분분석

도금층과 소지금속의 성분은 SEM(Scanning Electron Microscope, Jeol, JSM-5910LV, Japan)에 부착된 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy, Oxford 7324, England)를 사용하여 분석하였으며, 도금층에 대한 원소별 mapping을 실시하여 성분별 분포상태를 알아보았다. 또한 도금막 및 소지금속의 성분함량에 대한 정량분석의 경우 주사전자현미경에 부착된 WDS(Wave Dispersive Spectroscopy, IncaWave, UK)를 사용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 아말감 실험 결과

재료별로 아말감 실험을 한 결과 재료와 가온 여부에 따라 아말감의 상태와 아말감화 속도 등이 상이한 차이를 보였으며, 그 내용을 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 분말금분은 금분이 너무 미립자 상태로 존재하여 막자로 섞지않고 흔들었을 경우 아말감이 쉽게 형성되지 않고 수은의 표면에 부유하는 현상을 나타내었다.

(2) 줄질금분은 입자가 상당히 커 쉽게 아말감이 되지 않았으며, 입자의 크기가 클수록 아말감에 더 긴 시간이 요구되므로 줄질에 의한 입자의 크기 조절도 상당히 중요한 인자임을 알았다.

(3) 금박(2겹지)의 경우 수은에 접촉됨과 동시에 즉시 아말감이 형성되었다.

(4) 분말은분은 72시간 후에도 아말감이 완전히 형성되지 않았으며, 가온 후 양호한 아말감이 형성되었다.

(5) 은박(1겹지)은 금박과 같이 수은에 접촉됨과 동시에 즉시 아말감이 형성되었다.

(6) 줄질동(동분)은 72시간 후에도 거의 아말감이 형성되지 않았으며, 이후 가온한 상태에서도 아말감이 잘 형성되지 않고, 수은의 증발이 심하게 일어났다.

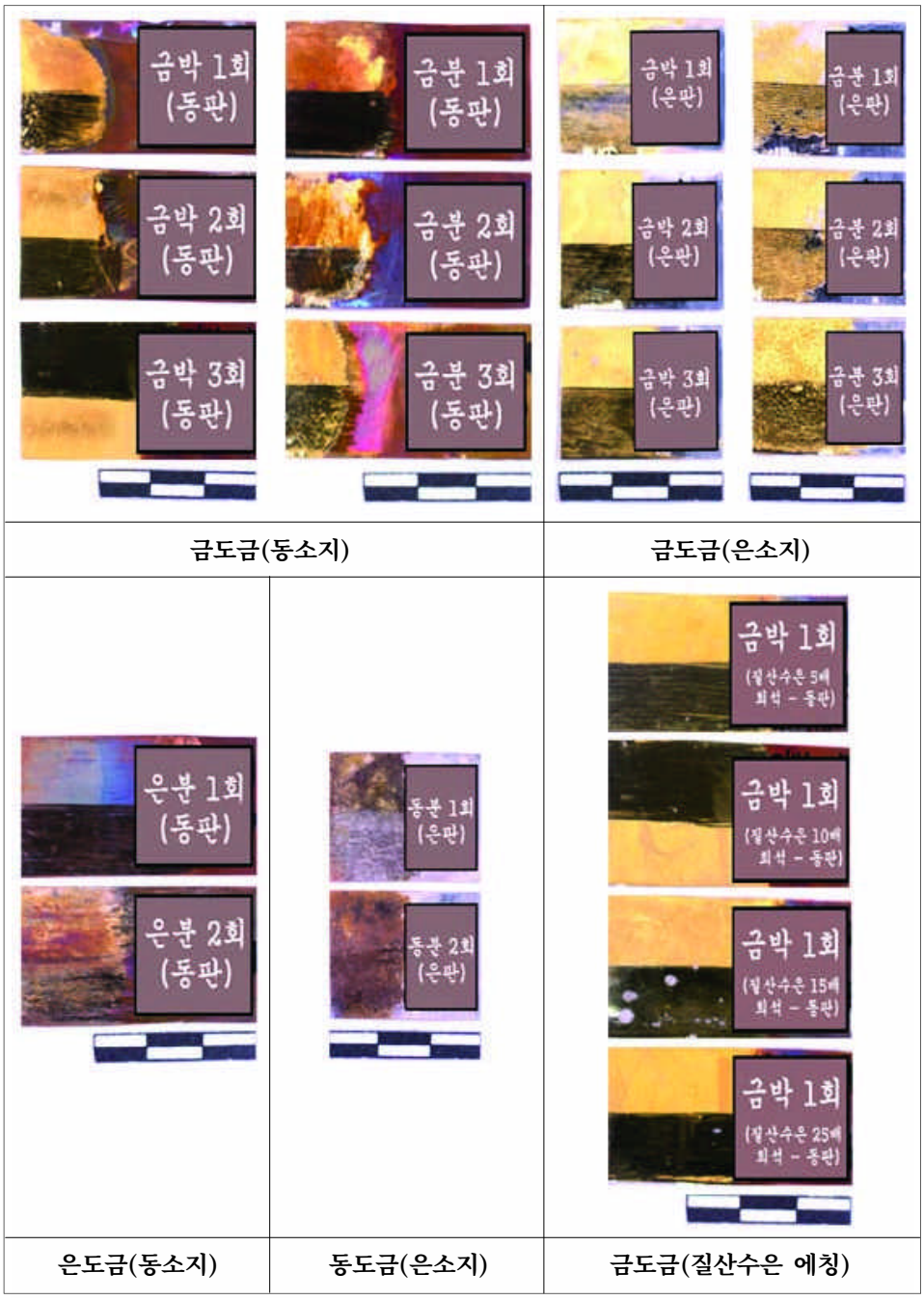
(7) 아말감 재료에 대한 가온 실험 결과 가온에 의해 아말감의 속도가 더욱 빨라지며, 일부 불순물이 연소되어 바닥에 흑색의 이물질이 관찰되었다.

