

# 영동 영국사 출토 금동여래입상, 동제여래입상 분석 및 보존처리

Analysis and Conservation  
Treatment of Gilt-bronze  
Standing Buddha and Bronze  
Standing Buddha Statues  
Excavated from Yeongguksa  
Temple in Yeongdong

유자영<sup>1\*</sup>, 양슬기<sup>2</sup>, 이민희<sup>3</sup>

국립제주박물관 학예연구실<sup>1</sup>, 국립청주박물관  
학예연구실<sup>2</sup>, 국립부여박물관 학예연구실<sup>3</sup>

Yoo Jayoung<sup>1\*</sup>, Yang Seulgi<sup>2</sup>,  
Lee Minhee<sup>3</sup>

Curatorial Affairs Division, Jeju National  
Museum<sup>1</sup>,  
Curatorial Affairs Division, Cheongju National  
Museum<sup>2</sup>,  
Curatorial Affairs Division, Buyeo National  
Museum<sup>3</sup>

\* Corresponding Author:  
Yoo Jayoung

Tel: +82-10-2013-6767  
E-mail: young074@korea.kr

## 요약

국립청주박물관 소장 충북 영동 영국사 출토 금동여래입상과 동제여래입상의 과학적 조사와 보존처리를 하였다. 성분분석 결과, 금동여래입상은 구리, 주석, 납의 삼원계, 동제여래입상은 구리, 주석의 이원계 합금으로 확인되었다. 동제여래입상 성분분석 결과 금이 확인되어 금동여래입상으로 명칭이 수정되어야 할 것이다. 금동여래입상은 국내에서 생산된 납을 원료로 하여 제작되었을 것으로 유추할 수 있었고, 표면에 존재하는 개금을 위한 접착제로 보이는 물질은 분석을 통해 옷으로 추정되었다. 보존처리는 상태를 확인하여 물리적, 화학적 방법으로 최소한의 이물질 제거하고, 안정화처리 및 보호 코팅의 과정을 거쳤다.

**주제어** : 영국사, 금동여래입상, 동제여래입상, 성분분석, 납동위원소비

## Abstract

The gilt-bronze standing Buddha and bronze standing Buddha statues excavated from Yeongguksa Temple in Yeongdong, currently held in the collection of the Cheongju National Museum, underwent conservation treatment after scientific study. Materials analysis showed that the gilt-bronze statue was made with a ternary alloy of copper, tin, and lead, while the bronze statue is of a binary alloy of copper and tin. The analysis also revealed that the bronze statue contains gold, and it is therefore recommended to change its description to gilt-bronze standing Buddha. The gilt-bronze statue appears to have been made with lead produced in Korea. The material observed on the surface that is presumed to have been used as an adhesive for the gold coloring is thought to be lacquer. For conservation treatment, the statues were minimally cleaned using physical and chemical methods and were treated through consolidation and protective coating.

**Keywords** : Yeongguksa Temple, Gilt-bronze Buddha statue, Bronze Buddha statue, Materials analysis, Isotopes ratio of lead

투고일: 2018. 3. 9. 심사(수정)일: 2018. 4. 24. 게재확정일: 2018. 5. 4.

## I. 서론

본 연구의 대상은 국립청주박물관의 소장품인 충청북도 영동 영국사 출토 금동여래입상과 청동여래입상이다. 이 두 점은 충북지역에서 출토지가 확실한 통일신라시대의 소형불상으로 그 의의가 크다. 이러한 점에 주목하여 2017년 보존처리 및 성분 확인과 산지추청을 위한 분석을 실시하였다.

## II. 연구대상

### 1. 금동여래입상(청주9172)

영동 영국사 출토 금동여래입상은 약 14cm 내외의 크기(표1)이며 목 위의 두상은 결손되어 형태를 알 수 없다. 이는 발굴보고서에서 발굴당시 불상의 파손부분의 마모와 부식현상 관찰을 통해 파벌되어 매몰된 것으로 기술하였다<sup>[1]</sup>. 또한 불상 전체에 개금한 흔적을 관찰하지 못하여 청동여래입상으로 명명하였으나 표준유물시스템의 소장품 등록은 금동여래입상으로 수정되었다.

불상의 형태적 특징은 상체가 살짝 뒤로 젖힌 자세의 입상이다. 법의는 통견의를 두르고 있고 옷 주름 등의 신체 표현은 입체감이 있다(도1). 불상의 뒷면은 어깨부터 하단까지 타원형으로 오픈되어 있으며 내부는 비어져있고, 목 뒤 1cm 하단 중앙부에 광배 고정 용도로 추정되는 축과 발바닥면에 대좌 결합을 위한 축이 있다.

불상의 구조방법은 흙으로 내형을 둔 중공식 제작법으로, 이는 8-9세기 통일신라 금동불에서 유행하였다. 뒷면은 광배 등으로 가려졌을 것으로 추측되었다<sup>[2]</sup>. 불상의 제작 시기는 신체미와 옷 주름, 양감, 좌우대칭의 법의로 보아 통일신라시대 8세기 후반으로 추정되며 그 용도는 개인적인 예배의 대상물이 되는 작은 감실에 안치하기 위한 것으로 생각되었다<sup>[1, 3]</sup>.

