

조선통보의 주조원료와 산지 연구(I)

강형태 | 김규호* | 허우영** | 平尾良光***

국립중앙박물관 보존과학실
* 국립공주대학교 문화재보존과학과
** 삼성미술관 리움보존연구소
*** 日本 別府大學校 文化財學科

Raw Material and Provenance of Choson-Tongbo (I)

Hyung Tae Kang | Gyu Ho Kim* | Woo Young Huh** | Yoshimitsu Hirao***

National Museum of Korea, Seoul 140-026, Korea

*Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

**Conservation Institute, Leeum, Samsung Museum of Art, Seoul 140-893, Korea

****Department of Cultural Properties, Beppu University, Beppu 874-8501, Japan

초록 조선시대 최초의 동전은 조선통보이며 1423년에 주조되었다. 조선통보 2점을 입수하여 원자흡수분광분석법 및 중성자방사화분석법으로 모두 9종의 성분함량을 결정하였고 열이온화질량분석법으로 납동위원소비를 결정하여 원료의 산지를 추정하였다. 조선통보의 성분조성은 Cu 90 %, Pb 3~4 %, Sn 2~3 %로서 중국과 일본의 동전과는 다른 조성을 나타내었다. 납동위원소비 분석결과 중국남부 방연석 분포범위에 속하였으며 통계적 분석법으로서 선형판별식분석법이 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT Two pieces of Choson-Tongbo(朝鮮通寶) minted at 1423 A.D. were analyzed by atomic absorption spectroscopy and neutron activation analysis. The measurement of lead isotope ratios was also carried out in order to predict the provenance of raw materials used for minting. The Choson-Tongbo was minted as bronze having the chemical compositions of Cu 90 %, Pb 3~4 % and Sn 2~3 %, which were different from the typical composition of Chinese and Japanese coins. The results of lead isotope ratios showed that the provenance of raw materials used for minting had a possibility to be originated from South China. And application of statistical linear discriminant analysis (SLDA) to the provenance of lead used for minting of Choson-Tongbo was confirmed.

I. 서론

조선시대에 처음 주조된 동전은 조선통보(朝鮮通寶)이다.¹⁾ 조선통보는 세종 5년(1423년)에 유통정책의 일환으로 주조되었는데 주전 원료의 부족, 동전 가치의 하락 및 사회정책의 실패로 곧 한계점에 도달하였고 세종 27년(1445년)에 이르러 조선통보의 유통은 사실상 중단되었다.^{1,2)} 「世宗實錄」내용 중에서 주전 원료에 관한 기록을 살펴보면, 동(銅)이 부족하여 사찰의 불상이나

불구를 거두어 주전 원료로 사용하였고³⁾, 또 동 이외의 금속을 함께 사용하여 주전 원료의 부족을 해결하고자 하는 한편 국내의 동 생산을 적극 장려하였으나 그 생산량은 적었다고 한다.³⁾ 그래서 일본으로부터 동을 수입하지 않을 수 없었다고 한다.^{1,3)}

이렇듯 조선통보의 주전 원료로서 동의 공급에 대한 것은 기록에 일부 나타나 있으나 원료로서 동 이외의 금속은 무엇이며, 어떻게 배합하였는지에 대한 내용은 찾아보기 힘들다. 따라서 조선통보의 원료 배합비 및 원료

의 산지 등을 밝히는 연구는 조선시대 동전을 체계적으로 이해하는 출발점으로서 중요하며, 조선 후기에 대량으로 나타나는 상평통보(常平通寶)와의 관계를 이해하는데 필수적이라 할 수 있다. 또한 동 시기에 주조된 중국 및 일본 동전을 비교하기 위한 기초 데이터를 마련할 수 있다.

본 연구는 조선통보의 화학 조성과 납동위원소비를 분석하여 조선통보의 특성 및 주조에 사용한 원료의 산지를 추정하는 결과이다. 특히 본 연구에서는 납의 산지를 추정하기 위한 납동위원소비의 일반적인 도시 방법⁴⁻⁷⁾뿐만 아니라 납동위원소비의 전체 데이터를 사용하는 선형 판별식분석법(statistical linear discriminant analysis)⁸⁻¹¹⁾에 의해서도 납의 산지 추정이 가능함을 확인하고자 하였다.

