

# 안동 옥동유적 출토 靑銅匙의 미세조직 및 산지연구

정광용<sup>1</sup> | 이주현  
한국전통문화학교 보존과학과

## A Study of the Microstructure and Provenance Area of Bronze Spoons Excavated from the Ok-dong Site in Andong

Kwang Yong Chung<sup>1</sup> | Joo Hyun Lee

Department of Conservation Science, The National University of Cultural Heritage, Buyeo, 323-812, Korea

<sup>1</sup>Corresponding Author: kychung@nuch.ac.kr, +82-41-830-7362

**초 록** 경북 안동 옥동유적에서 출토된 청동유물 14점 중 靑銅匙 5점을 대상으로 하여 ICP, 미세조직, TIMS 등의 과학적 분석을 실시하였다. 분석 결과 靑銅匙는 Cu-Sn 합금으로 Cu 75%이내, Sn 21~23%로 방짜유기에 해당되며, Pb, Fe, Zn 등이 미량성분으로 첨가되었다. 특히 납(Pb)은 0.04%의 미량으로 존재하는 것으로 보아 제련시 원광석에 포함된 불순물로 보인다. 靑銅匙의 미세구조를 볼 때 靑銅匙의 모양으로 골을 판 거푸집을 써서 주조한 다음 586°C 근방에서 가공하여 급랭한 것으로 추정된다. 열이온화질량분석(TIMs) 측정을 시행하여, 한국, 중국, 일본 납광석의 산지별 데이터베이스에 대조해 봤을 때 靑銅匙의 원료산지는 중국 남부의 남동위원소비와 유사함을 알 수 있다.

**중심어:** 안동 옥동유적, 청동술가락(靑銅匙), 미세조직, 산지연구

**ABSTRACT** A series of scientific analyses, including ICP-AES, microstructure, and TIMS, were carried out on 5 bronze spoons among 14 bronze artifacts excavated from the Ok-dong site in Andong, North Gyeongsang Province. The results of analysis showed that the bronze spoons were formed from an alloy of no more than 75% Cu and 21~23% Sn, placing it in the category of brassware, with trace elements such as Pb, Fe, and Zn. In particular, plumbum Pb contents of which traces of 0.04% were found, appears to have been added as an impurity during smelting. The microstructure of the bronze spoons suggests that the casting process involved using a spoon-shaped hollow mold, followed by a rapid-cooling process after the shape was perfected at approximately 586°C. After comparison of data measured from thermal ionization mass spectrometry (TIMS) of galena from Korea, China, and Japan, it appears that the raw materials for the bronze spoons included galena (lead sulfide) produced from the southern part of China.

**Key Words:** Ok-dong site in Andong, Bronze spoons, Microstructure analysis, Production areas

### 1. 머리말

우리나라 고대의 청동기 연구는 금속가공기술의 연구에서부터 시작된다<sup>1</sup>. 즉, 청동기의 정련은 어떻게 시작되었으며, 어떠한 방법으로 제작되었는지, 그 원료는 어디에서 구하는지, 그리고 기술의 형성·발전·퇴화의 전 과정

에 대하여 과학적인 접근방법으로 고고학적 자료의 속성을 해석하고 우리의 역사를 재조명할 필요가 있다.

청동기는 정련과 주조의 기술이 진보함에 따라 불순물 원소는 점점 그 양이 적어지게 된다. 또 이용하는 광석의 종류에 따라 불순물 원소가 증가하기도 하고 감소하기도 하였다. 따라서 정확한 시대나 지역을 반영하는 것

은 아니지만 청동기의 함량 비는 시대적인 기술진보의 배경을 알려 주는 확실한 자료가 된다.

고고학 자료의 속성을 밝히기 위해서는 좀 더 확신할 수 있는 과학적인 접근이 필요하다. 점차 사회가 발달함에 따라 분석기기의 발달도 한층 더 높아지고 있다. 이러한 첨단 분석기기를 이용한 과학적인 분석결과는 고고학적 자료의 해석에 있어서 역사적 쟁점의 귀결을 맺는데 도움을 주고 있다.

특히 청동기의 경우 주요 성분인 구리, 주석, 납의 함량 데이터를 기초로 하여 금속조직을 관찰하면 주조 시 상변화와 냉각속도 등을 판단하여 주조방법 및 가공방법을 알아낼 수 있고, 미량성분 분석을 통해 불순물이 원료에서 유래된 것이므로 원료물질의 정련정도를 검토할 수 있다. 특히 이의 함량 분포는 청동기의 분류 및 산지를 밝히는데 과학적인 데이터를 산출하여 역사조명에 소중한 자료를 제공한다<sup>2</sup>.

본 연구는 안동 옥동유적의 고려시대 무덤에서 출토된 靑銅匙를 대상으로 하였으며, 보존처리 과정 중 극미량의 시료 채취가 가능한 시료 5점만을 선정하였다. 靑銅匙는 미세조직관찰, ICP-AES, TIMS 분석으로 고려시대 청동기의 기술체계를 규명하고, 청동기의 제작에 사용된 원료 물질의 출처를 밝혀내는 것에 초점을 맞추었다. 이 연구는 향후 고려시대의 靑銅匙를 비교할 수 있는 기초 데이터로 활용될 것이다.