### 2. 동제여래입상(청주9173)

영동 영국사 출토 동제여래입상은 16cm 내외의 크기(표1)로 불상의 얼굴은 균형미가 있으며 단아하다. 법의는 우견편단을 얹은 선각으로 새겨져 있다(도2). 수인은 일부 결손된 상태이다. 뒷면은 전혀 조형하지 않았으며 주조시 내형토, 주조구멍이 없어 통주식으로 제작되었을 것으로 생각된다<sup>[2]</sup>. 판불과 같은 형상이나 판불형의 불상보다 두께감이 있다. 또한 광배 부착 등의 용도를 위한 축이 있다. 불상은 전체적인 문양을 선

각으로 음각하여 양감이 풍부하지 못하고 범의의 표현이 사실적이지 않은 점으로 보아 9세기 경에 제작된 것으로 추정되었다<sup>41)</sup>.

표1. 영국사 출토 불상의 제원

연번	등록번호	유물명	너비(mm)	높이(mm)	무게(g)
1	청주9172	금동여래입상	52.0	140.0	259.3
2	청주9173	동제여래입상	53.0	161.0	282.6



a b

(a) 앞면  
(b) 뒷면

도1. 금동여래입상 보존처리 전 상태



a b

(a) 앞면  
(b) 뒷면

도2. 동제여래입상 보존처리 전 상태

### III. 분석

#### 1. 분석방법

불상의 제작 및 원료의 산지 추정을 위한 과학적 분석을 실시하였다. 우선 성분 조성을 확인하기 위하여 소지 및 표면을 비파괴 방법으로 X-선 형광분석기(Portable X-ray Fluorescence Sequential Spectrometer, XRF)로 분석하였다(표2). 분석 위치는 주로 불상의 앞면에서 소지가 노출된 부분과 표면을 대상으로 선별하였다(도3).

표2. XRF 분석 조건

기기명	조건				
ArtTAX Basic, Bruker, Germany	타겟	가속전압	전류	콜리미터 직경	측정시간
	Mo	50kV	600 $\mu$ A	0.65mm	120s

불상의 원료 산지추정을 위한 분석은 불상의 뒷면에서 극미량의 시료를 수습하여 이에 포함된 납의 동위원소비 분석을 하였다. 분석은 한국기초과학지원 연구원의 열이온화질량분석기(Thermal Ionization Mass Spectrometer, TIMS, IsoProbe-T, IsotopX Ltd., England)를 이용하였다. 표준물질은 NBS981의 평균 측정치( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.940\pm0.001$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.498\pm0.002$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=36.726\pm0.006$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}=0.9146\pm0.0001$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}=2.1679\pm0.0002$ )로 외부 보정 하였으며, 2 $\sigma$ % 표준 오차는 약 0.1%였다.

a b  
(a) 금동여래입상  
(b) 동제여래입상



도3. XRF 분석 위치

## 2. 성분분석 결과

### 2.1. 금동여래입상 성분분석 결과

영동 영국사 출토 금동여래입상의 성분분석 결과, 구리, 주석, 납이 주성분인 삼원계 합금인 청동으로 확인되었다(표3). 금속 소지부분의 성분 분석 결과, 평균 Cu 80.46wt%, Sn 7.4wt%, Pb 4.5wt% 이었고 그 외 Au, Fe, Ag 등이 확인되었다. 청동기에 Pb의 첨가는 단점도 있으나 용점을 낮게 하여 유동성을 좋게 함으로 기물의 주조성을 높여준다는 장점이 있다[4, 5]. 이는 미적인 측면을 중요시하는 불상의 제작 시 얼굴, 법의 등의 표현을 위해 다른 형태의 청동 기물보다 Pb를 의도적으로 높게 첨가하였을 것으로 추정되었다. 거의 모든 분석위치에서 Au가 확인되며 그 함량은 1.46~4.79wt%로 청동소지 위에 도금이 되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 분석위치 7~9의 분석결과 Fe가 약 23.74wt%로 다른 위치에 비해 높은 함량 확인되었으며, 다른 위치에서 검출되지 않았던 As가 약 4.3wt% 확인되었다. 이는 표면 부식층에 대한 성분분석 결과로 매장 환경요소에 의한 화합물, 이물질 혹은 유물관리 과정에서 사람의 생체성분으로 인한 오염물 등으로 생각되었다[6].

### 2.2. 동제여래입상 성분분석 결과

동제여래입상의 성분분석 결과, 구리, 주석의 이원계 합금 청동으로 확인되었다(표4). 그러나 이 불상의 경우 뚜렷하게 노출된 소지 금속부분이 없었고 분석이 표면 부식층에 비파괴분석법으로 이뤄졌다는 한계 때문에 합금비율에 대한 확인은 어려웠다. 그 외 분석결과, 미량으로 Au, Fe, Pb, Ag 등이 있었다. 특히 불상의 두상의 표면 분석결과 금 1.90wt%로 확인되어 다른 부분보다 금의 함량이 높게 확인되어 해당 부분에 금이 소량 남아있는 것으로 확인되었다.

