

벨기에 왕립예술역사박물관 소장 고려시대 금동침통의 과학적 보존처리를 통한 제작기법 연구

Study of the Production
Techniques Used in the
Goryeo-period Gilt-Bronze
Case for Acupuncture in
the Collection of the Royal
Museums of Art and History,
Belgium

이재성*, 박영환

국립문화재연구원 문화재보존과학센터

Lee Jaesung*, Park Younghwan
Cultural Heritage Conservation Science
Center, National Research Institute of
Cultural Heritage

* Corresponding Author :
Lee Jaesung

Tel : 82-42-860-9376
E-mail : metal@korea.kr

요약

전 세계 22개국에 흩어져 있는 우리 문화재는 20만 여점에 이른다. 저마다 다른 사연을 가지고 외국에 나가게 된 우리 문화재 중 일부는 해외 기관에 소장되어 세계인들에게 우리 문화를 알리고 있지만 훼손되어 전시되지 못하는 경우도 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 2013년부터 '국외 소재 한국문화재 보존·복원 및 활용 지원 사업'을 추진하고 있다. 2021년은 한국과 벨기에 수교 120주년을 기념하여 벨기에 왕립예술역사박물관 소장 고려시대 금동침통을 국내에 들여와 보존처리했다. 보존처리의 기본 방향은 원형을 보존하고 부식이 지속되는 것을 최대한 늦추는 것이기 때문에 표면 부식물 제거, 안정화처리, 강화처리를 거치는 기본적인 보존처리 순서로 진행하였다. 하지만 국외 소재 한국문화재 보존처리 지원 사업 중 금속문화재로서는 처음으로 보존처리된 사례이기 때문에 국외 기관과의 차별화가 필요했다. 이를 위해 X선 투과조사, 컴퓨터단층촬영, 3차원 현미경 조사 등 과학적인 조사·분석법으로 고려시대의 다양한 금속 공예기술을 파악하였다. 표면에 정교하게 새겨진 연꽃, 넝쿨 등의 다양한 문양은 끝이 둥근 정을 이용해 점선으로 시문했다. 또한 문양이 새겨진 구리판을 원통형으로 말기 위해서 양끝을 약 2~3mm 정도 겹쳐지게 은땜으로 접합하였으며, 겹친 부위의 단차가 거의 없을 정도로 평평하게 단접하였다. 제작과정의 마지막 과정에서는 금분을 이용한 아말감 도금법으로 표면을 화려하게 도금하였다. 국외 소재 한국문화재인 벨기에 왕립예술역사박물관 소장 금동침통에 대한 보존처리로 원형을 보존하고, 더 이상의 추가적인 부식을 예방하였다. 특히 국외 소재 한국문화재에 대한 과학적 조사를 통해 역사적 가치와 학술적 가치를 되살릴 수 있었다.

주제어 : 금동침통, 보존처리, 은땜, 아말감 도금법, 벨기에

Abstract

Over 200,000 Korean cultural heritage items are currently located abroad. They have made their way to 22 countries under different circumstances and with unique backgrounds. While some of them continue to contribute to promoting Korean culture around the world, others cannot be exhibited due to damage or poor condition. In view of these circumstances, the Overseas Korean Cultural Heritage Foundation (OKCHF) has since 2013 provided museums and art galleries abroad with support for the conservation, restoration, and utilization of the Korean cultural heritage items that they house. As a part of these efforts and on the occasion of the 120th anniversary of the diplomatic relationship between the Republic of Korea and the Kingdom of Belgium in 2021, a gilt-bronze case for acupuncture needles dating to the Goryeo period (918–1392) from the collection of the Royal Museums of Art and History (RMAH), Belgium was brought to Korea for conservation treatment. The primary purpose of this conservation treatment was to restore the original form of the relic and slow to the degree possible the progress of corrosion. The conservation treatment of the gilt-bronze case followed the fundamental order of conservation treatment: removal of corrosive substances, stabilization, and reinforcement. Since this was the first case of restoring metallic cultural properties under the abovementioned support program by the OKCHF, special methodologies distinct from those available in overseas institutions were required. Diverse scientific methods (e.g., X-ray inspection, CT scanning, 3D microscopy) were applied to identify the metalcraft techniques used in the Goryeo period.

The analysis found that several designs, including lotus and scrollwork, were exquisitely engraved on the surface of the case by making dots using a round-edged chisel. A bronze plate engraved with designs was rolled into a cylindrical form. The ends were overlapped by 2 to 3 centimeters and then attached to each other by silver soldering. The overlapping ends were welded flat with nearly no gaps. As the final process in the production, the case was lavishly gilt with gold powder using amalgam gilding. The conservation treatment of the gilt-bronze case for acupunctural needles in the RMAH collection restored the original form of the relic and arrested further corrosion. Above all, it revived the historic and academic value of the overseas Korean cultural heritage through scientific analysis.

Keywords : Gilt-bronze case for Acupuncture Needles, Conservation Treatment, Silver Soldering, Amalgam Gilding, Belgium

투고일: 2022.04.04. 심사(수정)일: 2022.04.19. 게재확정일: 2022.04.19.

1. 서론

전 세계 22개국에 흩어져 있는 우리 문화재는 20만 여점에 이른다. 저마다 다른 사연을 가지고 외국에 나가게 된 우리 문화재 중 일부는 해외 기관에 소장되어 세계인들에게 우리 문화를 알리고 있지만 훼손되어 전시되지 못하는 경우도 있다.

국외소재문화재재단은 손상이 심해 현지에서 활용이 어려운 우리 문화재가 다시 빛을 볼 수 있도록 지난 2013년부터 꾸준히 해외 박물관, 미술관을 대상으로 국외문화재 보존·복원 및 활용 지원 사업을 진행하고 있다. 이 사업의 연장선에서 실시한 이번 보존처리는 한국-벨기에 수교 120주년을 기념하여 추진하게 되었다. 지난 2019년 11월, 「문화재청과 벨기에 연방과학정책청 간 2021년 한국-벨기에 수교 120주년 기념 벨기에 소재 한국문화재 프로젝트에 대한 양해각서」를 체결함에 따라 벨기에 왕립예술역사박물관에서 소장하고 있는 한국문화재 중 고려시대 금동침통을 보존처리하였다.