## 2. 靑銅匙

안동 옥동유적은 삼국시대와 고려시대의 무덤으로 안동지역 고분의 특징적인 요소를 보여주고 있으며 다양한 토기와 청동 및 철기제품이 출토되었다<sup>3</sup>. 靑銅匙는 총 7점이 출토되었으며 고려시대와 조선시대의 식생활 연구에 좋은 자료를 제공하고 있다. 이에 따라 과거의 식생활 연구의 필요한 靑銅匙 소재의 과학적 분석을 통하여 그 당시의 생활수준과 소재의 광물학적 배경을 알아보았다.

우리나라는 오랜 옛날부터 손가락(靑銅匙)과 젓가락을 이용한 식생활의 예절이 있었으며, 비록 거지일지라도 자신의 손가락은 반드시 지닌다고 전할 만큼 과거 식생활에서 중요한 역할을 담당한 생필품이다.

우리나라에서 가장 오래된 靑銅匙는 청동기 시대의 유적인 나진 초도 조개무지에서 출토된 것이다.<sup>1</sup> 우리나라에서 젓가락이 처음 출토된 곳은 공주 무령왕릉인데, 이것으로 보아 삼국시대부터 손가락과 젓가락을 함께 사

용했음을 짐작할 수 있다. 중국은 서기전 10~6세기쯤 만들어진 문헌에 손가락에 대한 기록이 처음 나오고, 일본에서는 서기전 3세기쯤의 유적지에서 출토되었다.<sup>1,4</sup>

통일신라시대의 손가락은 전형적인 원형과 타원형 형식, 저면이 원형이긴 하나 원형저보다 크고 병부도 긴 국자형, 위선가비형 등이 있었다.<sup>1</sup>

고려시대의 손가락에는 흔히 연미형이라 통칭되어 온 것이 있다. 이는 자루의 끝이 제비꼬리 모양으로 두 갈래로 갈라지고 자루의 측면에서 본 곡선은 S자형을 이룬다. 저면은 길이 9cm, 폭 7cm 가량의 가늘고 긴 형태를 갖는 것이 보통이다.

조선시대로 들어서면서 손가락의 형식은 크게 달라져, 조선시대의 靑銅匙는 고려시대와 달리 자루의 선단부의 단면을 자르면 납작하고 연부는 반원형으로 마무리를 짓는다. 길이는 대체로 24cm 내외이며 저면의 길이가 8cm, 폭 4cm 가량이나 자루와 저면의 연결부가 그다지 두드러지지 않으며 측면에서 본 곡선도 거의 휘지 않는다. 또 자루의 두께가 대체로 두터운 편이다.

靑銅匙는 시대별로 다양한 변천과정과 제작기술을 가지고 있으며, 현대에도 쓰임과 용도, 신분의 차이 등에 의해 많은 재질 및 모양의 靑銅匙가 사용되고 있다.

## 3. 분석시료 및 방법

### 3.1. 시료 및 분석위치


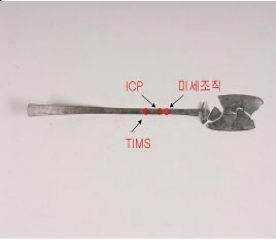




경상북도 안동시 옥동유적에서 출토된 靑銅匙 총 7점 중에서 고려시대 靑銅匙 5점을 분석대상으로 선정하였다. 단, 문화재라는 한계로 인하여 성분분석과 열이온화 질량분석은 각각 2점을 분석하였고 미세조직은 모두다 분석하였다. 분석방법 및 분석위치는 Table 1과 같다.

### 3.2. 분석방법

#### 3.2.1 유도결합플라즈마발광분석(ICP-AES)

시료 약 30mg 정도를 25ml 삼각플라스크에 넣고 왕수 1ml를 첨가하여 가열판에서 용해 시켰다. 실온에서 서서히 냉각시킨 다음 시료가 완전히 용해되었는지를 확인한 후, 50ml 메스플라스크에 옮겨 50g으로 만들었다. 표준용액은 원자 흡광용 표준원액(1,000ppm, BDH spectrosol)을 사용하여 묽혔고, 분석시료의 매트릭스와 맞춰주기 위해 왕수를 1ml씩 첨가하여 시료를 제작하였

**Table 1.** Sample position for Analysis.

	 <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Positon : Ga - 2tomb</li> <li>◦ Analysis : Micro 1ea ICP 1ea TIMS 1ea</li> </ul>
<p>N0. 1 Excavation site of Andon Okdong</p>	<p>N0. 2 Length 295mm, Width 36.3mm, Thickness 2mm, Weight 28g</p>
 <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Positon : Ga - 5tomb</li> <li>◦ Analysis : Micro 1ea</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Positon : Na - 1tomb</li> <li>◦ Analysis : Micro 1ea ICP 1ea</li> </ul>
<p>N0. 3 L 236mm, W 37.3mm, T 2.2mm, W 25g</p>	<p>N0. 4 L 316mm, W 41.9mm, T 3mm, W 33g</p>
 <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Positon : Na - 6tomb</li> <li>◦ Analysis : Micro 1ea TIMS 1ea</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Positon : Ra - 3tomb</li> <li>◦ Analysis : Micro 1ea</li> </ul>
<p>N0. 4 L 307mm, Wi 41.9mm, T 2.5mm, W 31g</p>	<p>N0. 6 L 67.1mm, W 27.7mm, T 2mm, W 10g</p>

다. 분석은 유도결합플라즈마 발광분석기(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, SPS7800)를 이용하여 각 시료를 3회 평균값을 사용하여 정량하였다.

