

# 고대 청동기의 성분조성 및 산지추정 연구

정광용 · 강형태 · 정동찬 · 윤용현 · 이 훈

대전보건대학, \*국립중앙박물관, 국립중앙과학관, 충남역사문화원

## Study on quantitative & trace element analysis of metal objects

Kwang-Yong Chung, Hyung-tae Kang, Dong-chan Chong, Yong-hyun Yun and  
Hoon Lee

*Daejeon health sciences college, National Museum of Korea, National Science Museum*

### Abstract

We have analyzed the ingredients of 17 pieces of Bronze Age bronze ware, and an additional 22 pieces of Koryo and Chosun dynasty bronze ware. We have also conducted analysis of the extraction sites where these bronze ware items were found.

For analyzing the main ingredient the bronze ware items have been divided into 3 groups - Cu-Sn(70:75:20), Cu-Pb-Sn(70:10:10), Cu-Pb-Sn(60:10:20) type respectively. In the cases of the Cu-Pb-Sn groups the division comes down to differences in the Cu content as the main component, and elements such as Ni, Fe, Co contribute as a micro ingredient.

The geographical and periodic characteristics of ancient bronze ware items show that their compositional element changes from Cu:Sn to Cu:Pb:Sn and the Cu content decreases with the period, while the Pb content increases with the period.

Bronze ware items from Suchon Ri, Gongju (that were used in 3 B.C.) form very different categories from 3rd ~ 2nd B.C.. They additionally formed very different categories from those bronze ware items analyzed in this research. These bronze ware items are shown to be geographically

close and periodically overlapped, but made of a new elemental composition. This shows an inflow of a production technical culture present in the new bronze wares. The main component content of Cu is lower, and the Co and Fe contents (as microelements) are much higher than that of other bronze ware items. Such facts show that those bronze ware items used completely different materials from bronze ware items in other cultural areas, or that there were differences in smelting techniques. In the places where ancient bronze ware items have been extracted, it is presumed that the materials originated from the southern parts of Korea and northern parts and southern parts of China. As more bronze ware scientific research is compiled one can conclude that there will be enough scientific evidence to study the Bronze Age culture of Korea systematically.

## 1. 서론

고대 한국의 청동기시대는 기원전 10세기경 중국에서 생산된 청동기를 이용한 것이 시초라고 볼 수 있다<sup>1</sup>. 본격적인 청동기 시대를 나타내는 정련은 B.C 4세기말~B.C 2세기 중엽에 시작되었고, 주조는 현재까지 확인된 바에 의하면 석제주형의 경우 B.C 5세기로 보고 있다<sup>2</sup>

금강 유역은 한국 청동기가 집중적으로 분포하는 지역이다. 대전 괴정동을 비롯하여 아산 남성리, 예산 동서리 등 가장 이른 국산 청동기를 제작한 지역으로, 한반도에서는 경주지방·평양지방·전남(영암)지방과 더불어 금강유역에서 청동기가 집중적으로 나와 한반도 청동기 연구에 중요한 자료를 제공하고 있다.

국내에서 현재까지 전국의 유적에서 출토된 청동기에 대한 고고학적, 미술사적, 문화사적인 검토에는 많은 업적이 있었지만 과학적으로 성분을 분석한 예는 그리 많지 않아 청동기 문화의 흐름이나 기원에 대한 논의를 시도하기에는 자료가 부족한 실정이었다. 따라서 이들 청동기의 과학적 조사 결과를 정리하여 종합하면 청동기 제작과 관련된 여러 정보를 얻을 수 있다. 출토 유물의 과학적 조사는 재질에 따라 여러 방법이 적용될 수 있으나, 청동기를 대상으로 할 경우에는 주원료로써 구리, 주석 및 납을 사용한 합금의 배합비, 미세

구조 및 원료의 산지추정 연구에 집중 된다<sup>3</sup>. 따라서 금강유역을 중심으로 하는 청동기시대 유적에서 발굴된 세형동검, 비파형동검, 동모 등은 어떠한 배합비로 주조하였으며, 또 어느 지역의 원료를 가져다 사용하였는지를 밝혀내면 고고학 뿐 아니라 기술사적인 측면에서도 연구에 많은 진전이 있을 것으로 판단된다. 청동기는 대부분 구리와 주석을 기본으로 하면서 필요에 따라 납을 첨가하여 주조된 것이다. 청동에 납을 첨가하는 목적은 주조시 유동성을 좋게 하고 용융온도를 낮추기 위해서, 또 값비싼 주석을 얻기 어려워서 대신 납을 첨가하기도 한다. 이렇듯 청동기를 제조하기 위해서 납은 당시의 기술적, 경제적인 측면을 고려하면서 용도에 따라 그 양을 조절하여 첨가하지만 동시에 이 납을 언제, 어디서 입수하였는지를 밝혀내는 것이 중요하다<sup>3-5</sup>. 그래서 청동 원료의 산지를 추정하기 위한 자연과학적인 방법으로써 납동위원소비를 이용한 산지추정법이 응용되고 있다<sup>3-5</sup>.

본고는 금강유역을 중심으로 한 유적에서 출토된 청동기를 분석한 결과이다. 출토지와 시대가 분명한 자료를 분석하였으므로 분석의 가치가 크다고 생각되며 이러한 자료가 축적되면 한반도 청동기 재료의 구성과 산지추정이 가능하게 되므로 원류나 문화의 흐름을 해석하는데 도움이 되며, 특히 전통과학 유물의 복원기술 개발에도 큰 도움을 줄 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상 유물 선정

금강유역을 중심으로 한 청동유물 시편을 시대별, 종류별로 39점을 분석대상으로 선정하였다. 논산 원북리유적에서 10종의 시료(No. 1-4, 26-31), 대전 문화동·탄방동·비례동유적에서 4종의 시료(No. 5-8), 충북 청원 문의면에서 1종의 시료(No. 9), 공주 수촌리유적에서 8종의 시료(No. 10-17), 청주 가경동 유적에서 8종의 시료(No. 18-25), 대전 복수동유적에서 3종의 시료(No. 32-34), 비교대상으로 울진 봉산리유적에서 5종의 시료(No. 35-39)를 입수하여 총 39종의 시료를 분석대상으로 하였다. 그리고 [Table 1]에 유물의 명칭 및 분석결과를 나타내었다.