2. 도금 실험 결과

(1) 표면처리에 따른 도금 특성에서 질산(HCl)에칭의 경우 질산의 농도를 10%, 20%, 30%, 40%로 하여 에칭하고 아말감의 증착 비교 실험을 한 결과 질산 20%에서 에칭한 소지금속에 가장 아말감이 잘 올라갔으며, 질산수은[Hg(NO3)2]에칭의 경우 먼저 질산수은을 제조하고 용액의 농도를 증류수로 희석하여 5배, 10배, 15배, 25배로 만든 후 소지금속을 에칭하고 아말감의 증착 실험을 한 결과 모든 농도에서 아말감이 잘 되는 것으로 보아 소지금속(동, 은)과 거의 무관하며, 단지 에칭시키는 시간과 관계 있을 것으로 생각된다.

(2) 소지금속의 종류에 따른 도금 특성에서 동소지의 경우 금박과 금분 아말감이 모두 양호하게 도금되었으며, 은소지의 경우 아말감이 동소지보다 우수하게 나타났으나 광택작업시 소지가 얇을 경우 늘어나는 특징을 보였고, 황동합금의 경우 동보다 아말감이 어렵고, 쉽게 도금막이 형성되지 않는 특징을 보였다. 또한 소지에 따른 도금의 차이도 있으나 작업자의 경험과 숙련도에 따라 크게 좌우됨을 알 수 있었다.

(3) Photo 2는 도금한 시료들의 상태를 나타낸 것이다. 일반적으로 금박도금이 금분도금에 비해 양호한 표면상태를 나타내며, 이것은 Photo 3에서 더욱 자

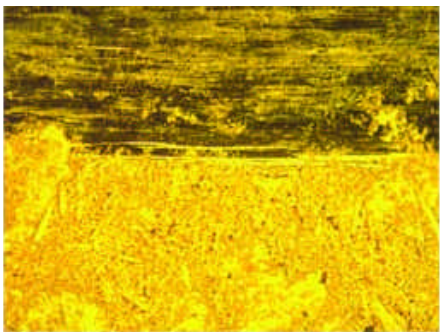


금도금(동소지)	금도금(은소지)

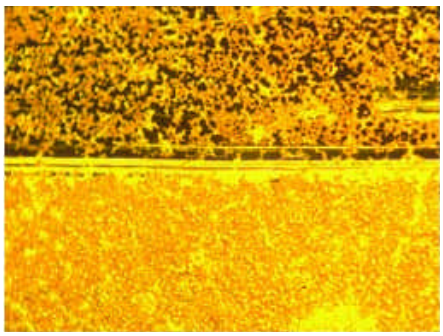
은도금(동소지)	동도금(은소지)	금도금(질산수은 에칭)

Photo 2.
도금시료의 상태

세히 관찰할 수 있다. 에칭액에 의한 도금층의 상태는 거의 구별할 수 없었고, Photo 4는 동소지와 은소지에 금박도금을 한 후 광쇠질을 한 시료이다. 여기에서 동소지의 경우 금입자의 사이에 소지금속이 조금씩 보이고 있으며, 은소지의 경우 소지가 늘어나 금도금층에 균열이 생성되어 박락되는 모습을 볼 수 있다. Photo 5의 경우 소지에 따른 도금의 차이도 있으나 아말감이 균일하게 되지 않은 부분에서 과열에 의하여 도금층이 손상된 모습을 볼 수 있다.