### 3.2.2 미세조직관찰

미세조직 분석을 위해 최소한의 손상 조건하에 마이크로 핸드 카터(micro - hand cutter)를 이용하여 소량의 시료를 채취하였다. 채취한 시료를 에폭시 수지로 마운팅한 후 320, 500, 800, 1200, 2400의 순으로 연마하였고, 6 $\mu$ m, 3 $\mu$ m, 1 $\mu$ m, 의 DP suspension과 0.3 $\mu$ m의 알루미늄나로 마무리 광택작업을 하였다. 연마후 건조를 하고 에칭액을 이용하여 에칭시킨 후 미세 조직관찰을 위해 금속현미경(Metallurgical Microscope, Nikon PIPHOT 200)을 사용하여 관찰을 하였다. 에칭액은 질산(HNO<sub>3</sub>) 50%, 증류수 50%, 염화제이구리(CuCl<sub>2</sub>) 5g를 이용하여 약 3초간 실시하였다.<sup>5</sup>

### 3.2.3 열이온화질량분석기(TIMs)

Pb에는 안정적인 동위원소인 204, 206, 207, 208인 4가지의 동위원소를 지니고 있으며, 지구가 생겼을 때 그 비율은 정해져 있었다. 그러나 시간이 경과함에 따라 방사성붕괴에 의해 암석 속에 함께 존재하였던 U-238, U-235, Th-232는 스스로 방사능을 방출하여 원자속의 양자와 중성자 수를 점점 변화시켜 마지막에는 Pb-206, 207, 208로 변화한다. 납동위원소의 존재량과 그 비는 암석 중에 존재하는 U, Th, Pb의 양과 공존시간 등에 따라 변화하며, 각 광산마다 고유한 값을 지닌다.

납동위원소는(<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb)의 비로서 나타내게 되어 각 지역의 방연광은 생성과정을 반영하는 고유한 납동위원소비 값을 나타낸다. 따라서 고대에 청동기 제조를 위해 어느 지역의 방연광을 사용하였다면 방연광의 납동위원소비는 청동기에 그대로 유지되므로 납동위원소비를 분석하면 그

**Table 2.** Chemical composition range of bronze spoon from Andong Okdong.

sample	Cu%	Sn%	Pb%	Zn%	Ni%	Fe%	Ag%	Sb%	Co%	As%
bronze-spoon (Ga-2tomb)	75.6	21.5	0.046	0.1	-	0.056	0.7	-	-	-
bronze-spoon (Na-1tomb)	75.2	22.7	0.041	0.068	-	0.046	0.64	-	-	-

**Table 3.** Chemical composition range of bronze spoon from other site<sup>2</sup>.

sample	Cu%	Sn%	Pb%	Zn%	Ni%	Fe%	Ag%	Si%	Mn%	As%	Sb%	Co%
bronze-spoon (Kimhea area)	73.9	24.1	0.04	0.02	0.09	0.3	-	0.09	0.001	0.2	-	-
bronze-spoon (Kimhea area)	69.8	26.3	0.5	0.07	0.07	0.1	-	0.1	0.01	<0.001	-	-
bronze-spoon (Kimhea area)	71.9	23.8	0.03	0.05	0.05	0.1	-	0.05	0.001	0.09	-	-
bronze-spoon (Sangju chungni)	75.9	19.4	1.67	-	0.085	0.11	0.20	-	-	0.31	-	-
bronze-spoon (Miruksa temple)	74.5	20.3	3.67	0.0028	0.23	0.27	-	-	-	0.02	0.21	-
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	71.9	20.1	0.11	0.0015	0.03	0.0163	0.20	-	-	-	0.05	0.0025
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	74.2	20.4	0.14	-	0.03	0.0278	0.13	-	-	-	0.06	0.0041
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	72.1	20.6	0.10	0.0014	0.03	0.0327	0.12	-	-	-	0.05	0.0023
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	72.1	21.4	0.36	0.0038	0.10	0.1414	0.37	-	-	-	0.05	0.0084
bronze-spoon (Deajeon Boksudong)	75.9	21.7	0.10	0.001	0.03	0.0324	0.12	-	-	-	0.06	0.0022
bronze-spoon (Deajeon Boksudong)	77.3	20.0	0.27	0.0074	0.21	0.1324	0.44	-	-	-	-	0.0082
bronze-spoon (Uljin Bongsanri)	72.9	20.4	0.20	0.0026	0.13	0.0478	0.49	-	-	-	0.08	0.0216
bronze-spoon (Uljin Bongsanri)	73.3	19.5	0.06	0.0028	0.01	0.569	0.03	-	-	-	-	0.0041