표3. 금동여래입상 XRF분석 결과

(단위: wt%)

분석 위치	Cu	Sn	Pb	Au	Ag	Fe	As	Total	비고
CJ-9172-1	80.50	7.38	4.59	4.67	0.83	2.03	-	100.00	소지
CJ-9172-2	80.43	7.40	4.54	4.78	0.83	2.02	-	100.00	소지
CJ-9172-3	80.46	7.42	4.53	4.79	0.79	2.01	-	100.00	소지
CJ-9172-4	89.36	5.42	2.00	1.46	0.44	1.32	-	100.00	
CJ-9172-5	89.25	5.42	2.06	1.49	0.45	1.32	-	99.99	
CJ-9172-6	89.26	5.38	2.07	1.47	0.44	1.37	-	99.99	

분석 위치	Cu	Sn	Pb	Au	Ag	Fe	As	Total	비고
CJ-9172-7	60.86	10.79	0.32	-	0.32	23.51	4.19	99.99	
CJ-9172-8	60.30	10.94	0.30	-	0.34	23.80	4.33	100.01	
CJ-9172-9	59.84	11.20	0.29	-	0.36	23.92	4.38	99.99	
CJ-9172-10	84.01	8.60	1.24	1.18	0.48	4.50	-	100.01	
CJ-9172-11	83.96	8.64	1.22	1.18	0.49	4.51	-	100.00	
CJ-9172-12	83.82	8.75	1.21	1.19	0.50	4.53	-	100.00	
CJ-9172-13	83.55	6.89	2.39	1.98	0.58	4.60		99.99	
CJ-9172-14	83.54	6.94	2.38	1.98	0.59	4.57		100.00	
CJ-9172-15	83.45	7.00	2.38	2.01	0.60	4.57	-	100.01	
CJ-9172-16	76.68	16.06	0.49	2.54	0.75	3.48	-	100.00	
CJ-9172-17	76.49	16.26	0.48	2.55	0.72	3.50	-	100.00	
CJ-9172-18	76.55	16.18	0.48	2.56	0.75	3.49	-	100.01	

표4. 동제여래입상 XRF분석 결과

(단위: wt%)

분석 위치	Cu	Sn	Pb	Au	Ag	Fe	Total	비고
CJ-9173-1	84.05	12.33	0.07	1.97	0.29	1.29	100.00	
CJ-9173-2	84.26	12.23	-	1.91	0.29	1.32	100.01	
CJ-9173-3	84.43	12.01	0.07	1.83	0.31	1.37	100.02	
CJ-9173-4	85.03	12.58	0.16	0.68	0.25	1.31	100.01	
CJ-9173-5	85.18	12.45	0.16	0.62	0.22	1.37	100.00	
CJ-9173-6	85.24	12.43	0.17	0.53	0.21	1.42	100.00	
CJ-9173-7	88.68	9.26	-	0.79	0.25	1.02	100.00	
CJ-9173-8	88.59	9.36	-	0.77	0.22	1.06	100.00	
CJ-9173-9	88.79	9.12	-	0.75	0.25	1.10	100.01	
CJ-9173-10	87.51	11.13	0.05	0.09	-	1.22	100.00	
CJ-9173-11	87.48	11.18	0.06	0.08	-	1.21	100.01	
CJ-9173-12	87.57	11.11	0.06	0.08	-	1.19	100.01	
CJ-9173-13	84.58	12.31	0.10	0.50	0.25	2.26	100.00	
CJ-9173-14	84.60	12.29	0.10	0.51	0.22	2.27	99.99	
CJ-9173-15	84.47	12.40	0.09	0.51	0.25	2.28	100.00	



### 3. 납동위원소비 분석

영동 영국사 출토 금동여래입상과 동제여래입상의 제작에 사용된 납의 원료산지 추정을 위하여 납동위원소비 분석을 실시하였다. 분석결과(표5)를 동북아시아지역의 방연석 납동위원소비 분포도와 한반도 남부의 방연석 납동위원소비 분포도에 도시하여 불상 제작에 쓰인 납 원료의 산지를 추정하였다. 또한 납동위원소비의 모든 데이터를 동시에 사용하기 위해 다변수분석법 중 선형판별분석법(statistical linear discriminant analysis: SLDA)을 이용하여 마부치(馬淵久夫)에 의한 동북아시아 방연석의 납동위원소비 데이터의 판별함수를 구하여 납동위원소비 분포도로 도시하였다. 선형판별식분석으로 구한 판별함수는 아래와 같다<sup>[7, 8]</sup>.