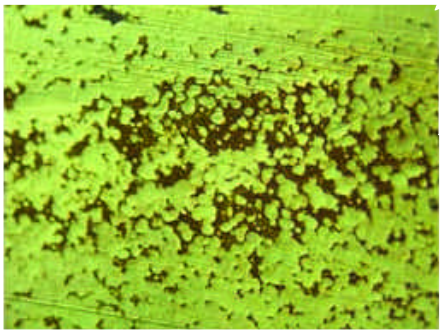


금박 1회 - 동판 - 대물렌즈 5X

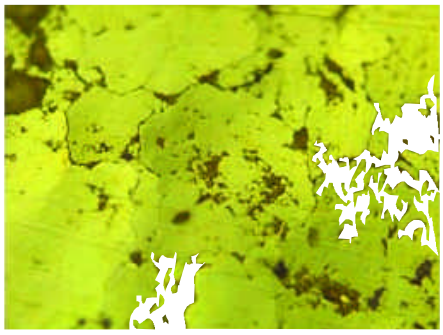


금분 3회 - 동판 - 대물렌즈 5X

Photo 3.
금박과 금분도금층 비교

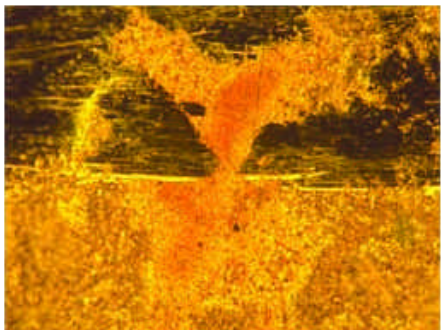


금박 1회 - 동판 - 대물렌즈 20X

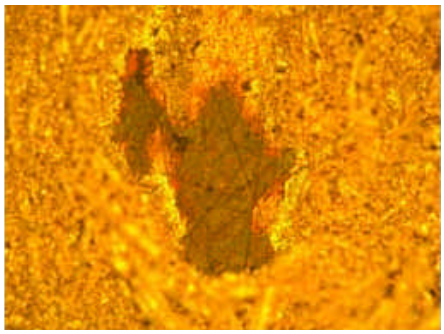


금박 3회 - 은판 - 대물렌즈 20X

Photo 4.
금도금층을 광쇠질 후 표면 관찰



금분 3회 - 동판 - 대물렌즈 5X



금분 3회 - 동판 - 대물렌즈 10X

Photo 5.
금분 입자의 과열 흔적

3. 도금층의 단면상태 비교

도금층의 상태를 살펴본 결과(Fig. 1, 2) 금박이나 금분이 모두 소지금속에 영향을 적게 받으며 도금되었다는 것을 알 수 있었고, 1회 도금에 비해서 2, 3회의 도금이 더욱 잘 되어 두꺼운 도금층이 형성된 것을 볼 수 있다. 그러나 도금층이 일정한 두께로 도금되기보다는 불균일하게 되는 것으로 보아 도금시 도금공의 숙련도에 따라 도금층의 상태가 많이 달라질 수 있음을 시사한다고 할 수 있고, 이는 도금층내의 기공이나 차후 박락에도 영향을 줄 것으로 사료된다. 특히 은소지의 경우 광쇠질에 의해 늘어날 정도로 소지가 얇을 경우 광쇠질을 할 때 도금층이 늘어나 변형되거나 내부의 크랙이 형성되는 것을 볼 수 있고, 동분아말감의 경우 도금층에 수많은 기공이 존재하는 것을 볼 수 있는데 이는 동분이 충분한 아말감을 형성하지 않고 굵은 입자형태로 도금되었기 때문으로 생각되어진다.