산지를 추정할 수 있게 된다.<sup>6</sup>

靑銅匙의 일부 약 3 mg 정도 시료를 채취하여 테프론 바이알에 넣고 정제된 왕수(염산:질산 = 3:1)를 2~3 ml 첨가하고 150 °C의 가열판에서 밤새도록 가열하였다. 다음 바이알 뚜껑을 열고 가열하여 건조시켰고 6N 염산 2 ml 정도를 사용하여 다시 건조시킨 후 1N HBr 1ml 정도에 녹였다. 원심분리 시켜 녹인 시료를 음이온교환수지(AG1-X8, chloride form, 100-200#)와 1N HBr을 사용하여 납을 분리하였다. 분리한 납은 Re single filament에 얹어 한국기초과학지원연구원의 열이온화질량분석기(Thermal ionization mass spectrometer:TIMS, Model : VG Sector 54-30)를 사용하여 동위원소비를 측정하였다. 분석결과

는 표준물질(NBS SRM 981)의 측정치를 사용하여 보정한 것이다. 분석과정의 총 바닥값(total blank)은 1ng 내외이었다.

### 3.3 분석 결과 및 고찰

#### 3.3.1 성분분석 결과

유도결합플라즈마분광분석법(ICP-AES)을 사용하여 10여종의 성분함량을 알 수 있었고, 이는 Table 2에 나타내었다. 靑銅匙 Cu-Sn계 합금으로 조사되었고 청동주물의 한국공업규격보다 Cu의 함량은 낮고 Sn의 함량은 높은 경향을 나타내었으며, Table 3에서처럼 타 유적지 출

토 청동유물과는 조성이 비슷한 것으로 조사되었다. Cu와 Sn의 함량은 구리 75%, 주석이 21~23%로 주석의 함량이 높았고 미량원소인 Pb, Zn, Ni, Sb, Fe, As 등은 청동주물의 한국공업규격 제한범위 이내에 속함을 알 수 있었다.

우리나라는 고려시대 이후부터 식생활에 사용되는 식기구, 제기구, 각종 생활용품 등을 방짜유기로 제작하여 사용하였고, 이는 Cu-Sn을 78:22 비율로 녹인 늦덩어리를 불에 달구어가며 망치로 두들겨 만든 제품을 지칭한다.<sup>7</sup>

Table 2,3에 나타나는 靑銅甌의 성분분석 결과를 보면, Cu-Sn이 정확하게 78:22의 비율은 아니지만, 대략 Cu 70~76%, Sn 20~23%로 나타남으로써, 분석의 오차범위를 감안한다면 거의 비슷한 비율로 볼 수 있다. 그러므로 고려시대에 사용된 靑銅甌의 제작방법은 방짜유기의 방법이 적용된 것으로 추측된다.

3.3.2 미세조직관찰

청동기의 제작기법 및 열처리 공정을 이해하기 위해서는 청동기의 성분조성과 미세조직 그리고 Cu-Sn계의 상태도의 해석이 필요하다.

고대 청동기는 Sn 함량이 14 wt.% 이상이면 색상이 밝아지면서 은색에 가까워지고 단단해지지만, 10~20 wt% 사이의 합금은 오렌지에서 황색에 더 가까운 색으로 변하면서 깨지기 쉬운 성질을 갖고 있다.<sup>8</sup> Figure 1의 Cu-Sn계 상태도에서 주석 14 wt.%를 함유하면 보통 단일상이다. 즉 구리가 풍부한 α상은 그림에서 α Cu로 표

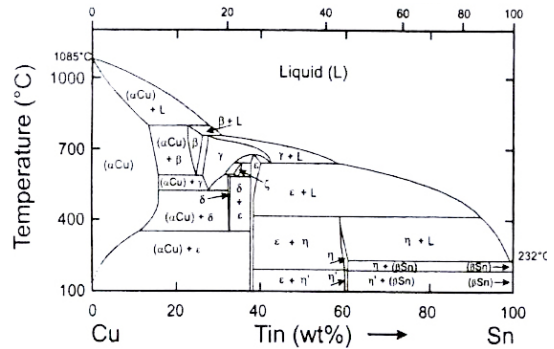


Figure 1. Equilibrium phase diagram for copper and tin.

시되고, 고대 청동기는 저주석량의 단일상 합금으로 망치로 두드림으로써 원하는 모양으로 만들 수 있다. 14 wt.% 이상의 주석을 포함하는 구리-주석 합금이 냉각되면, 이 합금은 2 개의 상을 포함한다.

즉, 구리가 풍부한 α상과, 은백색인 δ상인데, 이 δ상은 Cu<sub>31</sub>Sn<sub>8</sub>의 조성을 가지는 단단한 금속간 화합물이다. 실제로는, 구리-주석의 합금은 비교적 빠른 속도로 냉각하고, Cu-Sn계의 상태도(Figure 1)의 실온에서 평형상(α와 ε)을 형성하지 않는다. 즉, 14 wt.% 이상의 주석을 함유하는 구리-주석 합금은 손상되기는 쉽지만, 경도는 높고 연마되면 밝고 반사성이 좋은 은색을 띤다.<sup>8</sup>

안동 옥동유적의 靑銅甌 분석대상 시료는 Table 1의 N0. 2~6에 나타내었고, 각각의 미세구조는 Figure 2~6에 나타내었다.