II. 납동위원소비

원자번호가 82인 납은 질량수가 204, 206, 207, 208인 4가지의 동위원소를 갖는다. 질량수가 204인 ²⁰⁴Pb는 가장 안정한 납 동위원소로 지구 생성 시부터 존재하였던 것이며, ²⁰⁶Pb는 ²³⁸U로부터, ²⁰⁷Pb는 ²³⁵U로부터, ²⁰⁸Pb는 ²³²Th의 방사성붕괴에 의해 생성된다. 방사성붕괴에 의해 생성된 납(²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb)은 처음부터 존재하던 납(²⁰⁴Pb)과 혼합하여 어느 시기에 방연석(方鉛石)을 형성하게 되는데 이때 방연석은 고유한 납동위원소비(²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb, ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb, ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb)를 나타낸다. 그런데 고대에 청동기를 제조하기 위해서 어느 지역의 방연석을 사용하였다면 그 방연석의 납동위원소비는 청동기에 그대로 유지된다. 따라서 여러 지역의 방연석의 납동위원소비를 분석한 다음, 청동기의 납동위원소비를 분석하여 비교하면 청동기의 제조에 사용된 납의 산지를 추정할 수 있게 된다.^{12,13)}

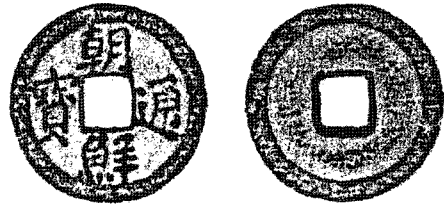
납동위원소비에 의한 유물의 산지추정은 1967년 미국의 Brill이 처음 시도 한 이후, 청동과 구리유물 및 유리 등의 출처를 밝힐 수 있는 논문을 발표한 바 있다.¹³⁾ 이를 시작으로 영국 등 구미 여러 나라에서 납동위원소비의 연구가 진행되어 왔으며 최근까지 방대한 양의 데이터를 축적해 놓고 있다.¹⁴⁾ 일본에서는 1970년대 중반 이후 Mabuchi와 Hirao 등이 청동거울, 청동무기, 청동

종 등의 산지 및 시대를 밝히는 연구를 최근까지 진행해 오고 있다.⁵⁻⁷⁾ 국내에서도 고대 불상, 범종 및 세형동검 등에 대한 납동위원소비 분석으로 청동제품의 주조에 사용된 납의 산지를 추정하는 바 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾

III. 시료 및 실험

1. 조선통보

본 연구 시료는 조선통보(1423년~1445년) 2점으로 당1전(當一錢)에 해당하며 외형적 특징은 Photo. 1과 같다. 즉, 전면의 글씨체는 자형(字形)이 가장 방정한 해서체(楷書體)이고 배면은 무배자(無背字)로 좁은 걸테두리(細緣)를 갖추고 있다.¹²⁾



(a) Fore (b) Back
Photo. 1 Choson-Tongbo minted at 1423 A.D.

2. 화학조성 분석

조선통보의 성분 분석은 전보¹⁷⁾에서 밝힌 바와 같은데 간략히 설명하면 다음과 같다. 동전의 서로 다른 세 부위에서 낱알 상태로 끊어낸 시료 약 15 mg을 왕수(1 vol HNO₃ : 3 vol HCl) 1 ml에 녹였다. 이를 실온으로 냉각시킨 후 왕수에 녹이고 증류수로 희석하여 원자흡광용 측정 시료로 사용하였다. 동전의 주성분인 Cu, Pb, 및 Zn을 원자흡수분광분석장치(Perkin-Elmer 3030)를 사용하여 정량하였다. 이때 아세틸렌-공기 불꽃으로 Cu는 249.2 nm, Pb는 283.3 nm, Zn은 213.9 nm에서 슬릿너비를 0.7 nm로 하여 흡광도를 측정하였다.

동전의 미량성분인 As, Sn, Ag, Fe, Co, Sb는 중성자 방사화분석법¹⁸⁾으로 정량하였다. 상기와 같은 시료 채취 방법으로 별도의 시료 약 15 mg을 TRIGA MARK III 원자로의 회전시료 조사대에서 Co 및 Au 비교체를 부착

한 후 15 시간 중성자로 조사하였다. 이를 4일간 냉각시킨 후 감마선을 1,000 초간 계측하였다. 이때 4,096 채널 파고분석기(ORTEC Model 7050)와 전자계산조직에 연결되어 있는 Ge(Li) 반도체 검출기를 사용하였다. 이로부터 As의 함량을 비교체법으로 정량하였고, 시료를 30일간 냉각시킨 후 같은 방법으로 Sn, Ag, Fe, Co, Sb의 함량을 결정하였다.