실험결과 나타난 도금층에 대한 두께는 임의로 10곳의 두께를 측정하여 평균하였으며, 그 결과 소지와 관계없이 금박의 경우 광쇠질한 부분이 1.6~14㎛(최대 20 ㎛), 광쇠질 하지 않은 곳이 2.5~19㎛(최대 30 ㎛)였고, 금분의 경우 광쇠질한 부분이 0.8~15㎛(최대 16 ㎛), 광쇠질 하지 않은 곳이 3.2~30㎛(최대 50 ㎛)였다.

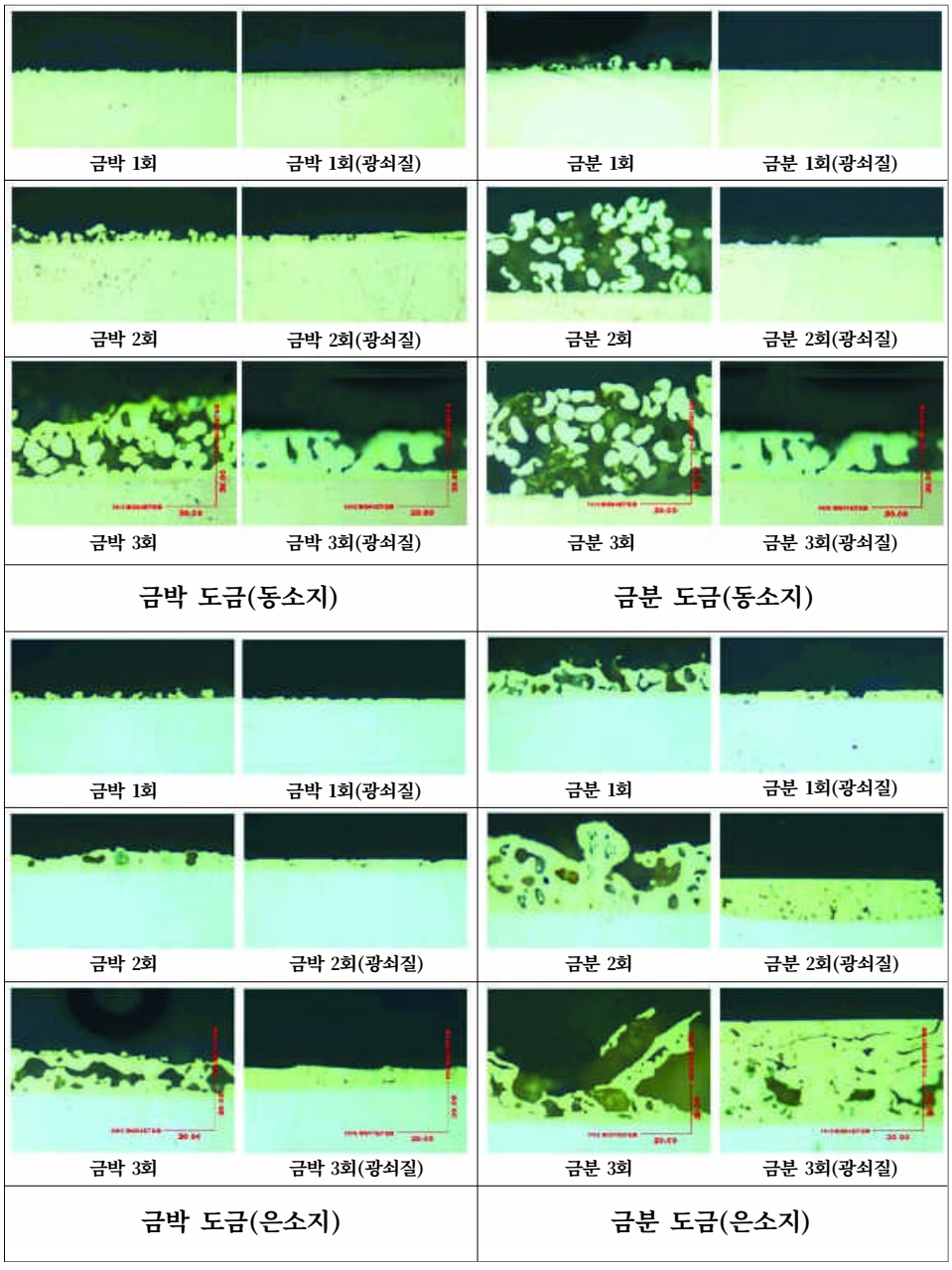


Fig. 1.
금도금층 단면관찰

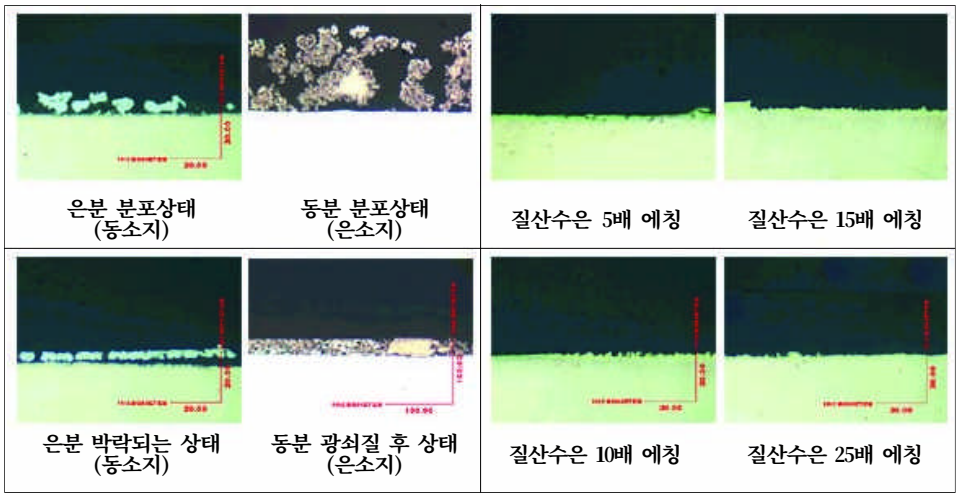


Fig. 2.
은분 및 동분도금층 단면,
질산수은 에칭 후
도금시료 단면 관찰

이는 고대의 유물조사 자료인 경주황남대총 출토유물의 금동제에 분석결과 도금피막의 두께가 5.99~12.97㎛인 것과 기존에 발표된 논문의 실험에서 3회 반복시 11㎛의 두께를 얻을 수 있다는 자료와 비교했을 때 유사한 값을 나타내었다.[3, 10] 특히 실험에서 두껍게 측정된 부분의 경우 기존 실험의 결과 값과 비교해 볼 때 실험에서 나타난 오차로 볼 수 있어 특별한 요인이 작용한 것으로는 보기 어려웠다.[11]

4. 도금층의 함량분석 결과