### 2.2 분석방법

### 2.2.1 유도결합플라즈마분광분석법(ICP)

세형동검 등 4점의 청동기로부터 각각 시료 50mg 정도를 정확히 취하여 Teflon Digestion vessel(가압용기)에 넣고 왕수(염산 ; 질산 = 3: 1) 3ml와 HF(불산) 1ml를 넣어 뚜껑을 닫고 밤새 가열하였다. 상온에서 서서히 식힌 후 뚜껑을 열고 시료가 완전히 용해되었는지를 확인하였다. 다시 가열하여 건조 상태로 만든 다음 1% 질산용액을 넣어 20g을 만들었다. 표준용액은 원자흡광용 표준원액(1000 ppm, BDH spectrosol)을 사용하여 묽혔는데 분석시료의 매트릭스를 맞추기 위하여 왕수를 1ml 씩 첨가하였다. 시료분석은 유도결합플라즈마발광분석기(ICPS-1000III, Shimadzu, Japan)를 사용하여 9종의 성분원소(Cu, Sn, Pb, Zn, Ag, Ni, Sb, Fe, As)를 분석하였다. 각 시료에 대하여 3회 분석하여 나타난 값을 평균하여 정량하였다.

### 2.2.2 열이온화질량분석법(TIMs)

금강유역을 중심으로 한 유적에서 청동기 43점을 입수하여 오염된 표면의 흙과 녹을 제거하고 그 밑층에 있는 녹의 일부를 긁어내어 납동위원소비 측정 시료로 선정하였다.

약 3 mg 정도 시료를 채취하여 테프론 바이알에 넣었다. 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 기초과학지원연구소의 열이온화질량 분석기(Thermal ionization mass spectrometer:TIMS, Model : VG Sector 54-30)를 사용하여 동위원소비를 측정하였다. 분석결과는 표준물질(NBS SRM 981)의 측정치를 사용하여 보정한 것이다. 분석과정의 총 바닥값(total blank)은 1ng 내외이었다.

### 2.2.3 납동위원소비

납은 원자번호가 82이며 질량수가 204, 206, 207, 208인 4가지의 동위원소를 가지고 있다. 질량수가 204인  $^{204}\text{Pb}$ 는 가장 안정한 납동위원소로서 지구 생성 시 존재하였던 것이며,  $^{206}\text{Pb}$ 은  $^{238}\text{U}$ 로 부터,  $^{207}\text{Pb}$ 는  $^{235}\text{U}$ 로 부터,  $^{208}\text{Pb}$ 는  $^{232}\text{Th}$ 의 방사성붕괴에 의해 생성된 것이다. 방사성붕괴에 의해 생성된 납( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ )은 처음부터 존재하던 납( $^{204}\text{Pb}$ )과 혼합하여 어느 시기에 방연광을 형성하는데 이때 방연광은 일정한 납동위원소비( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) 값을 나타내게 된다<sup>4-7</sup>. 즉, 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 산지를 추정할 수 있게 된다<sup>4-7</sup>.

## 2.2.4 다변수 분석법

청동기에서 얻은 납동위원소비 데이터를 사용하여 시료의 분포 형태를 한번에 볼 수 있도록 2차원 공간에 나타내는 통계적인 방법을 다변수분석법(Multivariate analysis)이라 한다. 다변수분석법을 사용하면 시료간의 유사성 및 상호관계로부터 시료가 몇 개의 군(group)으로 분류되는지를 알아낼 수 있으며, 또 시료의 근원(source)이 동일한지 여부를 판단할 수 있다. 또 미지의 시료가 어느 군에 소속되는지를 판별할 수 있다.

다변수분석법중 선형판별식분석법(statistical linear discriminant analysis; SLDA)은 기확보된 군들에 대한 한 세트규칙, 즉 판별함수를 구하는 것이다<sup>8</sup>. 이를 위해 군 내부 분산(dispersion of within group)에 대한 군간 분산(dispersion of between group)의 비가 최대일 때 최적 계수 백터를 계산하는 것이 중요하다. 최적 계수 백터와 데이터를 선형결합하는 판별함수를 구할 수 있으며, 이로부터 각 군에 포함된 시료의 분포도를 평면상에 나타낼 수 있다. 다음에 미지시료에서 qnsyjr된 데이터를 판별함수에 대입하여 얻은 판별점수를 분포도상에 나타내면 미지시료가 어느 군에 속하게 되는지를 알 수 있다<sup>4</sup>.

최근까지 납동위원소비 데이터는 주로  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 을 두 축으로 한 방연광 분포도들에 대상 시료를 표시하여 그 산지를 추정하고 있다[4]. 이 경우  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 의 데이터는 무시되고 있다는 점과 시료의 분포가 직선상에 나타나면 동일지역의 시료로 간주한다는 점 또 산지별,

시대별로 시료를 판별할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하는 방법으로 모든 데이터를 동시에 사용하여 선형판별식분석(SLDA)으로 방연광의 분포도를 마부찌(馬淵久夫) 등이 발표한 한국, 중국, 일본의 방연광의 납동위원소비 데이터<sup>4</sup>를 사용하여 도시하였다. 여기에 미지시료의 납동위원소비 데이터를 넣어 계산된 판별점수를 그림에 표시 할 수 있으며, 이때의 위치가 미지시료의 납의 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 동위원소비 <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.

### 3. 분석결과 및 고찰

#### 3.1 성분조성에 의한 청동기 분류

청동기의 성분조성에 따른 분류를 위하여 데이터의 통계분석을 통한 결과를 그림 상에 나타내어 살펴볼 수 있는 방법이 있는데 그 중에서도 주성분분석법(Principal component analysis)이 가장 많이 채용되고 있다. 본 연구에서는 청동기 36점에 대하여 각각 10개 원소를 분석하였고 이들의 주성분분석 결과 나타난 청동기 시료들의 분포도를 토대로 성분구성, 시대 및 지역별로 어떠한 특징이 있는지를 연구하였다.