$$DS_{1j} = -0.571X_{A_j} + 1.916X_{B_j} - 0.091X_{C_j} + 8.292X_{D_j} + 14.24X_{E_j} - 53.13$$

$$DS_{2j} = 1.025X_{A_j} + 3.231X_{B_j} - 0.487X_{C_j} + 7.280X_{D_j} + 3.140X_{E_j} - 63.33$$

$$(X_{A_j} = {}^{206}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}, X_{B_j} = {}^{207}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}, X_{C_j} = {}^{208}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}, X_{D_j} = {}^{207}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb}, X_{E_j} = {}^{208}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb})$$

표5. 영동 영국사 출토 금동여래입상, 동제여래입상의 납동위원소비 및 판별점수

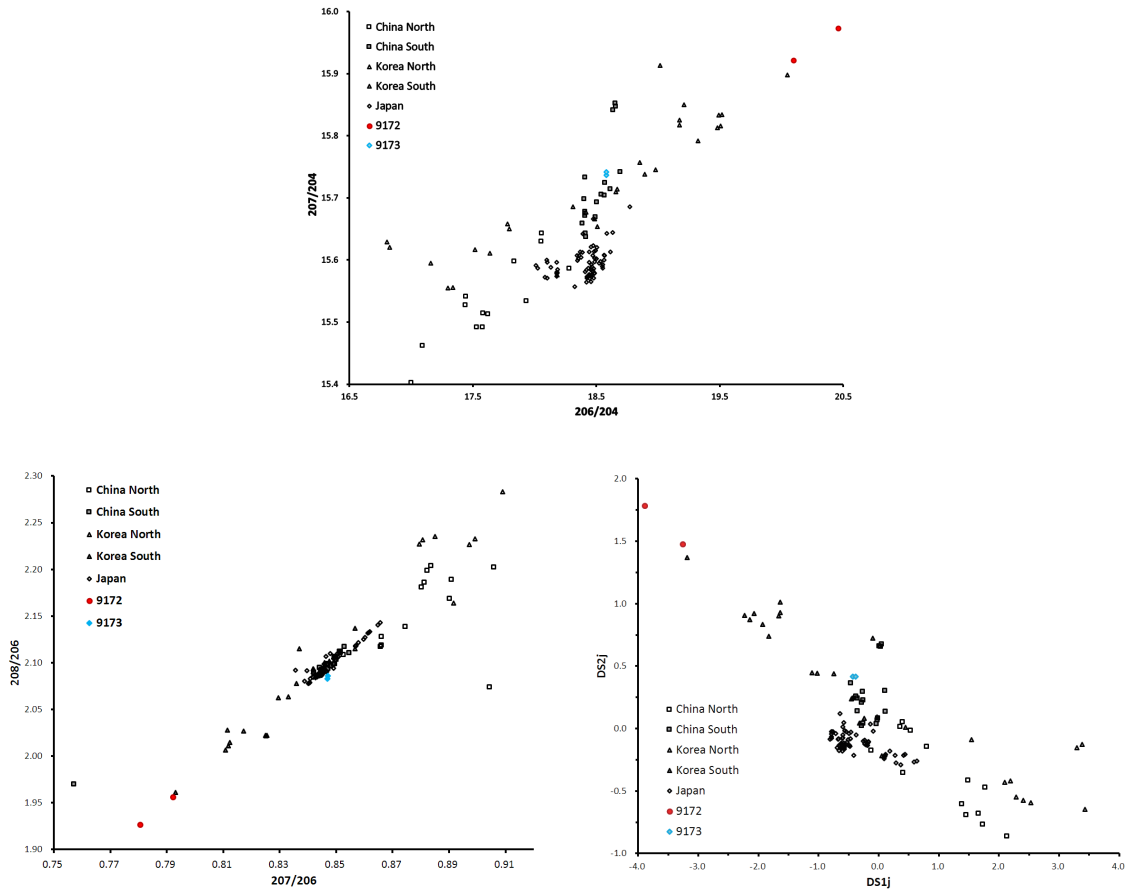
연번	시료명	납동위원소비					판별점수	
		${}^{206}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}$	${}^{207}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}$	${}^{208}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}$	${}^{207}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb}$	${}^{208}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb}$	$DS_{1j}$	$DS_{2j}$
1	9172-부식	20.099	15.921	39.312	0.7921	1.9559	-3.2589	1.4769
2	9172-소지	20.461	15.973	39.425	0.7806	1.9267	-3.3881	1.7826
3	9173-부식	18.582	15.736	38.708	0.8468	2.0830	-0.4281	0.4159
4	9173-소지	18.581	15.742	38.760	0.8471	2.0858	-0.3799	0.4169

동북아시아지역의 방연석 분포도에 영국사 출토 금동여래입상과 동제여래입상의 납동위원소비 데이터를 도시하였다<sup>[9]</sup>. 그 결과 금동여래입상은 한국 남부 영역에 포함되어 있었으며, 동제여래입상은 한국 남부 영역 및 중국 남부 영역과도 연관성이 있는 것으로 확인되었다<sup>(표4)</sup>. 이는 해당 영역에 한국 남부와 중국 남부 데이터가 혼재되어 있으므로 해석의 주의가 필요하다.