도금층의 함량 분석은 각 도금층의 성분함량을 소수점 3자리까지 무게비(wt%)로 결과 값을 얻었으며, 임의의 3점에 대하여 5회 이상 반복 분석하여 그 결과치를 소수점 1자리까지 나타내었다. Tabel 1에서와 같이 도금층의 함량변화에서 1회 도금은 2, 3회의 도금에 비해 소지금속의 함량이 유사하게 나타나지만 수은의 함량이 2배 정도 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 금과 수은의 함량은 기존의 재현실험에서 EDS로 분석한 결과 값인 Au(88wt%), Hg(12wt%)와 고대 유물의 분석자료에서 보여준 2.44~12.4wt%값과 거의 유사하게 나타났다.[3] 은분 도

금층의 성분분석 결과 소지금속과 은의 함량은 낮게 나온 반면 수은의 함량이 36~45wt %로 매우 높게 나타나는 특성을 가졌으나 동분 도금층의 경우 오히려 수은과 소지금속의 함량이 낮게 나타나고 동분(Cu)의 함량이 95~99wt%로 도금층 성분의 대부분을 차지한 것으로 나타났다.

EDS를 통해 도금층을 원소별로 mapping한 결과(Fig. 3, 4) 금도금층의 경우 수은이 고루 분포한 형태를 보이고 있으나, 동분 도금층의 경우 수은과 소지금속, 동분(Cu)등이 매우 분리되어 분석되고 있는 것을 볼 수 있었다. 이는 동분이 수은과 아말감이 잘되지 않는다는 것을 재확인시켜 주는 결과이다.