그동안 국외소재 한국문화재 중 지류문화재나 도자기에 대한 보존처리 지원사업은 있었으나 금속문화재는 처음 실시하기 때문에 보존처리 능력을 갖춘 국외 기관과의 차별화가 필요했다. 금속문화재의 보존처리는 국내외 기관이 서로 유사한 재료나 방법을 적용하므로, 한국문화재의 가치를 높일 수 있는 보존처리 방법을 모색하였다. 이를 위해 금동침통이 지닌 원형의 가치를 되살리는 최신 과학기법의 조사·분석을 적용하였다. 또한 국외 소재 금속문화재에 대한 보존처리의 중요성을 알리기 위해 방사선 비파괴조사, 3D 스캔, 도면화 등 각 과정을 디지털 자료로 남겨 전시 및 홍보에 활용이 가능하도록 하였다.

고려시대 침통은 형태나 문양, 장식기법 면에서 다른 나라나 다른 시기의 침통과는 구분되는 독특한 특징을 가지고 있다^[3]. 따라서 고려시대 금속공예 기술의 특징을 찾는 과학적인 조사가 필요하다. 또한 금동침통의 일부 표면에는 흑회색의 부식물이 도금층을 침식하고 있어 이들 부식물을 안전하게 제거하는 보존처리가 요구되었다.

본 연구에서는 국외 소재 한국문화재인 금동침통을 보존처리하여 원형을 보존하고, 보관 장소인 벨기에 현지에서 안전하게 전시될 수 있도록 부식을 억제하였다. 또한, 방사선 비파괴조사 및 성분 분석 등 과학적 조사를 통해 금동침통에 적용된 고려시대의 금속공예 기술을 고찰해 보았다.

2. 연구대상 및 분석 방법

2.1. 금동침통의 형태적 특징

금동침통은 얇은 구리판에 넝쿨과 연꽃 등의 무늬를 정교하게 새기고 표면을 도금한 고려시대 금속공예품이다. 의료 도구인 침을 넣어두는 용도의 이 침통은 벨기에 왕립예술역사박물관이 1947년 구입한 것으로 소장기관의 관리카드에 따르면 뚜껑은 없는 상태이다. 실측한 도면의 둘레 길이에 따르면 가로 폭이 30mm인 한 장의 구리판을 원통형으로 말고, 양 끝을 겹치게 접합하였다. 구리판의 두께는 0.4~0.7mm로 타출된 문양면에 따라 약간의 차이를 보이지만 평균 0.5mm의 얇은 두께를 가진다^(표1).

금동침통의 몸통에는 일부 파손 흔적이 있지만 비교적 안정적인 상태이다. 구리판이 접합된 길이 방향으로 검은색 부식물이 생성되어 있어 제거가 필요했으며, 부식물이 제거된 접합면에서는 마감면을 따라 서로 연결된 무늬의 형태도 확인할 수 있다. 하단부에는 백색과 적색 안료로 유물관리 번호인 '1470'이 기재되어 있다^(도1).

표 1. 금동침통의 크기 및 무게

높이(mm)	지름(mm)	둘레(mm)	두께(mm)	무게(g)
60	10	상단 28 / 중간 31 / 하단 29	0.4~0.7	5.3



도 1. 금동침통의 보존처리 전 후 상태

a	b	c	e
		d	f

- (a) 접합면
- (b) 유물번호 기재
- (c) 접합면 확대
- (d) 유물 번호 확대
- (e) 상단부 마감
- (f) 하단부

2.2. 분석 방법

금동침통의 재질 특성과 제작기법을 파악하기 위해 유물 원형 그대로 비파괴 분석을 실시하였다. 분석은 크게 유물 표면 관찰을 위한 현미경 조사와 내부 구조 확인을 위한 방사선 비파괴 투과조사, 내시경 조사를 실시하고, 재질 특성을 파악하기 위해 성분 분석을 실시하였다.

분석 대상 금동침통의 표면에 세밀하게 새겨진 문양은 육안으로 관찰하기 어려운 부분들이 있어 3차원 실체현미경(DVM-6, Leica, DEU)을 이용하여 고배율로 관찰하고, 실체현미경으로 관찰이 어려운 미세영역은 주사전자현미경(SEM, IT-300, JEOL, JPN)으로 확대 관찰하였다. 주사전자현미경은 가속전압 20kV, Working Distance 10mm의 조건으로 분석하였다.

겉으로 확인되지 않은 유물 내부 구조를 관찰하기 위해 Soft X선 투과조사(M-150, SOFTEX, JPN)를 실시하고, 다양한 각도에서 내부를 투과한 X선 이미지의 3차원 재구성을 위해 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography, SEC, KOR)을 실시하였다. 또한 방사선 비파괴조사로 파악하기 어려운 내부의 문양면과 접합면의 형태는 내시경(IFLEX FX, Olympus, JPN)으로 관찰하였다. 금동침통에 행해진 과거 보수 흔적을 확인하기 위해 암실 환경에서 자외선을 비추고 DSLR 카메라로 촬영하였다.

성분 분석은 비파괴 방법으로 진행하였으며, 먼저 전체적인 성분 조성을 파악하기 위해 P-XRF(Vanta-M, Olympus, USA)로 도금층과 이음새 단접부위를 분석하고, 에너지분산형 분광분석기(EDS, X-Max, OXFORD, UK)로 도금층, 문양, 이음새 단접부위를 구분하여 분석하였다.

3. 보존처리 및 과학적 조사 결과

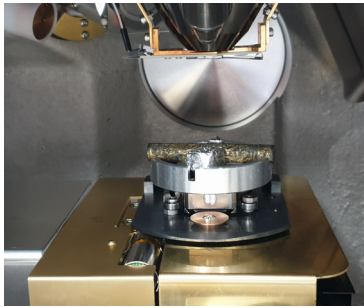
3.1. 금동침통에 대한 과학적 보존처리

3.1.1. 보존처리 전 상태 조사

금속 재질의 금동침통은 보존처리에 앞서 X선 투과 조사, CT 촬영, 자외선 촬영, 내시경 촬영, 실체현미경 조사를 통해 내부 구조 및 형태, 보존 상태를 파악하였다. 또한 금속 재질에 적합한 보존처리 방법을 적용하기 위해 XRF, SEM-EDS 등 성분 분석을 실시하였다^(E2). 이들 비파괴 조사법에 의한 내부 조사 및 성분 분석으로 금동침통의 금속 성분과 제작기법을 확인할 수 있었다.