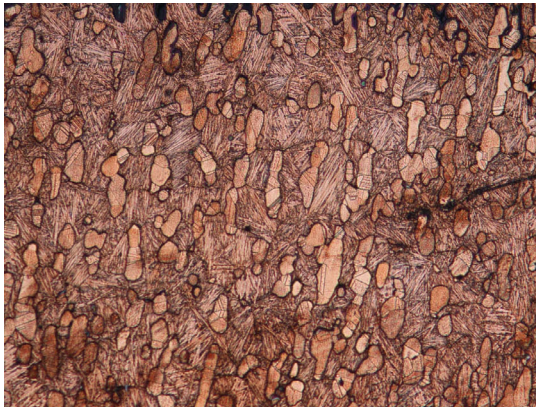
Figure 2~6의 미세조직을 보면 흰 점으로 보이는 α와



Figure 2. Microstructure of bronze spoon (Ga-2 tomb, x200).



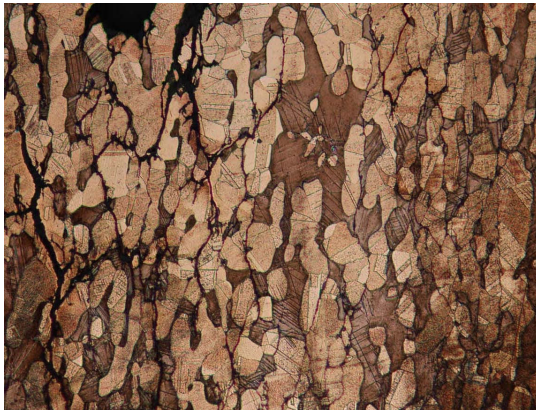
Figure 3. Microstructure of bronze spoon (Ga-5 tomb, x200).



**Figure 4.** Microstructure of bronze spoon (Na-1 tomb, ×200).



**Figure 5.** Microstructure of bronze spoon (Na-6 tomb, ×200).



**Figure 6.** Microstructure of bronze spoon (Ra-3 tomb ×200).

그 사이에  $\nu$  바탕으로 이루어져 있다. 자세히 보면  $\nu$  바탕에서 선 모양이 보이는데 이는  $\beta$ 로서 특히 표면에 많이 보인다. 이는 표면을 가공하여다는 것을 뜻하며 일종의 마르텐사이트적인 변화가 일어난 것을 말한다. 석출상으로 보아  $\beta \rightarrow \alpha + \nu$ 의 공석변태가 일어나는  $586^\circ\text{C}$  이상에서 가공하여 급랭시킨 것을 알 수 있다. 이 미세구조를 보아 靑銅匙를 만들 때는 당시에도 수저 모양의 꼴이 파여진 수저물판(거푸집)에 쇠물을 부어 무대가락을 얻어 가공한 것을 알 수 있다.<sup>9,10</sup>

靑銅匙 5점을 분석한 결과 대부분은 미세조직 면에서 별다른 차이가 발견되지 않았다. Figure 3에서 관찰된 조직으로 비교적 어두운 바탕에 밝게 보이는 영역이 섬처럼 분포하고 있다. 여기에서 바탕의 침상은 담금질 조직

인 마르텐사이트에 해당하며 밝은 영역에는  $\alpha$ 가 자리하고 있다. 또한 쌍정의 존재는 제작과정에 두드림 공정이 추가되었음을 말해주며 마르텐사이트는  $586^\circ\text{C}$  이상의 온도에서 담금질 처리가 수행되었다는 증거다. 이들의 제작에는 주조공정-두드림 작업-담금질 열처리가 차례로 실시된 것으로 판단된다.

### 3.3.3 열이온화질량분석기(TIMS)

납동위원소비에 의한 유물의 산지추정은 1967년 미국의 Brill이 처음 시도하였고,<sup>11</sup> 그 직후 영국 등 구미 여러 나라에서도 납동위원소비의 연구가 진행되어 최근까지 방대한 양의 데이터를 축적해놓고 있다. 일본에서도 1970년대 중반 나고야대학의 야마사키에 의해 시도되었고, 국내에서는 1986년부터 활발하게 연구가 진행되고 있다.<sup>12,13,14</sup>

지구과학적으로 구리, 주석, 납은 닮은 성질이 있어 비슷한 장소에서 산출되며 동광석을 산출하는 장소가 있으면 당연히 가까운 곳에 납광산이 존재할 가능성이 큰 것으로 보고되고 있다.<sup>6</sup> Table 4는 지금까지 발표된 청동순가락의 납동위원소비 결과를 보여주고 있으며, 안동 옥동유적에서 출토된 靑銅匙 2점의 납동위원소비 결과는 Table 5에 나타내었다.