고대의 청동기 36점의 청동기를 분석한 성분조성을 [Table 1]에 나타내었다. 3종의 주요성분(Cu, Pb, Sn)과 7종의 미량성분(Ag, Ni, Sb, Co, Fe, Zn, Mn)을 포함하여 각각 10종의 성분을 분석하였다. 이들 데이터를 사용하여 주성분분석(PCA)을 수행한 결과를 [Fig. 1]에 나타내었다.

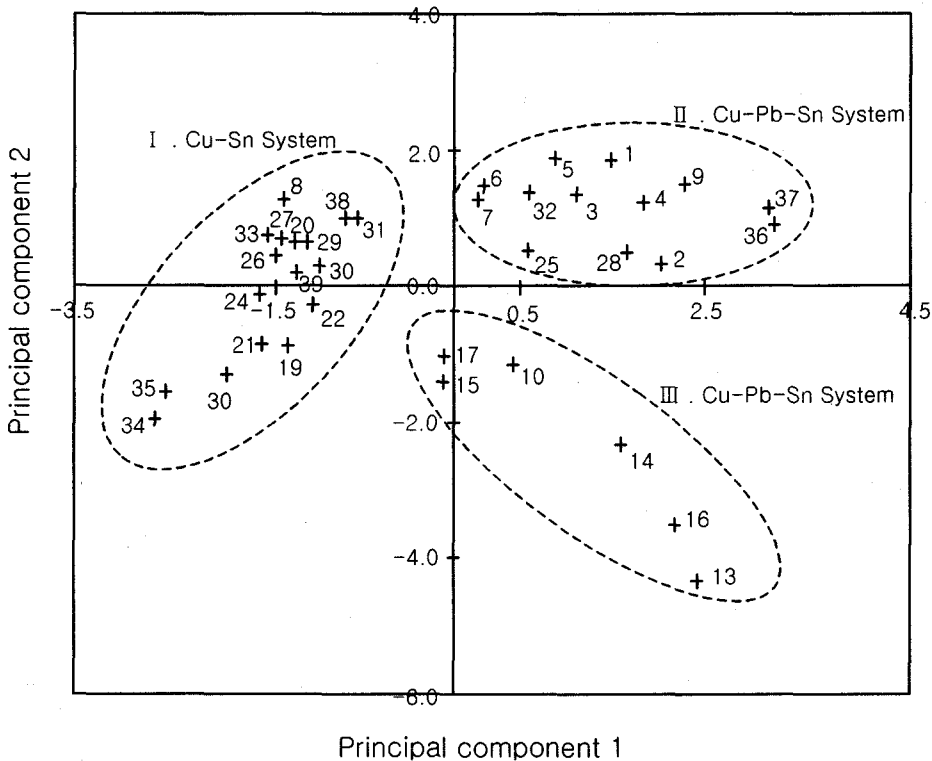
[Fig. 1]에서 보듯이 청동기는 크게 3개 군으로 분류가 되는 것을 알 수 있다. 즉, Cu, Pb, Sn의 성분 함량에 따른 분포도로부터 성분 조성에 따른 추이를 알 수 있다. [Fig. 3.1.5]에서 I군은 Cu-Sn 계통의 청동기이며 17점이 여기에 포함 되었고, II군은 Cu-Pb-Sn 계통의 청동기로서 13점, III군은 Cu-Pb-Sn 계통의 청동기 6점이 포함되어 있다.

[Table 1] The results from compositional analysis of Bronze Age remains

No.	명칭	Cu %	Pb %	Sn %	Ag %	Ni %	Sb %	Co ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	Total
1	세형동검	69.6	9.36	18.6	0.07	0.01	0.48	-	0.03	≤0.02	-	98.5
2	동경	71.4	5.90	22.6	0.05	0.02	0.86	-	0.41	≤0.02	-	101.5
3	동부	73.5	5.64	20.5	0.03	0.09	0.72	-	0.05	≤0.02	-	100.7
4	세형동검	66.9	8.98	21.9	0.02	0.06	0.67	-	0.04	≤0.02	-	98.6
5	세형동검	73.9	9.60	12.0	0.14	0.06	0.06	-	0.003	0.028	-	95.8
6	세형동검	71±4	10.7±0.5	18±1	-	-	-	-	-	-	-	99.7
7	동모	69±4	10.2±0.5	20±1	-	-	-	-	-	-	-	99.2
8	비파형동검	75.9	0.48	19.5	0.09	-	-	-	-	-	-	96.1
9	세형동검	71.4	18.5	4.71	0.06	0.10	0.04	-	0.05	<0.02	-	94.9
10	동사	61.0	6.13	22.8	0.10	0.14	0.43	313	106	-	5.6	-
11	동모	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	동착	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	검과두식	56.1	12.3	16.5	0.08	0.19	0.09	3581	1411	12.5	7.3	-
14	동검	53.2	12.7	20.3	0.14	0.15	0.17	857	8...	16.0	6.1	-
15	동착	62.0	6.90	21.8	0.18	0.08	-	271	1580	11.7	2.0	-
16	검과두식	58.6	8.66	15.1	0.15	0.07	0.17	179	3810	11.4	70.1	-
17	동검	70.7	5.10	20.0	0.16	0.05	0.20	41.1	1273	-	34.8	-
18	합	70.4	0.14	17.6	0.19	0.04	-	20.5	665	48.4	-	-
19	합	70.5	0.09	20.1	0.18	0.10	-	24.6	818	14.0	4.1	-
20	합	73.0	0.12	18.3	0.18	0.03	-	19.9	396	39.0	-	-
21	합	73.2	0.09	19.5	0.18	0.14	-	22.1	632	17.7	2.4	-
22	합	71.7	0.08	18.2	0.17	0.09	-	23.9	638	16.6	-	-
23	합	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	합	73.4	0.11	17.1	0.19	0.11	-	31.4	131	-	-	-
25	합	70.4	8.19	10.8	0.18	0.06	0.18	89.1	188	84.0	11.5	-
26	손가락	71.9	0.11	20.1	0.20	0.03	0.05	25.5	163	15.7	-	-
27	손가락	74.2	0.14	20.4	0.13	0.03	0.06	41.0	278	-	-	-
28	젓가락	63.4	12.78	13.4	0.12	0.06	0.45	51.8	60.2	43.9	-	-
29	손가락	72.1	0.10	20.6	0.12	0.03	0.05	23.3	327	14.6	-	-
30	손가락	72.1	0.36	21.4	0.37	0.10	0.05	84.8	1414	38.3	-	-
31	합(저부)	74.3	0.08	15.0	0.09	0.04	0.19	-	72.1	-	-	-
32	합	75.6	9.69	6.53	0.12	0.03	0.10	24.3	396	46.3	6.0	-
33	손가락	75.9	0.10	21.7	0.12	0.03	0.06	22.6	324	10.3	-	-
34	손가락	77.3	0.27	20.0	0.44	0.21	-	82.5	1324	74.7	-	-
35	손가락	72.9	0.20	20.4	0.49	0.13	0.08	216.4	478	26.5	-	-
36	동경	59.7	21.0	4.55	0.08	0.02	0.17	66.7	661	118	2.2	-
37	합	61.7	24.1	5.89	0.03	0.02	0.23	44.5	169	45.8	-	-
38	손가락	73.3	0.06	19.5	0.03	0.01	-	41.0	569	28.5	-	-
39	젓가락	72.3	0.19	19.8	0.16	0.08	-	53.6	494	61.2	-	-