보존상태 조사 및 과학적 분석 결과는 구리 소재에 금도금한 금동침통의 보존처리 방법 설정에 큰 도움이 되었다. 또한 접합면의 검은색 부식물과 '1470' 번호는 제거 가능한 것으로 분석되었으며, 이를 토대로 세척 및 이물질 제거 과정에 보존처리를 집중하였다. 또한 자외선으로 표면을 조사한 결과, 하단부 유물번호 윗부분의 균

열 부위를 접착제로 고정시킨 흔적을 찾을 수 있었다. 보존처리 순서는 세척 및 이물질 제거, 안정화, 강화처리 순서로 진행하였다.



(a) 두께 측정 및 실측
(b) 성분 분석(SEM-EDS)
(c) 자외선조사 결과

도2. 보존처리 전 상태 조사

3.1.2. 세척 및 부식물 제거

금동침통의 표면에 부착된 오염물과 단단하게 고착된 부식물을 제거하였다. 금속 유물의 표면에는 오랜 시간 생성된 부식물이 유물의 형태를 이루고 있기 때문에 모두 제거할 경우 원형을 훼손할 수 있다. 따라서 보존 상태에 영향을 주는 유해한 부식화합물이나 원형과 관련 없는 오염물을 제거하였으며, 유물에 남아 있는 가공 흔적이나 미관상 크게 거슬리지 않는 보수 흔적은 최대한 남겼다.

금동침통의 도금층에는 부분적으로 청녹색의 구리 부식물이 생성되고, 일부 문양면은 부식에 의해 침식되고 있어 에틸 알콜(Ethyl Alcohol) 등 유기용제를 이용해 무리하지 않게 제거하였다. 성분 분석 결과 은부식물로 확인된 접합면의 검은색 부식물은 현미경으로 확대 관찰하며 예리한 수술용 칼로 제거하였다^(E3). 또한 침통의 아래쪽에 흰색과 적색 안료로 쓴 아라비아 숫자 '1470'은 먼저 아세톤(Acetone)으로 최대한 제거한 후에도 남아 있는 글씨 흔적은 부식물 제거 방법과 동일하게 수술용 칼로 제거하였다. 모든 부식물 및 오염물 제거가 완료된 후에는 에틸 알콜과 이온수를 50:50으로 혼합한 용액에 침적시켜 분말 형태의 잔존 오염물을 최대한 제거하였다.



도3. 표면 이물질 및 부식물 제거

3.1.3. 안정화 및 강화처리

구리를 기본 소재로 제작된 금동침통의 부식억제를 위해 B.T.A(Benzotriazole)로 안정화처리를 했다. B.T.A법은 구리와 BTA가 반응하여 구리 금속에 염화물 이온의 침식 활동을 저지하는 화합물 피막을 만들어 부식을 방지한다. 금동침통은 재질이 취약하고, 일부 합성수지를 이용한 보수 흔적이 있기 때문에 에틸 알콜에 3%로 용해시킨 BTA 용액에 약 3분간 침적시킨 뒤 바로 꺼내 상온에서 건조시켰다. 안정화처리 이후에는 열풍순환건조기에서 40℃ 이하의 낮은 온도로 건조시켜 최대한 유물 내부에 잔류하는 수분을 충분히 제거하였다. 금동침통을 낮은 온도에서 건조시킨 이유는 과거에 합성수지로 접합·보수한 부위가 남아 있기 때문이다.

강화처리는 부식되어 손상될 가능성이 있는 유물의 재질을 강화시키는 과정이다. 녹으로 덮여 있고 내부에는 다수의 균열이나 틈이 있어 파손되기 쉽기 때문에 아크릴계 합성수지인 Paraloid B72 10% 용액(in Acetone)으로 표면을 코팅시키고 재질을 강화처리하였다. 보수 흔적이 있고 재질이 취약한 금동침통을 Paraloid B72 10% 용액에 긴 시간 침적시킬 경우, 용제로 사용된 아세톤이 보수 흔적에 영향을 미칠 수 있으므로 내부에 용액이 잘 들어가도록 약 3분간 침적시킨 뒤 바로 꺼내 건조시키는 방법을 2차례 반복하였다^(도4).

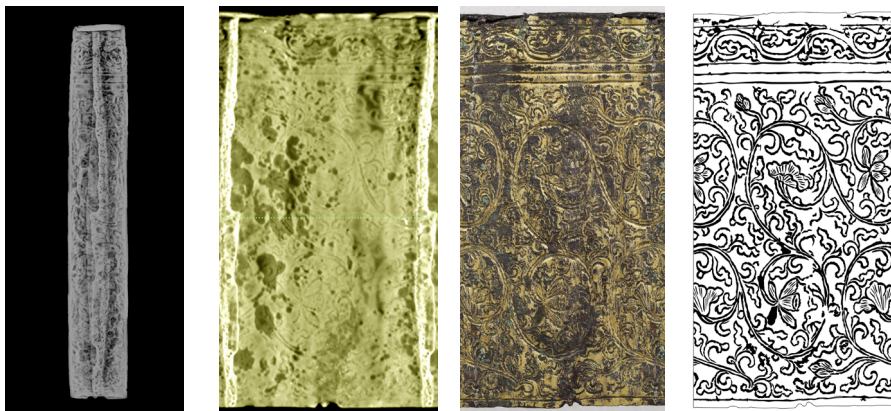


도4. 재질 강화처리

3.2. 과학적 조사 및 성분 분석 결과

3.2.1. X선 투과 조사 및 CT 촬영

X선 투과 조사와 컴퓨터단층촬영(CT)을 통해 금동침통의 내부 구조와 문양을 살펴보았다. 금동침통은 구리판의 양끝을 약 2~3mm 정도 겹치게 단접하여 하나의 원통형으로 만들었음을 확인할 수 있다. X선 단층촬영(CT)한 이미지를 펼치면 원통은 30mm 정도 폭을 가진 장방형의 구리판이며, 이 표면에 새겨진 다양한 문양도 볼 수 있다. CT 이미지로는 정교한 문양을 모두 파악하기 어렵기 때문에 수십 컷 촬영한 침통의 외형 사진을 촘촘히 붙여 CT 이미지와 동일한 크기로 펼쳐 보았다. 이 사진을 토대로 작성한 도면을 보면 서로 연결된 넝쿨무늬와 연꽃이 뚜렷하게 관찰된다(도5).