최근까지 납동위원소비 데이터는 주로  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 을 두 축으로 한 방연광 분포도(Atype)와  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 를 두 축으로 한 방연광 분포도(Btype)를 이용하여 그 산지를 추정하고 있다. 이 경우 시료의 분포가 직선상에 나타나면 동일지역의 시료로 간주

**Table 4.** Lead isotope ratio of bronze spoon from other site<sup>2</sup>.

Sample	Area	Period	Lead isotope ratio					Score		Source expected
			206/204	207/204	208/204	207/206	208/206	DS1	DS2	
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	Da-4	Goryeo	18.389	15.698	38.878	0.8537	2.1139	0.091	0.0158	Korea South
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	Da-27	Goryeo	18.410	15.732	39.007	0.8545	2.1187	0.207	0.248	Korea South
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	Da-9	Goryeo	18.390	15.699	38.877	0.8536	2.1138	0.089	0.0162	Korea South
bronze-spoon (Nonsan Wonbukri)	Da-81	Goryeo	18.412	15.734	39.010	0.8547	2.1189	0.213	0.257	Korea South
bronze-spoon (Deajeon Boksudong)	2	Joseon	18.400	15.698	38.312	0.8553	2.0897	-0.196	0.381	China South
bronze-spoon (Deajeon Boksudong)	52	Joseon	18.491	15.699	38.731	0.8490	2.0945	-0.268	0.242	China South
bronze-spoon (Uljin Bongsanri)	16	Joseon	18.338	15.691	38.813	0.8556	2.1166	0.166	0.137	Korea South
bronze-spoon (Uljin Bongsanri)	Surface	Joseon	18.094	15.562	38.209	0.8616	2.1154	0.147	-0.194	Japan

**Table 5.** Lead isotope ratio of bronze spoon from Andong Okdong.

Sample	Lead isotope ratio					Score		Source expected
	206/204	207/204	208/204	207/206	208/206	DS1	DS2	
bronze-spoon (Ga - 2tomb)	18.367	15.695	38.855	0.8546	2.1155	0.128	0.1478	China South
bronze-spoon (Na - 6tomb)	18.359	15.669	38.855	0.8535	2.1115	0.026	0.0791	China South

한다는 점, 또 산지·시대별로 시료를 판별할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하는 방법으로써 모든 데이터를 동시에 사용하여 선형판별식분석(SLDA)으로 방연광의 분포도를 나타낸 것으로 마부찌 등이 발표한 한국, 중국, 일본의 방연광의 납동위원소비 데이터<sup>6</sup>를 사용하여 도식화한 것이다. 선형판별식분석으로 구한 판별함수는 아래와 같으며, 여기에 미지시료의 납동위원소비 데이터를 넣어 계산된 판별점수를 표시 할 수 있다. 이때의 위치가 미지시료의 납 산지인데 이 위치는 판별함수에서 얻은 X축의 판별점수(DS<sub>1</sub>)와 Y축의 판별점수(DS<sub>2</sub>)로 정해진다.

$$DS_{1j} = -0.571X_{Aj} + 1.916X_{Bj} - 0.091X_{Cj} + 8.292X_{Dj} + 14.24X_{Ej} - 53.13$$

$$DS_{2j} = 1.025X_{Aj} + 3.231X_{Bj} - 0.487X_{Cj} + 7.280X_{Dj} + 3.140X_{Ej} - 63.33$$

여기에서, X<sub>Aj</sub>, X<sub>Bj</sub>, X<sub>Cj</sub>, X<sub>Dj</sub>, X<sub>Ej</sub>, 는 시료의 각 동위원

소비 <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb의 값이다.

KS D6011 연입청동주물을 예로 볼 경우 Zn, Ni를 각각 1.0%이하, Fe0.3%이하, 기타 1.0%이하로 제한하고 있다. 안동 옥동 출토 靑銅匙를 보면 Zn, Ni, 기타불순물(Sb, As)의 함량이 오늘날의 규격범위 이내에 들고 있다. Pb의 첨가는 주조품의 유동성을 좋게 하기 위함도 있지만 경제적인 면을 고려하여 고가인 주석을 대신하여 납을 첨가하기도 하였다. 청동기 성분 중 납의 함량이 2% 이상이 되면 의도적으로 첨가한 것으로 보고 있다.<sup>16</sup> 하지만 연구대상 시료는 납의 함량이 미량으로 인위적인 첨가가 아니라 불순물로 첨가 된 것으로 판단된다. 이는 그 당시의 금속 가공의 수준과 특성을 파악할 수 있는 자료를 제공하며, 산지 또는 지역의 특성을 제공한다.

도식 A와 B는 한·중·일의 방연석의 영역이 잘 나타나 있어 청동기의 산지 분류에 유용하게 사용되고 있고 Table 5의 납동위원소비의 데이터는 Figure 7과 Figure 8에 각각 나타났었다. 그 결과 안동옥동 출토 靑銅匙 2편