이들 세 성분의 함량조성을 대략적으로 살펴보면, I 군에서는 Cu:Sn = 70~75:20 이며, II군에서 Cu:Pb:Sn = 70:10:10 이 주류를 이루고 있는 가운데

70:20:5 및 60:25:5 의 비율을 갖는 청동기가 일부 분포하고 있다. [Fig. 1]에서 X축의 오른쪽으로 갈수록 Cu의 함량은 줄어들고 대신 Pb의 성분 함량이 증가되고 있다는 것을 알 수 있다. III군은 Cu:Pb:Sn = 60:10:20의 함량 분포를 나타내고 있다. II군과 III군은 같은 Cu-Pb-Sn 계열이지만 서로 다른 군으로 분리되는 것은 주요성분으로서 Cu 함량 차이에 의한 것이며, 미량성분으로서 Ni, Fe, Co같은 원소가 기여 한다는 것을 알 수 있다.



[Fig. 1] Distribution chart of bronze ware items by (PCA)

### 3.2 청동기의 지역, 시대 및 용도에 따른 분류

[Fig. 1]의 청동기 분포도를 참고하여 시대적 흐름에 따라 성분조성이 어떻게 변화하는 지를 살펴보고자 하였다.

I 군에 포함되는 청동기는 17점 중에서 16점이 고려말~조선시대이며 1점



(시료번호 8)이 B.C 8세기 초로 포함되어 있다. 지역적인 관점에서 살펴보면 청주 가경동, 논산 원북리, 대전 복수동 및 경북 울진 봉산리에서 발굴된 것으로 모두 동일한 성분조성을 나타냄을 알 수 있다. 청동기의 용도별로 살펴보면 16점 모두 식기류(숟가락, 젓가락, 합)임을 알 수 있다. 따라서 고려말~조선시대의 중부 문화권에서는 식기류를 제작하는데 구리와 주석의 배합비를  $Cu:Sn = 70\sim 75:20$  범위 내에서 제작하였다는 것을 알 수 있다. 한편 대전 비래동유적의 비파형동검은 B.C 8세기의 청동기로서  $Cu:Sn = 75:20$ 의 비율로 제작하였는데 이에 대한 내용을 아래에서 다시 논의하기로 한다.

II군의 청동기는 다양한 분포를 나타내어 청동기 성분조성의 시대적 변화를 설명해 줄 수 있는 내용이라고 판단된다. 즉, B.C 4~3세기의 청동기(No. 9), B.C 3~2세기 청동기(No. 1~7) 및 A.D 14~17세기 청동기(No. 25, 28, 32 및 36, 37)들이 성분조성으로 볼 때 같은 군을 이루고 있으나 다소 시대적 차별성을 나타내고 있다. 특히 B.C 8세기 초 대전 비래동의 비파형동검, B.C 3~4세기 청원 문의면 세형동검, B.C 3~2세기 논산 원북리 및 대전 탄방동 등 7점의 청동기(세형동검, 동경, 동부 및 동모 등)의 성분조성 변화를 시대적으로 잘 살펴볼 수 있다.  $Cu:Sn$ 에서  $Cu:Pb:Sn$ 으로의 변화가 이루어지는데 시기가 내려올수록 Cu의 함량은 줄어들고 Pb의 함량이 증가한다는 것을 알 수 있다. 중부 문화권에서 B.C 3~2세기에 청동기 제조를 위해 Pb를 첨가했다는 사실은 중부지역 청동기문화를 이해하는데 중요한 의의가 있다고 할 수 있다. 또한 예외적이라고 볼 수 있는 일부 식기류에서 I 군의 식기류와는 다른 성분조성을 나타내었다. 울진 봉산리의 청동기(동경, 합)는 조선시대의 것으로 본 연구대상의 청동기중에서 Cu의 함량이 60%로 적고, Pb의 함량이 가장 높은 20%, Sn은 가장 적은 5% 범위에서 제작되었다는 것을 알 수 있다. III 군의 공주 수촌리유적 청동기 6점은 B.C 3~2세기로서 본 연구에서 분석한 청동기와는 아주 다른 군을 형성하고 있다. 이들 청동기는 지역적으로 밀접하면서도 또 시대적으로 중복되지만 새로운 성분조성의 청동기로 나타났다. 즉, 새로운 청동기의 제조기술문화의 유입이라고 생각될 수 있다. Cu의 주요성분 함량은 낮으면서 미량성분으로서 Co 및 Fe의 함량이 다른 청동기보다 월등히 높다. 이러한 사실은 다른 문화권의 청동기와는 전혀 다른 원료를 사용했거나, 또는 정련기술의 차이에 의한 것으로 판단된다.