이어 국내에서 출토된 유물의 납 원료 산지추정에 이용되는 한반도 남부의 방연석 납동위원소비 분포도에 분석 결과를 적용하여 납 원료의 산지를 추정하였다<sup>(표5)</sup>. 이 분포도는 한반도 남부지역 69개 광산 215개의 방연석 시료 납동위원소비 데이터로 이루어져 있으며, 납동위원소비 분석 결과와 지질학적 특성 등을 고려하여 한반도 남부를 Zone I (경상분지 일대), Zone II (태백산 분지 및 영남육괴 일부), Zone III (중·남서 영남지괴, 서부 태백산분지, 옥천변성대), Zone IV (경기육괴) 총 4개의 영역으로 구분된다<sup>[10]</sup>.

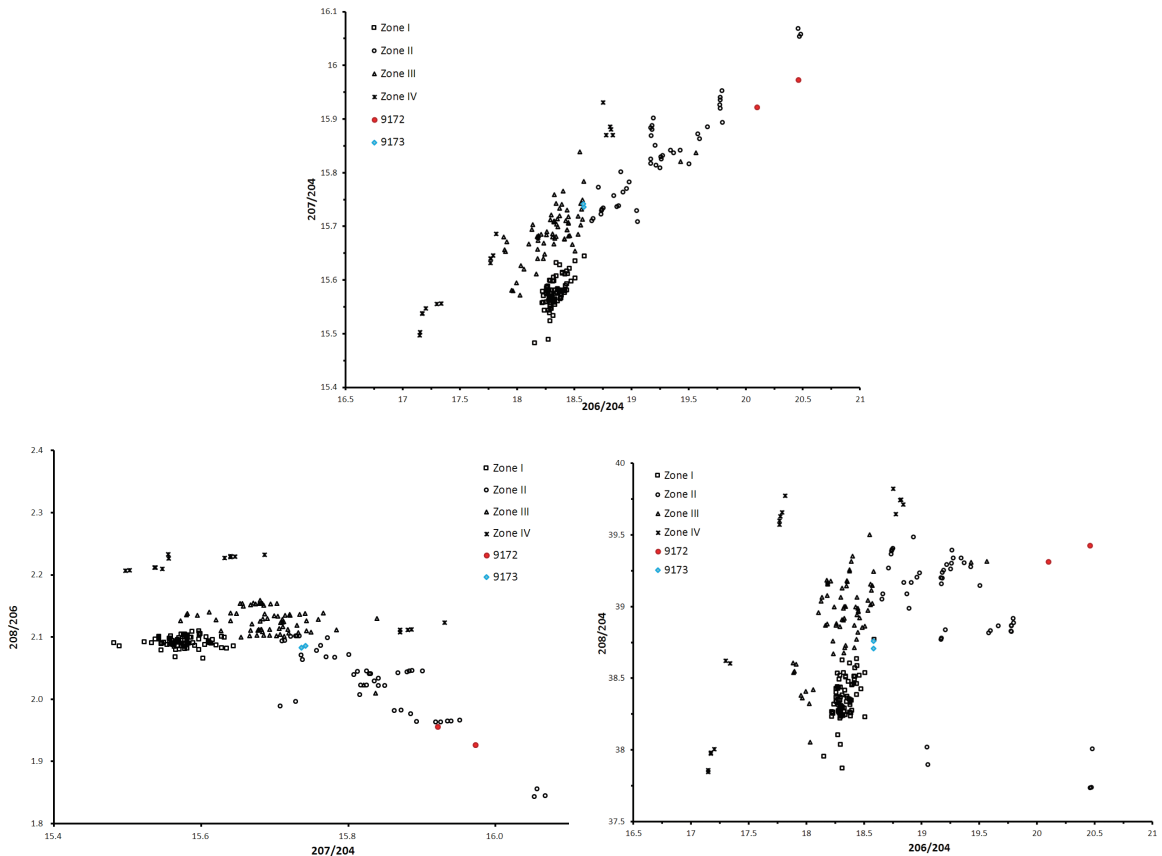
영동 영국사 출토 금동여래입상은 한반도 남부 방연석의 남동위원소비 분포도의 그래프 상에서 ZoneⅡ 영역에 분포하는 것으로 확인되었다. 이는 태백산 분지 및 영남육괴의 일부로 경상북도 북부 및 강원도 남부 지역 일부이다.

반면에 동제여래입상은 ZoneⅢ영역에 분포하고 있었다. 이는 충청도와 전라도 지역에 해당하는 중·남서 영남지괴 서부 태백산분지 영역이다. 다만, ZoneⅢ 영역은 동북아시아 방연석 남동위원소비 분포도에서 중국 남부 영역과 유사한 영역에 도식되고 있으며, 원료 물질이 혼합된 청동기의 남동위원소비가 위치하는 영역임으로 해석 시 많은 주의가 필요한 영역이다<sup>[10, 11]</sup>. 또한 방연석의 산지추정을 위해서는 납 함량을 고려해야 한다. 기존 연구 사례는 0.04~1wt% 미만의 납 함량을 대상으로 분석한 사례가 있다<sup>[12]</sup>. 이번 분석의 동제여래입상은 구리, 주석의 이원계 합금으로 납의 함량은 0.1wt% 이하 였다.