도5. 금동침통의 X선 투과 및 CT 촬영 결과



- (a) X선 투과 사진
- (b) 펼친 상태 CT 촬영 이미지
- (c) 펼친 상태 사진
- (d) 펼친 상태 도면

3.2.2. 내시경 조사

육안으로 확인하기 어려운 금동침통의 내부 형태를 내시경으로 관찰하였다. 금동침통의 내부에서는 바깥 면의 문양을 새기며 형성된 얇은 요철이 관찰된다^[도6(a)]. 또한 문양이 새겨진 구리관의 양 끝이 서로 겹쳐진 이음새 부위는 다른 문양면과 큰 차이가 없을 정도로 평평하게 단절되었다^[도6(b)].



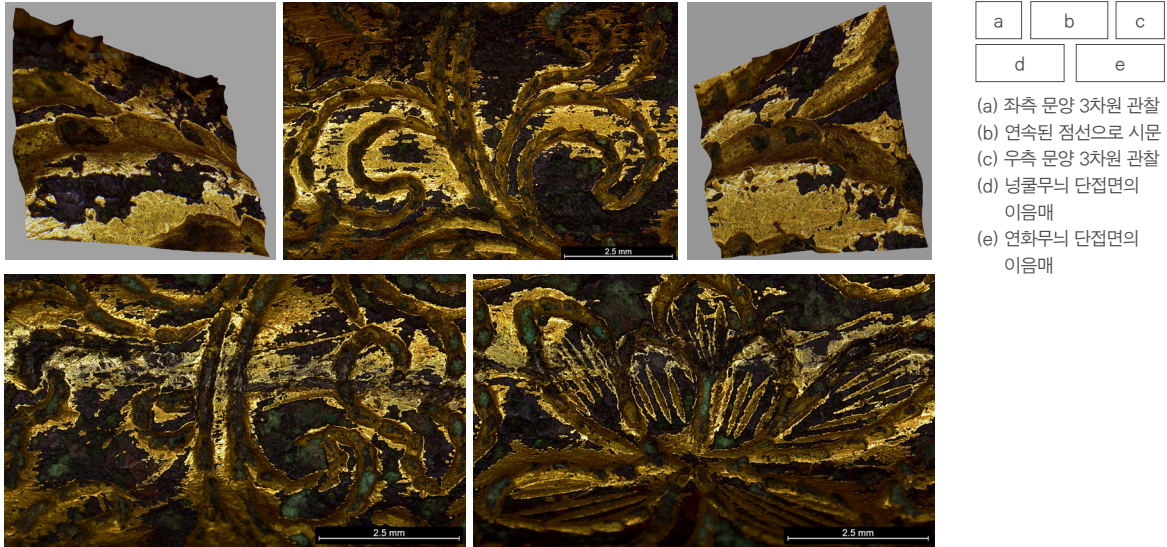
(a) 문양 새김에 따른 내부 요철
(b) 접합면의 내부 관찰



도6. 금동침통 내부에 대한 내시경 조사

3.2.3. 3차원 실체현미경 조사

금동침통의 표면에는 다양한 문양이 음각으로 시문되어 있다. 새겨진 문양의 자세한 형태와 기법을 파악하기 위해 3차원 실체현미경으로 분석하였다. 문양을 여러 배율로 확대 관찰한 결과 끝이 둥근 정을 이용해 점선으로 시문했다. 넝쿨무늬를 새긴 문양을 보면 안쪽에서 바깥쪽으로 음각하는 방법으로 타원형의 점을 연결하였다. 구리관의 양 끝을 이어붙인 단절면의 경계선 위로 연속된 문양이 시문되어 있다. 특히 연화문이 새겨진 단절면에서는 경계선을 따라 문양이 자연스럽게 연결되어 있어 원통형으로 접합한 이후에 문양을 새긴 것으로 보인다^(도7).



도7. 금동침통의 문양에 대한 3차원 실체현미경 이미지

3.2.4. 성분 및 도금층 분석

금동침통의 주요 구성 성분을 파악하기 위해 P-XRF로 분석한 결과, 도금층에서는 금(Au)과 함께 7~10wt.%의 수은(Hg)이 검출되어 아말감 도금법으로 금도금했음을 알 수 있다. 주목할 점으로는 다른 부위와 달리 단점면 이음매에서 많은 함량의 은이 검출되었다^(표2).

표2. 금동침통 P-XRF 분석 결과

분석 위치	Concentration(wt.%)												합계
	Cu	Au	Hg	Ag	S	P	Al	Pb	Sn	Fe	Si	Sb	
도금층	56.51	25.23	7.89	0.39	3.13	4.59	0.51	0.09	0.07	0.08	1.35	0.09	99.93
단점면 이음매	56.97	18.68	10.15	6.62	2.86	2.77	0.50	0.05	0.17	0.05	1.04	0.09	99.95

금동침통은 비파괴 방법의 SEM-EDS 분석으로 도금층과 단점면 이음매를 자세히 분석할 수 있었다. 문양을 새긴 홈에는 알갱이 형태의 금입자들이 다량 묻쳐있으며, 광쇠질이 어려운 안쪽에서 더 많이 관찰된다^[도8(a),(b)]. 여기서 관찰되는 도금층과 금알갱이를 EDS로 분석한 결과 약 5~7wt.%의 수은을 포함한 고순도의 금으로 도금하였다. 단점면 이음매의 검은색 부식물은 표면에 고착된 분말상으로 확인되었으며, 이음매 부위에 집중적으로 생성되어 있다^[도8(c),(d)]. 이음매의 검은색 부식물에서는 구리(Cu), 은(Ag), 염소(Cl), 황(S)이 산화물 상태로 검출되었다^(표3). 이와 같은 분