Table 1. 도금층의 성분분석 결과

도금성분	소지금속	도금회수	광쇠질여부	평균함량		
				Au	Hg	Cu
금박아말감	동판	1회	0	83.2	15.2	1.6
			X	85.4	11.1	3.5
		2회	0	94.5	4.3	1.2
			X	92.6	3.4	4.0
		3회	0	95.1	3.8	1.1
			X	95.4	3.5	1.1
금분아말감	동판	1회	0	87.4	10.5	2.1
			X	88.2	8.1	3.7
		2회	0	92.5	5.6	1.9
			X	93.1	5.4	1.5
		3회	0	93.1	5.6	1.3
			X	95.1	4.2	0.7
				Au	Hg	Ag
금박아말감	은판	1회	0	85.2	13.3	1.5
			X	88.1	10.0	1.9
		2회	0	91.2	7.6	1.2
			X	93.2	5.0	1.8
		3회	0	95.1	3.8	1.1
			X	95.2	3.8	1.0
금분아말감	은판	1회	0	79.4	20.1	0.5
			X	78.3	19.8	1.9
		2회	0	93.2	6.2	0.6
			X	93.5	5.2	1.3
		3회	0	95.7	3.5	0.8
			X	96.1	2.6	1.3
				Ag	Hg	Cu
은분아말감	동판	1회	0	61.9	36.4	1.7
			X	56.8	41.6	1.6
		2회	0	61.5	36.5	2.0
			X	53.2	45.2	1.6
				Cu	Hg	Ag
동분아말감	은판	1회	0	99.2	0.7	0.1
			X	94.1	4.8	1.1
		2회	0	99.5	0.4	0.1
			X	95.1	4.6	0.3