도4. 동북아시아 방연석 납동위원소비 비교분석 결과





도5. 한반도 남부 방연석 납동위원소비 비교분석 결과

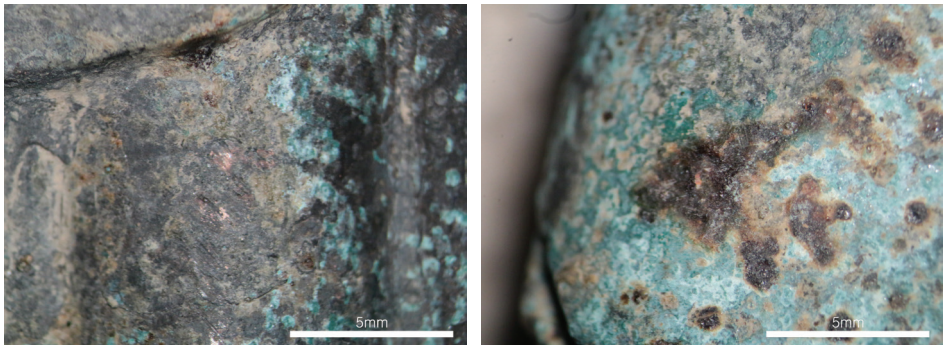
## IV. 보존처리

### 1. 처리 전 상태조사

보존처리 대상을 실체현미경 관찰 등을 통해 처리 전 상태조사를 실시하였다. 금동여래입상의 상태는 전체적인 표면부식으로 분말화가 진행되어 있었다. 또한 일부 소지금속이 노출된 부분이 확인되었으며 법의가 표현된 불신의 전면 및 후면, 굴곡진 안쪽 부분에 광택이 있는 검은색 이물질이 고착되어 있는 것을 확인하였다(도6). 이는 개금을 위한 접착제 역할을 했던 부분으로 추정되었다.



- (a) 불상 앞면의  
소지노출 부분
- (b) 불상 뒷면의 접착제  
추정

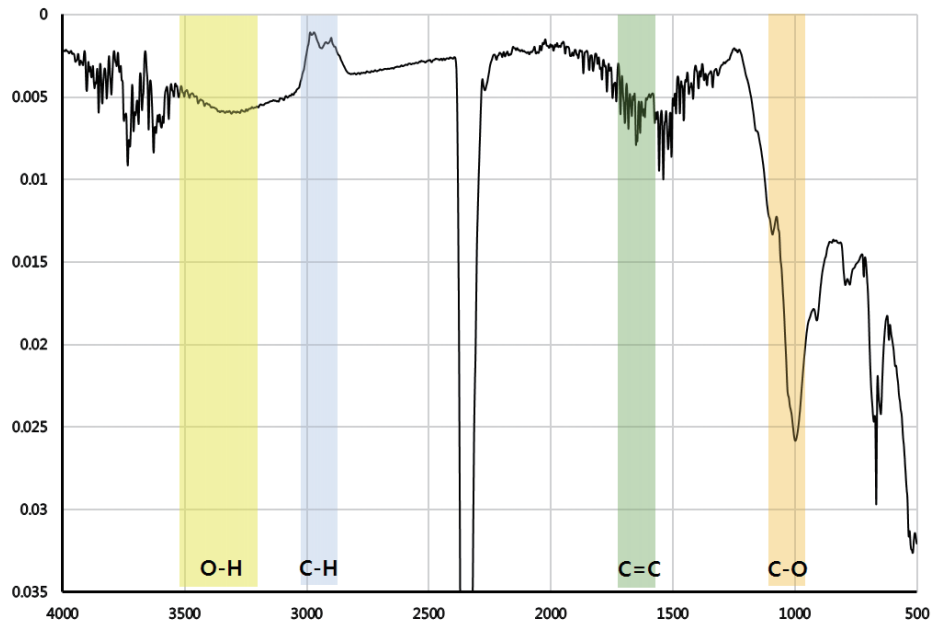


도6. 금동여래입상 실체현미경 사진

이에 대한 성분확인을 위하여 일부 탈락되는 시료를 대상으로 적외선분광분석기 (Fourier Transform Infrared spectroscopy, FT-IR)를 사용하여 성분을 분석하였다(표6).