### 3.3 청동기 원료의 산지추정

### 3.3.1 납동위원소비법

납은 원자번호가 82이며 질량수가 204, 206, 207, 208인 4가지의 동위원소를 가지고 있다. 질량수가 204인  $^{204}\text{Pb}$ 는 가장 안정한 납동위원소로서 지구 생성 시 존재하였던 것이며,  $^{206}\text{Pb}$ 은  $^{238}\text{U}$ 로 부터,  $^{207}\text{Pb}$ 는  $^{235}\text{U}$ 로 부터,  $^{208}\text{Pb}$ 는  $^{232}\text{Th}$ 의 방사성붕괴에 의해 생성된 것이다. 방사성붕괴에 의해 생성된 납( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ )은 처음부터 존재하던 납( $^{204}\text{Pb}$ )과 혼합하여 어느 시기에 방연광을 형성하는데 이때 방연광은 일정한 납동위원소비( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) 값을 나타내게 된다<sup>4-7</sup>. 즉, 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 산지를 추정할 수 있게 된다<sup>4-5</sup>.

### 3.3.2 납동위원소비 분포도

청동기의 성분 중에 납의 함량이 2% 이상이 되면 의도적으로 납을 첨가한 것으로 보고 있다<sup>9</sup>. 이 경우 청동기의 납동위원소비는 청동기 제작을 위해 사용한 방연광의 산지를 의미하는 것이다. 그러나 만일 납이 1% 이하의 미량인 경우 그 납은 광석(구리 또는 주석)에서 불순물로 함유된 것이므로 이때의 납동위원소비는 광석의 산지와 관련있다는 것을 의미한다. 지구과학적으로 구리, 주석, 납은 닮은 성질이 있어 비슷한 장소에서 산출되며 동광석을 산출하는 장소가 있으면 당연히 가까운 곳에 납광산이 존재할 가능성이 큰 것으로 보고 되어 있다<sup>4</sup>.

청동기 39점에 대한 각각 납동위원소비 분석결과를 [Table 2]에 나타내었다. 논산 원북리 출토 청동기 4점 모두는 납의 함량이 5% 이상이므로 청동기 제작을 위해 의도적으로 납을 첨가한 것으로 볼 수 있다. 서천 화산리 동검 역시 납의 함량이 8.3 %로 매우 높아 이 동검의 제작을 위해 가져다 쓴 방연광의 산지를 추정할 수 있다. 대전광역시 문화동 및 탄방동 출토 청동기 3점은 납의 함량이 9% 이상이므로 청동기 제작을 위해 의도적으로 납을 첨가한 것으로 볼 수 있다. 그리고 비래동의 비파형동검은 납이 0.48%로 불순물로 함유된 것이며, 이의 납동위원소비는 구리 또는 주석의 산지를 의미한다고 볼 수

있다. 공주 수촌리유적 출토 청동기 6점 모두는 납의 함량이 5% 이상이므로 청동기 제작을 위해 의도적으로 납을 첨가한 것으로 볼 수 있다.

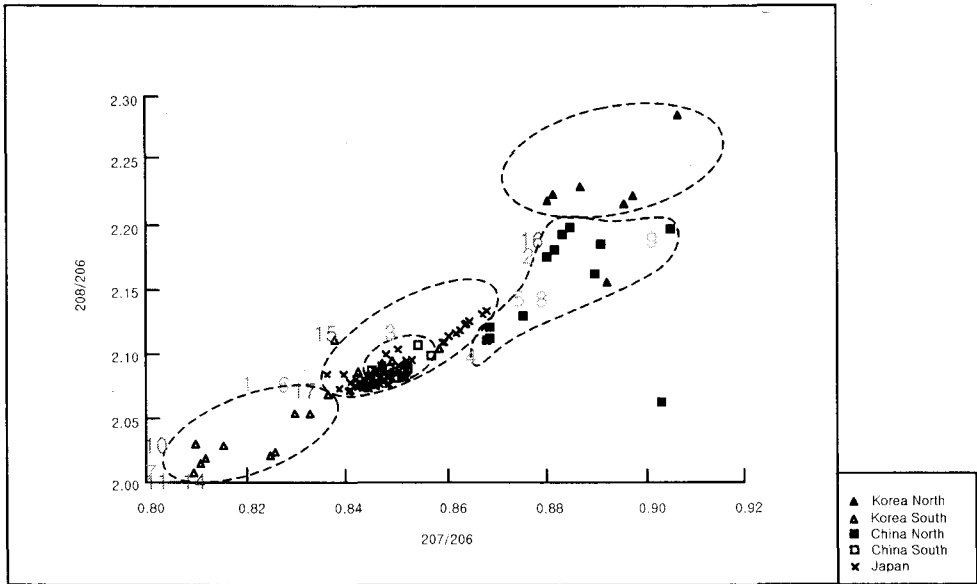
### 3.3.2.1 도식 A와 B

청동기의 산지추정을 위해  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 와  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 을 축으로 한 납동위원소비 분포 도식 [A] 및  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 과  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 를 축으로 한 납동위원소비 분포 도식 [B]를 사용하였다. 여기에서 보는 바와 같이 한국, 중국, 일본 등의 여러 지역에서 방연광을 입수하여 납동위원소비를 분석한 다음 그 분포도<sup>4-5</sup>를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 방연광의 영역이 잘 나타나 있어 청동기의 산지 분류에 유용하게 사용되고 있다. [Table 2]의 납동위원소비 데이터를 [Fig. 2]와 [Fig. 3]에 각각 나타내었다. [Fig. 2]와 [Fig. 3]에서 보는 바와 같이 논산 원북리 출토 세형동검(1)은 한국남부에 속하였고 동경(2)은 중국북부에, 동부(3)는 한국남부 또는 중국 남부에 소속되었다<sup>10</sup>. 세형동검(4)은 일본의 방연광 구역에 포함되었다. 대전 문화동 세형동검(5)과 비래동 비파형동검(8)은 중국 북부지역의 방연광에 포함되어 있는데 위치로 보아 이들 동검은 동일한 지역의 원료를 사용한 것으로 추정된다. 또한 탄방동의 세형동검(6)은 한국 남부지역의 경상북도 제2연화 광산 동위원소비와 유사하게 나타났다. 그리고 탄방동의 동모(7)는 방연광 분포도의 영역에서 벗어나 있어 현재로서는 산지를 추정할 수 없다<sup>11</sup>. 청원 문의면 수습 세형동검(9)의 납 산지는 모두 중국 북부의 방연광 지역으로 나타났다<sup>12</sup>.