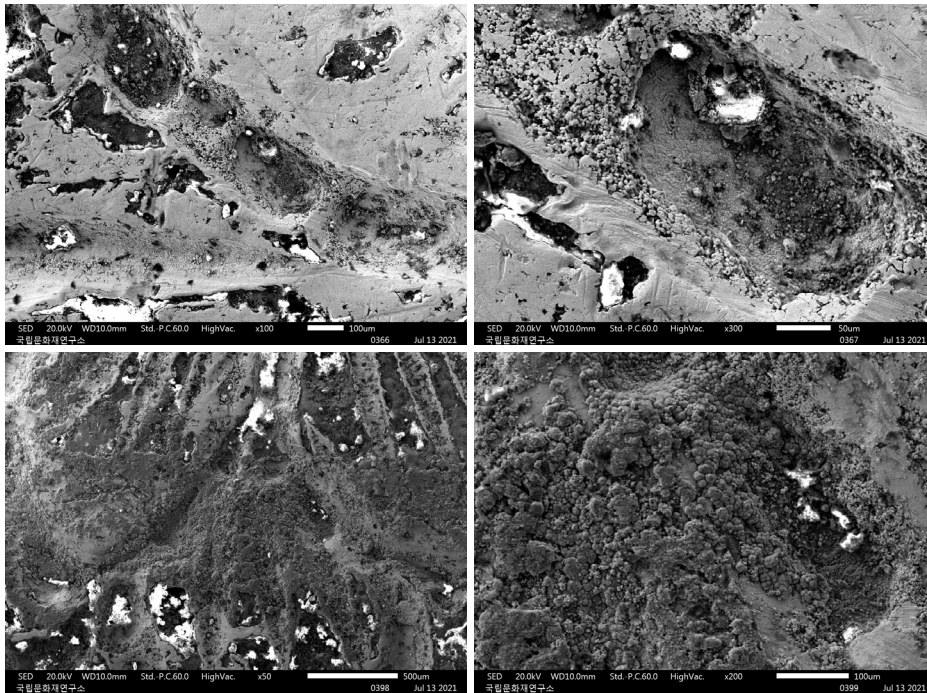
석결과는 접합면의 검은색 산화물이 은부식물의 일종인 염화은(AgCl) 또는 황화은(Ag₂S)라는 것을 이라는 것을 보여주기 때문에 구리판의 양 끝을 접합하기 위해 은을 사용했음을 알 수 있다. 지금도 구리를 접합할 때 은-구리 합금을 납땜으로 사용하므로, 이 접합면은 은-구리 땜으로 접합한 것으로 판단된다.

은은 보통 상태에서는 산소와 반응하지 않고 수분을 다량 함유한 공기나 아황산가스(SO₂), 황화수소(H₂S) 등과 반응하여 황산은(AgSO₄)과 황화은(Ag₂S)으로 된다. 상대습도 60% 이상이 되면 황화피막으로 성장하는데, 특히 밝은 은은 황화수소와 반응하면 처음에는 갈색 변색층을 생성하며 변색 피막이 두꺼워지면 검게 변한다. 염화물이 존재하는 환경에 은제품이 있게 되면 염화물과 반응하여 염화은이 되는데, 염화은은 자주색을 띠는 녹으로 높은 습도가 지속적으로 유지되면 분말상으로 되어 결국 은제품을 침식시킨다^[11].

금동침통의 하단부에 기재된 유물관리 번호 '1470'의 흰색 글씨에서는 주요 성분으로 티타늄(Ti)이 검출되어 산화티탄 계열의 백색 안료가 사용되었음을 알 수 있다. 적색 글씨에서는 주요 성분으로 바륨(Ba), 황(S), 아연(Zn)이 검출되었다^(표3).

표3. 금동침통 SEM-EDS 분석 결과

분석 위치	Concentration(wt.%)												합계
	Cu	Au	Hg	Ag	Cl	Ti	Zn	Ba	S	Ca	O	C	
바탕금속 (적갈색)	82.91	-	-	-	4.04	-	-	-	0.23	-	12.82	-	100.00
도금층	1.11	92.41	5.64	0.84	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00
도금층 (알갱이)	1.13	86.61	7.83	2.67	-	-	-	-	-	-	1.76	-	100.00
이음새 접합면	61.04	-	-	15.28	4.29	-	-	-	7.25	0.18	11.41	-	99.45
유물번호 (흰색글씨)	-	-	-	-	0.24	35.03	0.91	-	0.12	0.49	35.26	27.30	99.35
유물번호 (적색글씨)	0.57	-	-	-	2.29	0.27	3.71	14.05	5.52	0.92	22.25	49.13	98.71



도8. 금동침통 도금층 및 단점면 SEM 이미지

a	b
c	d

- (a) 도금층 및 문양면 (x100)
 (b) 도금층 및 문양면 확대(x300)
 (c) 단점면 이음매의 경계선 부위(x50)
 (d) 단점면 이음매의 경계선 부위 확대(x200)

4. 금동침통의 제작기법 고찰

4.1. 표면의 문양 새김 기법

금동침통은 전성(展性)과 연성(延性), 가공성이 뛰어난 구리판으로 만들었기 때문에 표면에 다양한 문양을 시문하기에 매우 효과적이다.

우리나라에는 예부터 좋은 구리를 많이 생산하였다. 특히 고려의 동은 호동(好銅)이라 하여 무역품의 대상이었다고 한다^[2]. 고려시대의 동은 일찍부터 중국에서 질이 좋은 청동으로 높이 평가되고 있었는데, 당시에는 고려동이라 하여 원나라에 수출된 사실(史實)이 있어 고려시대의 동광업이 성행하였음을 알 수 있다^[16]. 또한 1123년(인종 1) 고려를 방문한 송나라 사절 서긍(徐兢)이 지은 『선화봉사고려도경(宣和奉使高麗圖經)』에는 “고려 땅에 금과 은은 적으나 구리는 많다.”고 하여 고려에 동으로 만든 공예품이 많았음을 알 수 있다^[6].