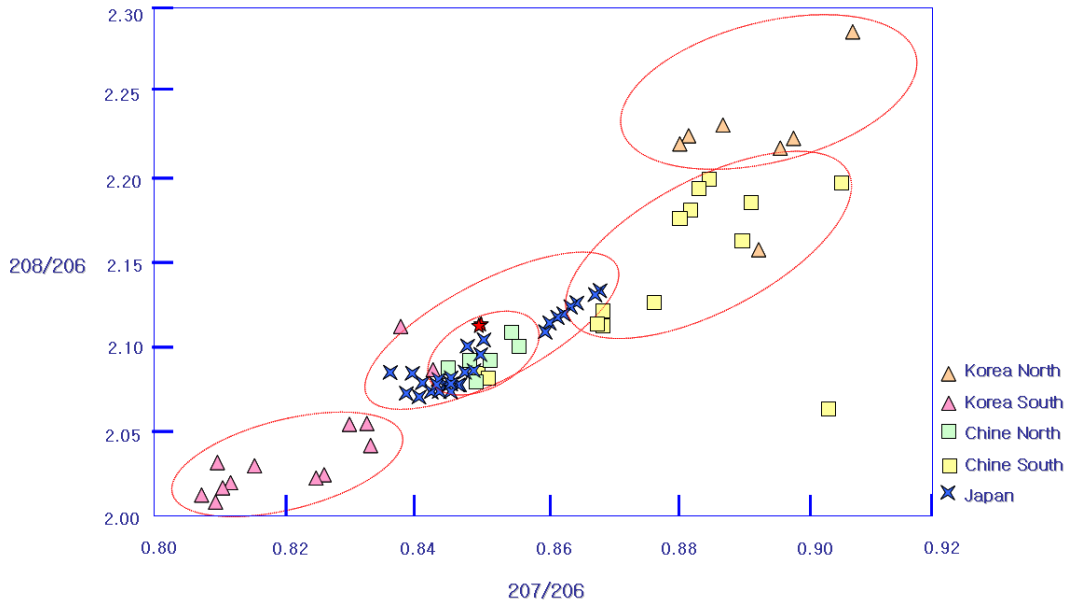


Figure 7. Distributions of lead isotope ratios of the Divine Bell of bronze spoon from Andong Okdong (Type A).

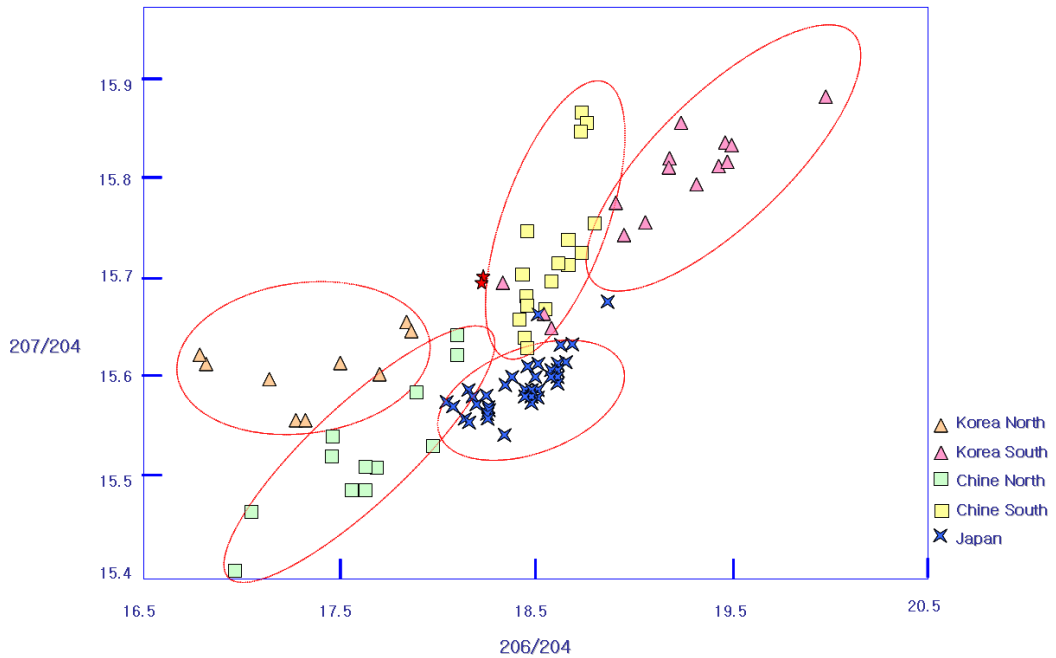
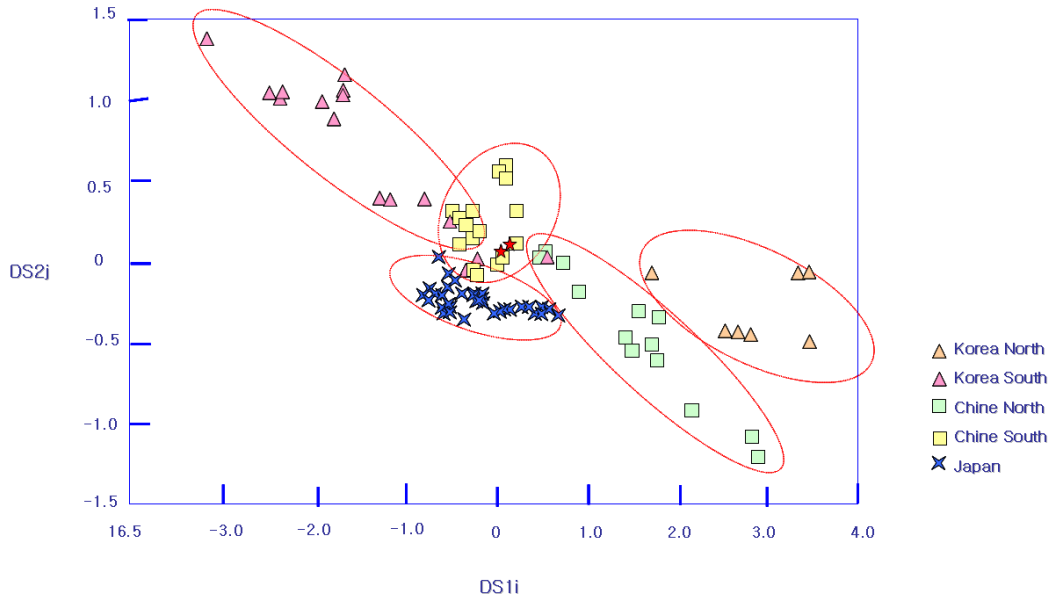


Figure 8. Distributions of lead isotope ratios of the Divine Bell of bronze spoon from Andong Okdong (Type B).