** 단위 : wt%

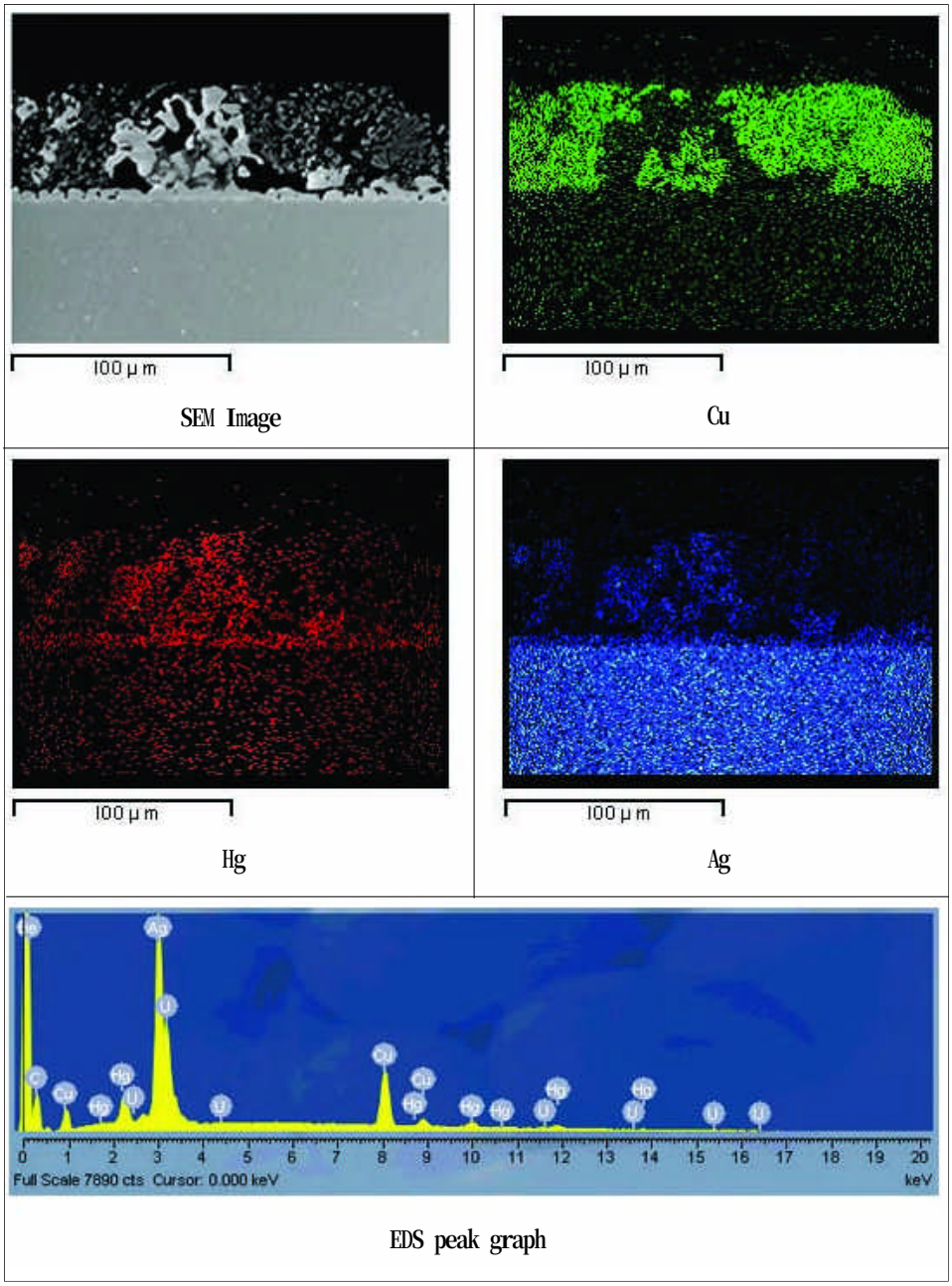


Fig. 3.
동분 도금층(은소지)의 광쇠질 후 EDS mapping 결과

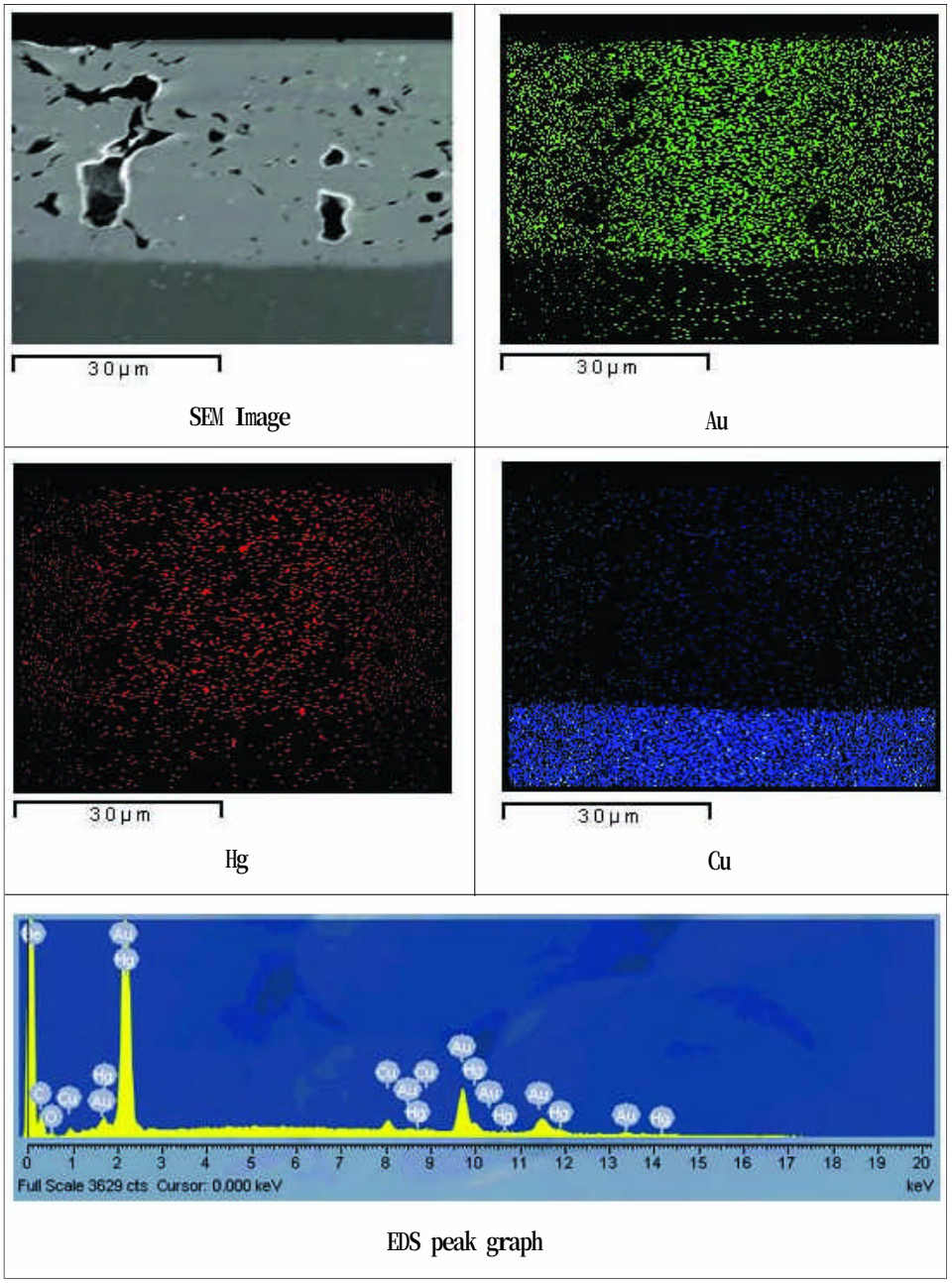


Fig. 4.
금분 3회 도금층(동소지)의
광쇠질 후 EDS mapping 결과

Ⅴ. 결론

고대 도금 실험에 대해 수은 아말감 도금을 중심으로 그 기법을 고찰해 본 결과 현대의 제련 기술이나 원료, 도구에서 발생하는 오차가 있어 고대의 도금 기술을 완벽하게 규명하는데는 다소 어려움이 있었다. 그러나 기초 자료를 확립하는데 있어서 새로운 고찰이었으며, 실험을 통해 밝혀진 결과들을 몇 가지로 요약하면 다음과 같다.

첫째, 아말감이 잘 되기 위해서는 적당한 입자크기를 지녀야 하며, 가온에 의한 아말감은 일반적으로 아말감을 잘되게 하는 요인으로 작용한다. 또한 고대의 금아말감에서 은 등의 다른 성분이 검출되는 것이 인위적인 첨가에 의한 것인지 정련이나 소지의 영향에 의한 것인지는 추가적인 고찰이 필요하다.

둘째, 소지금속에 따른 아말감도금의 특성은 수은과의 친화성, 표면의 세척 등 여러 가지 요인에 의해 좌우되며, 고대 도금 유물에서 소지금속을 동(구리)이나 은을 사용한 것과 실험에서 황동의 경우 쉽게 아말감도금이 이루어지지 않은 것으로 보아 합금소지에 도금작업을 수행하는 것이 어렵다는 것을 이미 고대 도금공들이 습득하고 있었을 것으로 사료된다. 또한 소지금속이 적당한 두께가 아닐 정도로 얇을 경우 광쇠질에 의해 소지금속이 늘어나고 도금층의 균열이 생성되게 된다.