금동침통의 넝쿨무늬와 연꽃무늬는 끝이 둥근 정을 이용해 음각의 점선으로 촘촘하게 시문했다. 두께 0.5mm 내외의 얇은 구리판에 시문했기 때문에 침통의 안쪽 면에는 문양을 따라 요철이 형성되어 있다. 이처럼 침통은 얇은 금속판을 말아서 제작하기 때문에 고려의 침통은 문양을 선각이나 인각기법으로 장식하는 경우가 많다^[3]. 구리판의 끝이 서로 겹쳐진 단점 부위에는 문양이 자연스럽게 연결된 상태로 새겨

져 있다. 각각의 문양을 시문하기 위한 방법으로, 평면의 구리판 위에 미리 문양을 새기고 단접 부위만 나중에 새기는 방법도 충분히 고려할 수 있다. 하지만 현재도 기물마다 혹은 장인마다 다양한 기법으로 문양을 시문하기 때문에 원통형으로 구부리기 전인 평면 상태에서 문양을 새겼는지, 원통을 만든 이후에 문양을 새겼는지는 정확하게 파악하기 힘들다. 따라서 새김 기법의 적용 시점을 파악하기 위해서는 재현실험을 통한 실증적 연구가 필요하다.

4.2. 이음새의 땀 접합 방법

금동침통은 가로 폭이 30mm인 한 장의 구리판을 원통형으로 말고 이음새를 접합하였다. 컴퓨터단층촬영과 X선 투과조사 등 방사선 비파괴조사 결과를 통해 이음새의 양끝을 약 2~3mm 정도 겹쳐지게 단접하였으며, SEM-EDS 성분 분석 결과에 의하면 다른 부위에 비해 이음새에서 은, 염소, 황이 높은 함량으로 검출되었다. 이와 같은 과학적 조사 결과는 은을 포함하는 땀재료가 금동침통의 이음새 접합에 사용되었음을 보여준다.

구리의 녹는 온도는 1,084℃이고, 은의 녹는 온도는 961℃이다. 은의 녹는 온도가 구리보다 낮기는 하지만 두 금속간 녹는 점의 차이는 123℃로 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 은과 구리를 합금할 경우에는 녹는점이 낮아진다. 도 9의 은-구리합금 평형상태도를 보면 은과 구리를 72대 28로 합금했을 때 공정점 온도인 780℃까지 녹는점이 낮아지는 것을 알 수 있다^[15]. 즉, 은과 구리를 합금할 경우 구리의 녹는점인 1,084℃보다 현저히 낮은 780℃의 온도에서 모재에 영향 없이 접합이 가능하다. 납땀에서 이음 부분을 접합하기 위해서는 모재보다 용융점이 낮아야 하며, 모재와 습윤성이 좋아야 한다^[14]. 따라서 금동침통의 이음새 접합에는 순은의 사용 가능성보다 은과 구리를 합금한 납땀 재료가 사용되었을 가능성이 크다. 이처럼 은-구리 및 은-구리-아연을 주성분으로 합금한 납땀 재료를 은납이라 하며, 600~800℃ 정도의 녹는점을 가진다. 은납은 주로 구리나 구리합금의 납땀에 사용하며, 이를 이용하여 땀질하는 작업을 은땀이라 한다.

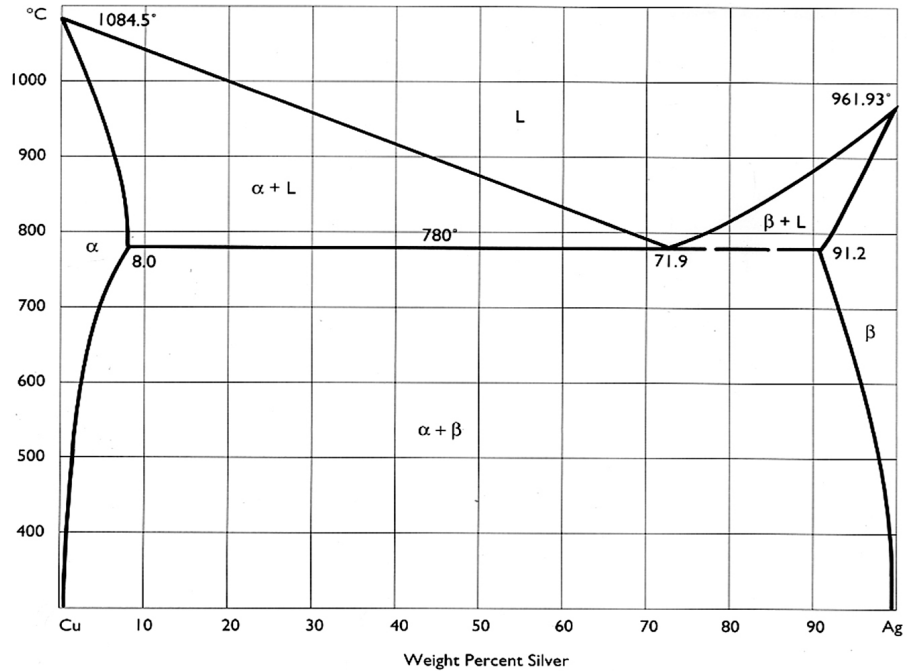
현재 금속제 침통을 만드는 전통기법이 전해지지 않아 구리 소재의 원통형 침통을 접합할 때 사용된 땀 기법을 확인할 수는 없다. 그러나 국가무형문화재로 지정되어 있는 백동연죽장이나 장도장의 전승기술을 통해 제작기법을 유추해 볼 수 있다.

백동연죽장은 백동연죽(담뱃대)을 만드는 기술을 가진 사람을 일컫는데, 담뱃대를 만들기 시작한 것은 임진왜란 후 담배가 전래되면서부터라고 알려져 있기 때문에 고려시대의 공예품인 금동침통과는 시기적 차이는 분명히 있다. 하지만 백동담뱃대의 구성품 중 하나인 토리와 크기와 형태가 유사하고, 표면에 문양을 새기기도

한다는 점에서 금동침통과 비교할 수 있다. 특히 담뱃대는 구리 합금의 일종인 백동으로 만들기 때문에 사용되는 땜 재료의 효율성도 유추해 볼 수 있다.