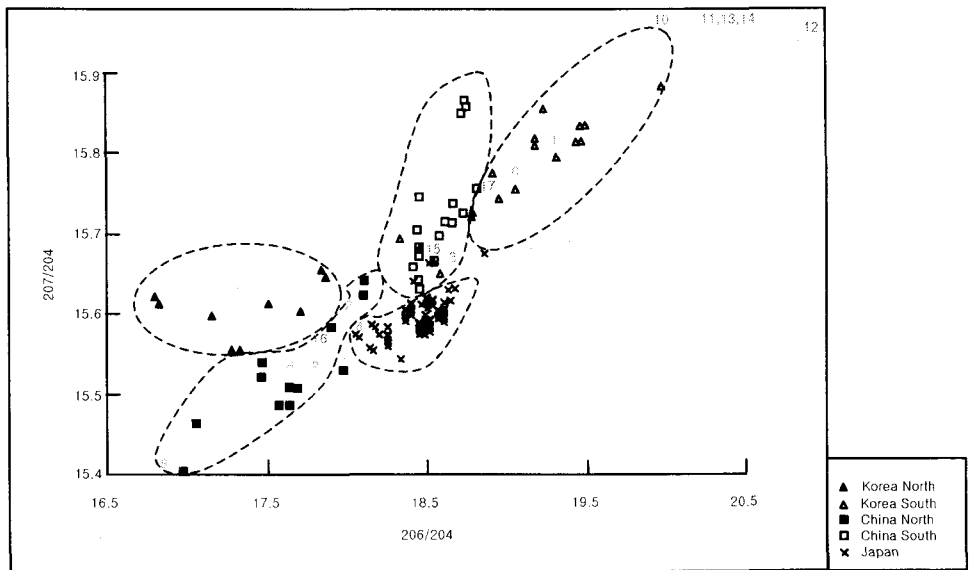
[Fig. 2]와 [Fig. 3]에서 공주 수촌리유적의 동사(10), 검과두식(13), 동검(14), 동착(15)는 한국남부에 속하였고, 검과두식(16)은 중국 북부 또는 한국남부에 소속되었다. 반면에 동모(11), 동착(12)은 한국 남부 또는 방연광 분포도의 영역에서 벗어나 있어 현재로서는 산지를 추정할 수 없으나 차후 새로운 데이터의 수집과 연구를 통하여 규명되리라고 본다.

[Table 2] Discriminatefunction and Lead Isotope Ratio of bronze ware items

No.	명칭	납동위원소비					판별함수		추정산지
		206/204	207/204	208/204	207/206	208/206	DS <sub>1</sub>	DS <sub>2</sub>	
1	세형동검	19.178	15.781	39.926	0.8229	2.0819	-1.008	0.400	한국남부
2	동경	17.959	15.635	38.710	0.8706	2.1555	0.963	-0.151	중국북부
3	동부	18.535	15.664	39.028	0.8451	2.1056	-0.261	0.036	한국남, 중국남
4	세형동검	18.024	15.582	38.327	0.8645	2.1264	0.394	-0.205	일본
5	세형동검	17.748	15.544	38.033	0.8758	2.1430	0.836	-0.333	중국북부
6	세형동검	18.910	15.735	39.728	0.8321	2.1009	-0.578	0.200	한국남부
7	동모	24.259	16.540	44.350	0.6818	1.8282	-7.640	4.082	?
8	비파형동검	17.697	15.544	38.036	0.8785	2.1493	0.977	-0.347	중국북부
9	세형동검	16.846	15.353	37.123	0.9114	2.2035	2.224	-0.982	중국북부
10	동사	20.0568	15.9790	40.7216	0.7967	2.0304	-2.153	1.200	한국남부
11	동모	20.4958	15.9801	40.9830	0.7797	1.9650	-3.498	1.197	한국남부(?)
12	동착	21.3591	16.1053	42.3846	0.7540	1.9844	-3.815	1.678	한국남부(?)
13	검파두식	20.4961	15.9631	40.9998	0.7789	2.0003	-3.036	1.240	한국남부
14	동검	20.1581	15.9275	40.6747	0.7901	2.0178	-2.540	1.073	한국남부
15	동착	18.4739	15.6412	38.9541	0.8467	2.1086	-0.208	-0.043	한국남부
16	검파두식	17.6814	15.5905	38.4632	0.8818	2.1754	1.435	-0.315	한국남부(?)
17	동검	18.8085	15.7227	39.2512	0.8359	2.0869	-0.668	0.272	한국남부
18	합	18.496	15.648	38.507	0.8460	2.0820	-0.551	0.130	한국남부
19	합	18.547	15.793	38.712	0.8515	2.0874	-0.198	0.608	중국남부
20	합	18.498	15.664	38.752	0.8468	2.0948	-0.354	0.111	한국남부
21	합	18.495	15.649	38.508	0.8461	2.0821	-0.546	0.133	한국남부
22	합	18.493	15.789	38.493	0.8457	2.0817	-0.285	0.587	중국남부
23	합	18.543	15.795	38.504	0.8458	2.0818	-0.300	0.653	중국남부
24	합	18.496	15.662	38.750	0.8463	2.0943	-0.369	0.098	한국남부
25	합	18.540	15.793	38.501	0.8453	2.0915	-0.168	0.672	한국남부
26	순가락	18.389	15.698	38.878	0.8537	2.1139	0.091	0.158	한국남부
27	순가락	18.410	15.732	39.007	0.8545	2.1187	0.207	0.248	한국남부
28	첫가락	18.391	15.700	38.800	0.8539	2.1140	0.103	0.206	한국남부
29	순가락	18.390	15.699	38.877	0.8536	2.1138	0.089	0.162	한국남부
30	순가락	18.412	15.734	39.010	0.8547	2.1189	0.213	0.257	한국남부
31	합(저부)	18.411	15.735	39.009	0.8546	2.1188	0.214	0.258	한국남부
32	합	18.338	15.696	38.309	0.8560	2.0892	-0.166	0.315	중국남부(?)
33	순가락	18.400	15.698	38.312	0.8553	2.0897	-0.196	0.381	중국남부(?)
34	순가락	18.491	15.699	38.731	0.8490	2.0945	-0.268	0.242	중국남부(?)
35	순가락	18.338	15.691	38.813	0.8556	2.1166	0.166	0.137	한국남부
36	동경	-	-	-	-	-	-	-	-
37	합	18.338	15.691	38.813	0.8556	2.1166	0.165	0.137	한국남부
38	순가락	18.094	15.562	38.209	0.8616	2.1154	0.147	-0.194	일본
39	첫가락	18.674	15.779	38.783	0.8450	2.0772	-0.504	0.580	중국남부(?)