표6. FT-IR분석 조건

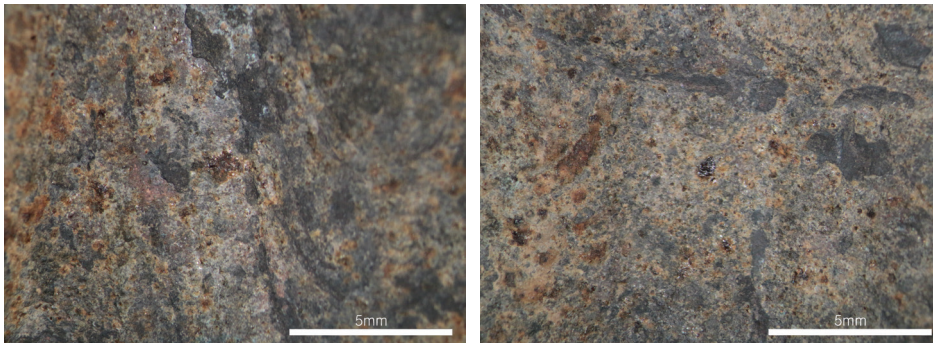
기기명	조건		
Tensor 27, Bruker, Germany	해상도	스캔수	측정범위
	4cm <sup>-1</sup>	32회	40-4000cm <sup>-1</sup>



도7. 금동여래입상 접착층 FT-IR 결과

그 결과를 국내에 발표된 연구결과와 비교분석 하였다(도7) [13]. 분석에 사용된 시료의 양이 매우 적어 성분 확인을 위한 스펙트럼의 peak가 낮아 그래프를 확대하여 확인하였다. 스펙트럼에서  $3600\sim3300\text{cm}^{-1}$ 의 넓은 영역에서 나타나는 O-H,  $3030\sim2800\text{cm}^{-1}$ 에서의 C-H(stretch)가 확인되었다. 또한  $1700\text{cm}^{-1}$ 에서 방향족 탄소 이중결합(C=C aromatic)이 나타났으며,  $1050\sim1150\text{cm}^{-1}$ 에서 C-O결합이 관찰되었다. 노이즈가 심하여 판단하기는 어렵지만, 옷의 지문영역의 peak 들이 관찰되는 것으로 보아 금동여래입상의 표면에서 확인된 광택이 있는 검은색 이물질은 개금을 위한 접착제 역할을 하였던 옷으로 추정되었다.

반면에 동제여래입상의 표면은 전체적으로 부식물이 표면에 불균일하게 형성되어 선각으로 조각된 법의 부분의 확인이 어려웠고 불균일한 이물질이 표면을 덮고 있었다(도8 a). 불상의 뒷면은 두터운 흙 등의 이물질이 고착되어 있었다. 접착제로 추정되는 광택이 있는 이물질이 관찰되었으나 성분 확인을 위한 분석은 어려웠다(도8 b). 차후 개금여부 및 그 방법에 대한 확인이 필요하다고 생각되었다.



a b

(a) 불상 앞면의 법의문양 부분  
(b) 불상 앞면의 접착제 추정

도8. 동제여래입상 실체현미경 사진

## 2. 처리과정

불상은 모두 이전 보존처리에 대한 정보를 확인이 어려웠으며 코팅이나 강화로 인한 약품은 남아있지 않았다. 이러한 부분과 불상의 문양, 표면의 상태 등에 유의하여 최소한의 이물질 제거와 부분코팅을 현미경 관찰을 통해 진행하였다.

금동여래입상의 클리닝은 Ethyl Alcohol 50wt% 수용액을 사용하여 흙과 부식물을 연화시키고 메스와 소도구 등을 사용하여 실체현미경으로 관찰하며 이물질을 제거하였다. 동제여래입상은 전체적으로 위와 동일하나 선각으로 표현한 불신 부분은 물리적으로 부식물을 제거하기가 어려움이 있어 화학적 클리닝을 하였다.

클리닝에 사용된 약품은 EDTA(Ethylenediaminetetraacetic acid,  $C_{10}H_{16}N_2O_8$ )로 무색의 결정성 분말이다. 약품의 특징은 물에 용해되나 에탄올 에테르 등에는 녹지 않고, 거의 모든 금속이온과 안정한 수용성 킬레이트를 만든다. EDTA를 이용한 화학적 클리닝으로 인한 표면손상의 선행연구 결과 EDTA-2Na용액의 경우 구리이온을 용해시키며 표면의 파티나층에 손상을 야기할 수 있으나 EDTA-4Na용액의 경우 주사전자 현미경 촬영 결과, 표면에 대한 손상여부가 확인되지 않았다<sup>[14]</sup>. 이를 참고하여 동제여래입상의 불신부분의 부식물 등의 이물질의 화학적 클리닝은 EDTA-4Na 3wt% 수용액과 고흡수성수지를 사용하여 실시하였다.

이후 전시·보관 등의 환경에서 부식을 억제하기 위해 B.T.A.(in Ethyl Alcohol) 3wt% 용액을 사용하여 안정화처리를 하였다. 유물강화를 위한 코팅은 Paraloid B-72(in Xylene) 20wt% 용액으로 진공함침하였다. 강화처리 1회 실시 결과 충분한 보호코팅막이 형성되지 않았다. 유물의 보호를 위해 동일 농도의 약품으로 재 강화를 실시하였다. 약품이 내부로 스며들지 않은 상태를 유물 강화를 위한 코팅막이 충분히 형성된 것으로 간주하고 마무리하여 보존처리를 완료하였다<sup>(도9)</sup>.

a b

(a) 금동여래입상  
(b) 동제여래입상



도9. 보존처리 후 상태

## V. 결론

국립청주박물관 소장품인 영국사 출토 금동여래입상과 동제여래입상의 분석과 보존처리 결과는 다음과 같다.