백동연축의 토리는 평면이었던 장방형 문양판을 모루쇠의 홈에 대고 가장자리를 망치로 두드려 구부린 뒤, 다듬목 위에 올려놓고 보래를 이용하여 원통형으로 형태를 잡는다. 이음새에는 토리의 길이만큼 은땜 조각을 잘라 끼워 넣고 은땜하여 접합한다. 접합된 이음새의 표면을 줄질하여 은땜 자국을 다듬고, 형태가 잡혔으면 통줄로 토리의 안쪽을 줄질한다^[13]. 백동담뱃대를 만들 때 사용하는 은땜은 용점도가 낮고 전연성이 아주 좋다고 한다. 특히 은땜은 세세한 부분까지 파고 들어가기 때문에 담뱃대 토리의 이음새를 접합할 때뿐 아니라 땜을 보완할 때도 사용한다^[13]. 오늘날 전통적인 방법으로 만들어지는 금속공예품에서도 은땜은 장방형의 비철금속판을 원통형으로 접합할 때 매우 중요한 땜재료로 사용되고 있다. 백동연축 토리의 이음새를 접합할 때 사용하는 은땜의 합금 비율은 은과 황동, 황동땜을 6대 3대 1의 비율로 합금하고^[13], 강도를 만들 때는 은과 황동을 7대 3의 비율로 섞은 것을 사용한다^[4]. 두 금속공예품에 사용하는 은땜의 합금 비율이 조금 차이가 있으나, 이는 금속공예품의 종류에 의한 차이보다는 제작자에 따른 합금비 차이로 보인다^[1]. 은땜의 합금비에서 은이 60~70%를 차지한다는 점은 700~800℃ 사이의 녹는점에서 은땜을 녹여 모재에는 영향 없이 접합한다는 것을 의미한다. 하지만 현재 사용되고 있는 은땜에는 주재료인 은, 구리와 함께 아연을 첨가하기 때문에 아연이 미포함된 금동침통의 땜재료와는 재료적 특성에서 차이가 있다. 그러나 은과 구리의 합금으로도 780℃까지 녹는 온도를 낮출 수 있으며, 현재 사용하는 은땜의 녹는 온도와의 큰 차이가 없다.

고려시대에는 아연이 금속 자체로 생산되었을 가능성이 낮아 은땜의 합금 재료로 포함하기 어려웠을 것이다. 일반적으로 아연은 끓는점이 낮기 때문에 광석에서 아연금속을 분리하기가 어려워 서양에서도 1746년 마르크그라프(Marggraf, 1709~1782)가 아연 분리에 성공한 뒤부터 공업생산이 가능해 졌다. 17세기 초 『천공개물』에서 “아연은 고서에서는 찾아볼 수 없고 근래에 와서 알려진 것이다”라는 기록을 볼 때 중국에서도 17세기 이후부터 아연금속이 생산되었음을 짐작할 수 있다^[7]. 이와 같은 당시 상황을 고려하면 은-구리 합금의 은땜은 금동침통의 이음새 접합에 매우 효과적인 방법이다. 특히 은땜은 모재인 구리보다 녹는점이 낮아 구리판에 영향을 주지 않고, 땜 이후에는 단단한 강도를 유지한다는 점에서 얇은 구리판의 양 끝을 이어붙이는 최적의 접합 방법으로 판단된다.

도9. 구리-은 평형 상태도^[15]

4.3. 도금 기법

금동침통의 표면에는 일부 도금층이 벗겨진 부분이 있으나 황금색의 도금층이 잘 남아 있다. 형광X선 분석과 SEM-EDS의 비파괴 분석방법으로 표면의 바탕금속과 도금층을 분석한 결과, 바탕금속에서는 주성분으로 구리가 분석되었으며, 도금층에서는 금과 함께 수은이 검출되었다. 분석 결과에 의하면 구리관의 바깥 표면을 아말감도금 기법으로 화려하게 도금했음을 알 수 있다.

도금은 부식을 방지하거나 장식효과를 내기 위하여 금속의 표면에 금이나 은 등을 얇게 입히는 것을 말한다. 우리나라에서는 삼국시대로부터 구리, 청동합금, 은으로 된 각종 장신구나 용기류에 금도금이 성행하였다^[10]. 금으로 도금된 문화재를 과학적으로 분석하여 도금층에서 수은이 검출되면 아말감도금 기법이 적용된 것으로 볼 수 있다.

수은은 상온에서 액체 상태인 유일한 금속으로 다른 금속을 녹이는 성질이 있다. 금가루와 수은을 혼합하여 섞은 후 한지나 천으로 싸서 자내면 수은은 미세한 공극 사이로 빠져나오고 내부에 금-수은 혼합물이 잔류하는데, 이것을 아말감이라 한다^[12]. 이렇게 만들어진 아말감을 금속 표면에 골고루 바른 후 수은의 비등점 358°C 가까이서 가열하면 수은이 증발하여 금이 부착되어 남게 된다^[5]. 이를 통해 만들어진

피막은 한번만으로는 완전하게 도금되지 않으므로 평균 2~3회 추가적으로 칠해야 하며, 가열 후에는 표면을 가죽이나 광석 등으로 문질러 도금층을 고르게 하고 광택을 낸다. 형태가 크고 복잡한 금속공예품에도 사용하기가 용이하므로 고대의 주요한 도금방법으로 이용되어 왔다^[8].

우리나라의 전통적인 아말감도금 기법은 1834년(순조 34) 이규경이 지은 과학기술서 『오주서종박물고변』에서 당시 한국, 중국, 일본의 도금기법을 간략하게 소개하고 있다. 먼저 중국의 방법은 수은을 되도록 살짝 바르고 나서 금박을 붙이고, 금박은 다 흰색으로 변하는데 이것을 불 위에 두고 쪼어 말려서 원래의 빛깔로 되돌아오기를 기다렸다가 때려서 간다고 기록하였다. 또한 일본의 방법은 부드러운 쥘으로 문질러 닦은 후 매실초를 바르고 다시 쥘으로 깨끗이 쓸고 난 다음 수은을 바른 뒤, 이 위에 금박을 두어 불로 쪼는다고 기술하였다. 우리나라는 수은에 금을 섞어 은그릇에 바르면 흰색이 되며, 불에 넣으면 수은은 없어지고 금만 남는다. 몇 차례 되풀이하면 황색이 된다고 하였다^[9]. 여기서 주목할 점은 중국과 일본의 경우는 금박을 붙인다는 것이고, 우리나라는 수은에 금을 섞어 도금한다는 점이다. 특히 불에 넣어 수은을 없애고 몇 차례 되풀이하여 황금색 표면을 만든다는 기록은 현재 전해지고 있는 아말감도금 기법과 동일하다.