셋째, 금박과 금분도금을 실시하고 현미경으로 조직을 관찰한 결과 금분도금의 경우도 금박도금과 같이 얇은 금박층을 올리는 것이 가능하고, 도금공의 숙련도에 따라 도금층의 상태 변화가 있는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구자들의 자료에 의해 고대 유물에 대한 도금법의 연구에서 금박 또는 금분도금의 판단은 보다 심도있는 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

넷째, 아말감 도금에서 도금층에 대한 각 원소의 분포 양상을 살펴본 결과 고른 분포형태를 나타내고 있었으며, 도금층의 평균 두께와 평균 함량의 경우도 고대의 금동유물에서와 유사한 값을 나타냈다.

참고문헌

1. 진홍섭,『한국금속공예』, 일지사, 1986, p.7.
2. 이영희,『고신라 금속공예의 누금세공기법 연구』, 이화여자대학교 박사학위논문, 1997, p.7-61.
3. 林善基,『古代 金銅遺物의 金鍍金 被膜에 關한 硏究』, 漢陽大學校 碩士學位論文, 1992, p.1-10.
4. 姜大一,『韓半島 出土 鍍金 資料의 分析』, 文化財管理局, 文化財, 26집, 1994, p.181-184.
5. 權香阿,『韓國 古代의 金屬材料』, 한국공예총론, 1999, p.69-86.
6. 임선기, 강대일, 김선덕, 임동규, 강성군, " 미륵사지 출토 고대 금동유물의 도금기법에 관한 연구 ", 보존과학연구, 14집, 1993, p.95.
7. Oppi Untrcht,『Jewelry Concepts and Technology』, 1995, p.348-363.
8. 히라오요시미츠,『문화재를 연구하는 과학의 눈』, 학연문화사, 2001, p.89-93.
9. 김희정, " 귀금속도금 ", 한국금속공학회, 18집, 1980, p.95-105.
10. 小林謙一, " 金銅技術佃について ", 小林行雄博上 古稀記念論文集, p.409.
11. 한만성,『우리나라 고대 아말감 도금법 연구』, 국민대학교 석사학위논문, 2000, p.1-44.