은 모두 중국남부 방연석 지역에 속하고 있음을 알 수 있다. 그리고 선형판별식분석법(SLDA)을 적용하여 납동위원소비의 데이터를 도식화 한 결과 Figure 8에 나타나

며, 이 또한 중국남부의 방연석에 속한다는 것을 알 수 있다. 안동옥동에서 출토된 靑銅匙는 도식A, B, SLDA의 도식결과가 모두 중국남부로 일치하고 있음을 알 수 있





**Figure 9.** Distributions of lead isotope ratios of the Divine Bell of bronze spoon from Andong Okdong (SLDA).

으며, 그 위치가 조밀하여 모두 동일한 광석을 사용한 것으로 판단된다.

靑銅匙에 함유된 납동위원소비를 분석한 결과 중국 남부 영역에 속함을 알 수 있었다. 이는 중국 남부 영역에 속하는 유물들과 같은 상관관계가 있음을 보여주는 결과이다.

#### 4. 마무리

경상북도 안동 옥동유적에서 출토된 고려시대 靑銅匙 5점에 대한 금속학적 미세조직과 성분분석을 통하여 제작기술을 알아내고, TIMS 분석으로 납의 원료산지를 추정하였다.

靑銅匙의 ICP 성분분석 결과 Cu 76% 내외, Sn 22% 내외의 Cu-Sn계 청동합금으로 이는 우리나라의 고려시대 이후에 나타나는 전형적인 방짜유기에 해당된다. 그리고 미량성분으로 Pb, Ni, Sb, Zn Fe, As 등이 함유되어 있는데 이는 현대의 KS규격 이내의 범위에 속함으로써 당시의 청동기의 제작기술도 현대기술과 비교하면 매우 우수함을 알 수 있다. 특히 납과 비소의 함량이 미량으로 존재하는 것으로 보아 제작당시 의도적으로 납과 비소를 첨가하지 않고 불순물로 첨가된 것이다.

미세조직 분석결과 靑銅匙는 손가락 모양의 골이 파여진 손가락 물판에 쇳물을 주조하여 무대가락을 얻었으며, 586℃ 이상의 온도에서 가공한 다음 δ상의 출현을 억제해야 하기 위하여 급랭시켜 제작하였다.

#### 참고문헌

- 이난영, "한국 고대의 금속 공예". 서울대학교출판부, pp3-5, (2000).
- 정광용, 강형태, 정동찬, 윤용현, 이훈, "고대청동기의 성분 조성 및 산지추정 연구". 한국문화재보존과학회, p137-153, (2004).
- 동양대학교박물관, "안동 옥동 택지개발사업지구내 유적 발굴조사 결과보고". 동양대학교박물관, p1-10, (2005).
- 정의도 "武寧王陵 出土 靑銅匙 研究". 先史와 古代, 30, p213-283, (2009).
- Gunter Petzow, "Metallographic Etching". American Society for Metals, (1978).
- 馬淵久夫, 平尾良光, "東アジア 鉛鑛石의 鉛同位體比". 考古學雜誌, 73-2, 199-245, (1987).
- 홍정실, "유기". 대원사, p68-74, (1999).
- Lyndsie Selwyn, "Metals and Corrosion". p55, (2004).
- 정영동, 정원섭, "신라 왕경 출토 청동유물의 미세조직과

- 성분분석 및 그 시대의 제작기술 추정". *대한금속재료학회지*, 45, p36-44, (2007).
10. 정광용, 최광진, 강현삼, "고려시대 월산리유적 청동유물의 미세조직 연구". *문화재과학기술*, 1, p75-85, (2002).
  11. Brill, R.H., Wampler, J.M. *American Journal of Archaeology*, p71, (1967).
  12. 강형태, 문선영, 홍태기, 김승원, 김규호, 허우영, "고대청동기의 과학적분석( I )-미륵사지·경주유적의 출토품을 중심으로". *한국고고사학보*, 25, (1997).
  13. 강형태, 정광용, 조상기, 이문형, "논산시 원북리 토광묘유적 출토 청동기의 과학분석". *한국상고사학보*, 39, p22-26, (2003).
  14. 강형태, 조남철, 정광용, 원도법화사지동종의 과학적분석 및 산지연구, 호남고고학보, 제25호, (2007)
  15. 안주영, "납동위원소비에 의한 한국 출토 청동제품의 산지고찰". *공주대학교 대학원 석사논문*, p2, (2007).
  16. Barnes, I.L., "The Technical Examination Lead Isotope Determination and Elemental Bronze Vessels". *The 2nd International Conference of BUMA*, Ed. Maddin R, p21-26, (1986).
-