[Fig. 2] Lead Isotope Ratio distribution chart for ancient bronze ware items (type-A)

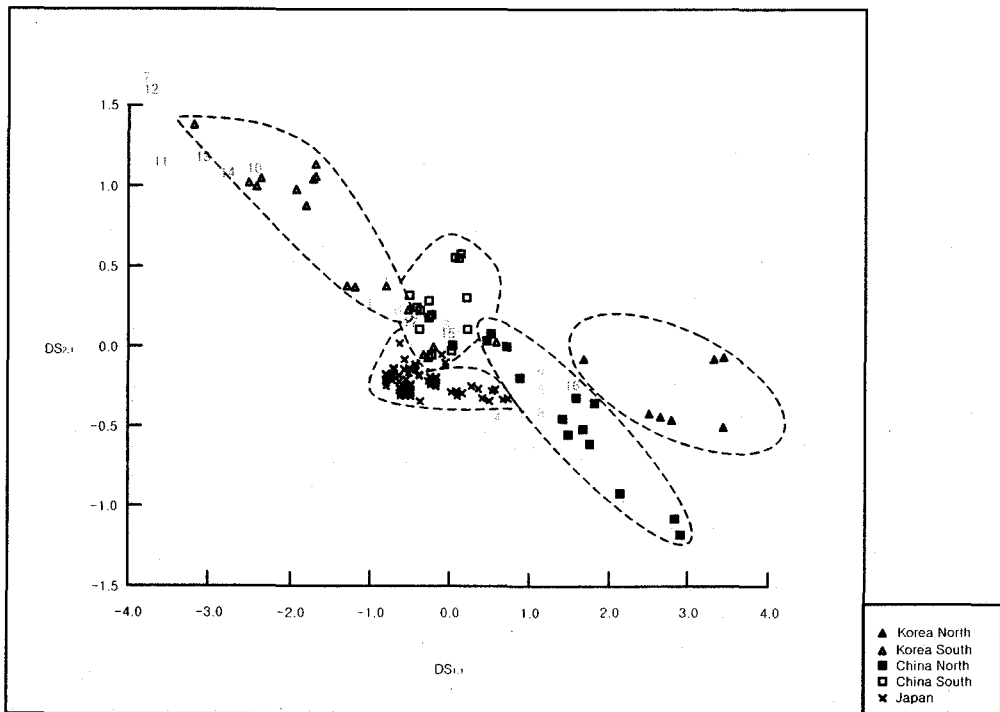


[Fig. 3] Lead Isotope Ratio distribution chart for ancient bronze ware items (type-B)

### 3.3.2.2 선형판별식분석

최근 데이터의 해석방법으로써 다변수분석법(Multivariate analysis)을 많이 채용하고 있다. 다변수분석법중 선형판별식분석법(SLDA)으로 방연광의 분류를 위한 판별함수를 구하였다. 한국, 일본, 중국 방연광 시료 134종의 전체 납동위원소비 데이터를 사용하여 선형판별분석을 수행한 결과이다<sup>4-5</sup>.

논산 원북리 유적에서 입수한 청동기 4점의 납동위원소비를 사용하여 위의 식으로부터 각 시료의 판별점수를 구해서 [Table 2]에 함께 나타내었다. [Table 2]의 판별점수(DS<sub>1</sub>, DS<sub>2</sub>)를 사용하여 [Fig. 4]에 선형판별식에 의한 각각 유적의 분포도를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 논산 원북리 출토 세형동검(2)은 한국남부에 속하였고 동경(3)은 중국북부에, 동부(4)는 한국남부 또는 중국 남부에 소속되었다. 세형동검(5)은 일본의 방연광에 구역에 포함되었다<sup>10</sup>.



[Fig. 4] Distribution chart of bronze ware items found in the Linear Discriminant Analysis

대전광역시 유적의 청동기 4점의 납동위원소비를 사용하여 위의 식으로부터 각 시료의 판별점수를 구해서 [Table 2]에 함께 나타내었다. [Table 2]의 판별점수(DS<sub>1</sub>, DS<sub>2</sub>)를 사용하여 [Fig. 4]에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 대전 문화동 세형동검(9)과 비래동 비파형동검(12)은 중국 북부지역의 방연광에 포함되어 있고 동일 위치로 나타나므로 동일한 지역의 원료를 사용한 것으로 추정된다. 탄방동의 세형동검(10)은 한국 남부지역으로 포함되어 있는 것을 볼 수 있다. 탄방동의 동모(11)는 방연광 분포도의 영역에서 크게 벗어나 있는데 현재로서는 산지를 추정할 수 없다<sup>11</sup>.

충청북도 청원군 문의면 금강유역 세형동검의 납동위원소비를 사용하여 앞 식으로부터 각 시료의 판별점수를 구해서 [Table 2]에 함께 나타내었다. [Table 2]의 판별점수(DS<sub>1</sub>, DS<sub>2</sub>)를 사용하여 [Fig. 4]에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 세형동검은 중국북부로 나타났다. 따라서 이 세형동검을 주조하기 위해 중국북부의 납을 사용한 것으로 추정되었다<sup>12</sup>.