금동침통은 고려시대에 제작되어 조선시대의 기록과 직접 연관시키기 어렵지만 도금층에 남아 있는 도금 흔적을 과학적으로 분석하여 전통 도금기법의 연관성을 살펴 볼 수 있다. 도금층에서 검출되는 다량의 수은은 아말감도금 기법의 결정적 증거가 되지만, 중국과 일본의 도금기법처럼 금박을 붙여 도금할 때도 수은을 사용하기 때문에 수은의 검출 여부만으로는 금박을 이용했는지, 금분을 이용했는지는 구별하기 어렵다. 이를 구별하기 위해서는 도금층의 표면 또는 단면을 고배율 현미경으로 확대하여 분석해야 한다. 금동침통에는 다양한 문양이 새겨져 있는데, 문양의 안쪽은 광석질이 어렵다. 이 부분을 주사전자현미경으로 확인한 결과 알갱이 형태의 금이 집중적으로 관찰된다는 특징은 금분을 도금에 사용했음을 보여준다. 제작시기와 기록된 시기의 차이는 있으나, 금분을 사용할 때 수은과 섞어 아말감으로 만들어 도금한다는 점에서 이규경의 『오주서종박물고변』에 기록된 우리나라의 도금기법과 일치한다.

5. 결론

2021년 한국과 벨기에 수교 120주년을 기념하여 벨기에 왕립예술역사박물관 소장 금동침통을 국내에 들여와 보존처리를 하였다. 금동침통은 왕립예술역사박물관에서 1947년에 뚜껑이 없는 상태로 구입하여 관리한 것으로 확인되었다. 침통의 몸

통에는 일부 파손 흔적, 검은색의 부식물, 백색과 적색 안료로 유물관리 번호가 기재되어 있는 등 가벼운 손상이 있지만 비교적 안정적인 상태였다. 보존처리의 기본 방향은 원형을 보존하고 부식이 지속되는 것을 최대한 늦추는 것이기 때문에 표면 부식물제거, 안정화처리, 강화처리를 거치는 기본적인 보존처리 순서로 진행하였다. 국외 소재 한국문화재 보존처리 지원 사업 중 금속문화재로서는 처음으로 보존처리된 사례이기 때문에 국외 기관과의 차별화가 필요했다. 이를 위해 X선 투과조사, 컴퓨터단층촬영, 3차원 현미경 조사 등 과학적인 조사·분석법으로 고려시대의 다양한 금속 공예기술을 파악하였다. 표면에 정교하게 새겨진 연꽃, 넝쿨 등의 다양한 문양은 끝이 둥근 정을 이용해 점선으로 시문했다. 또한 문양이 새겨진 구리판을 원통형으로 말기 위해서 양끝을 약 2~3mm 정도 겹쳐지게 은땀으로 접합하였으며, 겹친 부위의 단차가 거의 없을 정도로 평평하게 단접하였다. 제작공정의 마지막 과정에서는 금분을 이용한 아말감 도금법으로 표면을 화려하게 도금하였다. 국외 소재 한국문화재인 벨기에 왕립예술역사박물관 소장 금동침통에 대한 보존처리로 원형을 보존하고, 더 이상의 추가적인 부식을 예방하였다. 특히 국외 소재 한국문화재에 대한 과학적 조사를 통해 역사적 가치와 학술적 가치를 되살릴 수 있었다.

한국-벨기에 수교 120주년 기념으로 추진한 벨기에 소재 고려시대 금동침통은 지금까지 보존처리된 국외 소재 한국문화재 중 처음으로 실시된 금속문화재이므로, 보존처리 결과는 향후 국외 소재 금속문화재 보존처리 지원 사업에서 많은 참고 자료가 될 것으로 보인다.

〈사사〉

본 연구는 국립문화재연구원 문화유산 조사연구(R&D)의 '무기질문화재 보존처리 및 조사 연구과제'의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

1. 구지혜, 비파괴 분석을 통한 조선시대 은제 여성장신구에 관한 연구-바탕재료와 땀접합 기술을 중심으로, 용인대학교 예술대학원, 석사학위논문, p27, (2008).
2. 김문정, 변지선, *입시장*, p65, 국립문화재연구소, 대전, (2008).
3. 국립문화재연구소, *고려 금속공예의 이해* 2, p48, 국립문화재연구소, 대전, (2021).
4. 국립중앙과학관, *겨레과학인 우리공예*, p195, 민속원, 서울, (1999).
5. 국립중앙박물관, *보존과학, 우리 문화재를 지키다*, p66, 국립중앙박물관, 서울, (2016).
6. 서금, 조동원 외 4 역, *고려도경*, 황소자리출판사, 서울, p296. (2005).
7. 송응성, 최주, *천공개물*, 전통문화사, 경기, (1997).
8. 양석우, 김수기, 열처리 조건에 따른 재현 도금층의 표면현상 연구, *보존과학회지* **28(1)**, p29, (2021).
9. 이규경, 최주, *오주서종박물고변*, p35, 학연문화사, 서울, (2008).

10. 이난영, *한국고대금속공예연구*, p174, 일지사, 경기, (1992).
11. 이오희, *문화재 보존과학*, p163, 주류성, 서울, (2008).
12. 이현상, 백제 한성기 금공품 제작기술 연구-금동관, 금동식리, 장식대도를 중심으로, 공주대학교 대학원, 박사학위논문, p127, (2018).
13. 임옥수, 이채원, *백동연죽장*, p92-144, 국립문화재연구소, 대전, (2006).
14. 한국철강신문, *비철금속용어사전*, p327, 한국철강신문, 서울, (2008).
15. David A. Scott, *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*, The Getty Conservation Institute, (1991).
16. 한국학중앙연구원, 『한국민족문화대백과사전』, <http://encykorea.aks.ac.kr/>