1. 성분분석 결과 금동여래입상은 구리, 주석, 납의 삼원계 합금이며, Au가 검출되어 동제불상에 개금을 하였을 것으로 확인되었으며, 동제여래입상은 구리, 주석의 이원계 합금으로 확인되었다.
2. 동제여래입상은 성분분석 결과, 개금이 존재하기 때문에 금동여래입상으로 그 명칭이 수정되어야 할 것이다.
3. 불상 제작에 사용된 납 원료의 산지추정을 위해 납동위원소비 분석을 실시한 결과, 금동여래입상은 국내에서 생산된 납을 원료로 하여 제작되었을 것으로 유추할 수 있었으며 그 지역은 경상북도 북부 및 강원도 남부 지역 일부로 추정되었다.
4. 동제여래입상의 납동위원소비 분석 결과, 중국 남부 지역의 납 혹은 한반도 남부의 충청도, 전라도 지역의 납 산지의 원료를 사용한 것으로 추정되었다. 그러나 이 분포는 원료 물질이 혼합된 청동기의 납동위원소비가 위치하는 영역임으로 해석 시 많은 주의가 필요하다.
5. 처리 전 금동여래입상의 표면에 존재하는 물질의 FT-IR 분석 결과, 개금을 위한 접착제인 옷을 확인하였다.
6. 불상의 보존처리는 유물의 상태를 고려하여 최소한의 이물질 제거와 안정화처리, 보호 코팅의 과정을 거쳤다.
7. 동제여래입상의 경우 불균일한 표면 상태와 음각으로 얇게 조형된 문양유지를 위해 일부 화학적 방법으로 표면을 클리닝 하였다. 이때 표면 파티나 층의 손상이 적을 것으로 판단되는 EDTA-4Na를 사용하였다.

## 참고문헌

1. 충청대학 박물관, *영동 영국사*, p332-333, 충청대학 박물관, 청원, (2008).
2. 김동하, 영주 숙주사지 출토 금동불상군의 제작기법 고찰, *신라문화* **40**, p75-106, (2012).
3. 김동하, 신라 통일기 소금동불상의 유형과 용도에 관한 시론:경주지역 발굴출토품 중심으로, *불교미술사학* **18**, p7-41, (2014).
4. 강형태·정광용·조상기·이문형, 논산시 원북리 토광묘유적 출토 청동기의 과학분석, *한국상고사학보* **39**, p19-30, (2003).
5. 최미라, 조남철, 김동민, 윤선영, 성남 판교 출토 청동보살상의 제작기법 및 납 원료의 산지추정, *보존과학회지* **29**, p231-241, (2013).
6. 이병길, 충북 지역 출토 청동유물의 금속학적 연구, 충북대학교 대학원, 석사학위논문, p62-64, (2014).
7. 강형태·김규호·함순섭·平尾良光·早川泰弘, 납동위원소비법에 의한 청당동유적출토 청동제대구의 산지추정, *고고학지* **9**, p127-136, (1998).
8. 최주·김수철·김정배, 한국의 세형동검 및 동령의 금속학적 고찰과 납동위원소비법에 의한 원료산지추정, *선사와 고대* **3**, p189-213, (1992).
9. MABUCHI Hisao & HIRAO Yoshimitsu, Lead Isotope Ratios of Lead Ores in East Asia-in relation to bronze artifacts, *KŌKOGAKU ZASSHI* **73 No.2**, p71-82, (1987).
10. Youn-Joong, J., Chang-sik, C., Dongbok, S., Kwang-Sik, L., Hui Je, J., Mukesh, K.G, Insung, L., Regional variations in the lead isotopic composition of galena from southern Korea with implications for the discrimination of lead provenance, *Journal of Asian Earth Sciences* **61**, p116-127, (2012).
11. 김소진·한우림·황진주·정연중·한민수, 출토 지역과 시대에 따른 한국 청동기의 납동위원소비 분류 특성, *보존과학연구* **36**, p4-10, (2015).
12. 이은우·김소진·한우림·한민수·황진주, 납동위원소비 분석을 활용한 인공사지 출토 청동기의 원료 산지 연구, *보존과학회지* **30**, p345-351, (2014).
13. 최석찬, (Part I.)한국 전통 칠도막의 과학적 분석 / (Part II.)몽고 고인골에서 추출한 collagen의 안정 동위원소 성분비를 이용한 고대 식생활 분석, 중앙대학교 대학원, 박사학위논문, p345-351, (2012).
14. Mohammad Mortazavi, Ahmad Salehi Kakhki, Mohammad Ali Golozar, Hasan Tala'i, *Assessment of dissolution and morphology of the surface of cuprite patina in chemical cleaning of archaeological copper-based alloys*, YOCOCU 2014: Professionals' Experiences in Cultural Heritage Conservation in America, Europe and Asia (2016).