공주 수촌리유적에서 입수한 청동기 8점의 납동위원소비를 사용하여 위의 식으로부터 각 시료의 판별점수를 구해서 [Table 2]에 함께 나타내었다. [Table 2]의 판별점수(DS<sub>1</sub>, DS<sub>2</sub>)를 사용하여 [Fig. 4]에 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 수촌리유적 동사(10), 검과두식(13), 동검(14), 동착(15)은 한국남부에 속하였고, 검과두식(16)은 중국 북부 또는 한국남부에 소속되었다. 반면에 동모(11), 동착(12)은 현재로서는 산지를 추정할 수 없으나 차후 새로운 데이터의 수집과 연구를 통하여 규명되리라고 본다.

위의 청동기 4점에 대한 납동위원소비를 사용하여 나타낸 [Fig. 2], [Fig. 3] 또는 [Fig. 4]의 결과를 서로 비교해 보면 이들 산지추정 결과는 모두 일치하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

고대의 청동기시대 청동기 17점과 고려·조선시대 청동기 22점의 성분 함량과 납의 원료산지, 철기유물의 성분분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

고대 청동기의 성분함량에 따른 주성분분석 결과 청동기는 크게 3개의 군으로 분류되었다. I군은 Cu-Sn(70~75:20) 계통으로 17점, II군은 Cu-Pb-Sn(70:10:10) 계통으로 13점, III군은 Cu-Pb-Sn(60:10:20) 계통으로 6점이 포함되었다. 특히 II군과 III군은 같은 Cu-Pb-Sn 계열이지만 서로 다른 군

으로 분리되는 까닭은 주요성분의 Cu 함량 차이에 의한 것이며, 미량성분으로 써는 Ni, Fe, Co같은 원소가 기여한다는 것을 알 수 있다.

고대 청동기의 지역과 시대별 특징은 성분원소의 Cu:Sn에서 Cu:Pb:Sn 으로 의 변화가 이루어지는데 시기가 내려올수록 Cu의 함량은 줄어들고, Pb의 함량이 증가한다는 것을 알 수 있다. 중부 문화권에서 B.C 3~2세기에 청동기 제조를 위해 Pb를 첨가했다는 사실은 중부지역 청동기문화를 이해하는데 중요한 의의가 있다고 할 수 있다.

공주 수촌리유적 청동기는 B.C 3~2세기로 본 연구에서 분석한 청동기와는 아주 다른 군을 형성하고 있다. 이들 청동기는 지역적으로 밀접하면서 또 시대적으로 중복되지만 새로운 성분조성의 청동기로서 나타났다. 즉, 새로운 청동기의 제조기술문화의 유입이라고 생각될 수 있다. Cu의 주요성분 함량은 낮 으면서 미량성분 Co 및 Fe의 함량이 다른 청동기보다 월등히 높다. 이러한 사실은 다른 문화권의 청동기와는 전혀 다른 원료를 사용하였거나, 또는 정련 기술의 차이에 의한 것으로 판단된다.

청동기의 용도별 특징은 16점 모두 식기류(숟가락, 젓가락, 합)임을 알 수 있다. 따라서 고려말에서 조선시대의 중부 문화권에서는 식기류를 제작하는데 구리와 주석의 배합비를 Cu:Sn(70~75:20) 범위 내에서 제작하였다는 것을 알 수 있다.

고대 청동기의 납동위원소비를 분석하고 산지를 추정한 결과 다음과 같다. 논산 원북리유적의 청동기는 한국 남부, 중국 북부, 중국 남부 등에서 원료를 가져다 사용했을 것으로 추정되었다. 대전지역의 문화동 청동기와 비래동 비파형동검은 중국 북부로 나타났으며 분포 위치로 보아 이들 동검의 원료는 동일한 지역의 산지로 추정된다. 탄방동 세형동검(2)은 한국 경상북도 제2연화광산의 동위원소비와 일치한다는 것을 알 수 있었다. 청원군 문의면 세형동검은 중국 북부 지역의 납을 가져다 쓴 것으로 추정되었다.

공주 수촌리유적의 청동기 4점은 한국 남부에 속하였고, 2점은 중국 북부 또는 한국 남부에 소속되었다. 반면에 동모(11)와 동착(12)은 현재로서는 산지를 추정할 수 없으나 차후 새로운 데이터의 수집과 연구를 통하여 규명되리라고 본다.

청동기에 대한 이와 같은 과학적 조사가 축적되면 중부권 청동문화를 이해하는데 도움이 될 수 있으며 더 나아가 우리나라 청동기 문화를 체계적으로 연구할 수 있는 과학적 근거가 마련될 것으로 판단된다.



## 참고문헌

1. 金元龍, 1992, 『韓國考古學概說』, 一志社.
2. 岡内三眞, 1989, 「朝鮮と青銅器文化」, 『季刊考古學』, 雄山閣, pp. 79~84.
3. 崔炆 外, 1998, 「大田廣域市 比來洞 出土 琵琶形銅劍의 組成 및 납同位元素比」, 『전통과학기술학회지』, 제 4·5권 합본, 제1호, p. 16.
4. 馬淵久夫, 平尾良光, 1987, 「東アジア鉛鑛石の鉛同位體比」, 『考古學雜誌』 73卷,2號, pp. 188~245.
5. 馬淵久夫, 平尾良光, 1983, 「鉛同位體比法による漢式鏡の研究(二)」, MUSEUM, pp. 16~26.
6. Brill, R. H and J. M. Wampler, 1967, 『American Journal of Archaeology』, p.71.
7. Brill, R. H et al, 1974, 『Recent Advance in Science and Technology of Materials』, p. 3.
8. Coomans and Massart, 1979.
9. Gina L. Barnes 『The Rise of Civilization in East Asia; The Archaeology of China, Korea and Japan』 Thames and Hudson, London, 1999.
10. 강형태, 정광용, 조상기, 이문형, 2003, 「논산 원북리 토광묘유적 출토 청동기의 과학분석」, 韓國上古史學報, 第39號
11. 李康承, 姜焯台, 鄭光龍, 「대전 문화동·탄방동·비래동유적 출토 청동기의 성분조성과 납동위원비」 考古學誌, 第12輯.
12. 정광용, 강형태, 우종윤, 「금강유역 세형동검의 과학분석(1)」 湖西考古學, 第6·7合輯