3. 납동위원소비 분석

시료 약 2~3 mg을 10 ml 석영 비이커에 넣고 아세트산 용액에서 1~2 분간 초음파로 세척한 다음 건조시켰다. 이 시료에 질산 100~200 μ 를 첨가하여 용해시키고 증류수로 희석하였다. 이산화 납을 양극으로 하여 DC 2 V로 전기분해하여 납을 양극에 석출시키고, 석출된 양극의 납을 질산 50~60 μ 와 과산화수소 50~60 μ 를 가하여 용해시킨 후 희석하여 원자흡광분광광도계로 농도를 결정하였다. 70~80 ng의 납을 분취하여 인산-실리카겔법으로 Re-필라멘트에 납을 고착시켰다. 이를 질량분석기(Finnigan MAT Model 262)에 장착하고 납동위원소비를 측정하였다. 이때 측정온도는 1200 $^{\circ}$ C였으며 압력은 5×10^{-6} mbar 이하였다. 분석결과는 표준물질(NBS, SRM-981)의 측정치를 사용하여 보정하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 화학조성

Table 1은 원자흡수분광분석법 및 중성자방사화분석법으로 조선통보 2점의 화학 조성을 정리한 자료이다. 분석 결과, 조선통보 2점은 모두 Cu 89~91%, Pb 3~4%, Sn 2~3%를 주성분으로 하는 청동으로 확인된다. 이와 같은 조성은 중국 및 일본 고전의 청동 조성과는 다른 특징을 보이고 있다.

즉, 조선통보와 동 시기에 주조된 중국 동전으로는 영락통보(永樂通寶, 1411 A.D.)를 들 수 있는데 그 조성이 Cu : Pb : Sn = 70 : 20 : 10 이었다.^{19,20)} 그리고 전반적인 중국 동전의 성분 비율을 살펴보면, Cu는 70~75%의 일정한 범위를 나타내면서 초기에는 Sn 함

량이 Pb 보다 많으나, 후기에는 반대의 경향을 나타낸다.²¹⁾ 또한 조선통보와 동 시기의 것으로 일본에서 주조된 홍무통보(洪武通寶, 1450~1500 A.D.)는 그 조성비율이 88 : 9 : 3이었다.²⁰⁾ 이에 비해 조선통보는 93 : 4 : 3의 비율로 분석되므로 중국 및 일본의 청동화에 비해 Cu의 함량이 높은 특징을 보인다.

Table 1. Chemical Compositions of Choson-Tongbo

Sample Minting No.	age	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Fe (%)	As (%)	Ag (ppm)	Co (ppm)	Sb (ppm)
①	1423	91.3	2.96	1.77	0.79	0.21	0.06	3.4×10^3	37	3.1×10^2
②	1423	87.0	4.44	3.74	0.22	0.72	0.19	1.9×10^3	86	9.4×10^2

2. 납동위원소비를 이용한 원료의 산지 추정

열이온화질량분석법에 의한 납동위원소비($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, 및 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)의 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Lead Isotope Ratios of Choson-Tongbo and Discriminant Scores

Sample	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	DS _{1j}	DS _{2j}
①	18.362	15.696	38.684	0.8548	2.1067	0.026	0.204
②	18.406	15.698	38.861	0.8529	2.1108	0.032	0.173

본 연구에서는 한국, 중국 및 일본의 방연석을 분석한 Mabuchi의 납동위원소 분석 데이터⁴⁾를 사용하였는데, 이들 방연석에 대한 시료의 수 및 위치를 지역별로 Table 3에 나타내었다. Brill^{12,13)} 및 Mabuchi 등⁴⁻⁷⁾이 산지 추정에 응용한 납동위원소비에 의한 방연석의 분류는 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} : ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (type-A) 및 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} : ^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (type-B)의 도시법이 일반적으로 사용되고 있다.

Table 3. Galena Sites of Korea, China and Japan

Symbol	Number of samples	Sites	Provinces
△	20	South Korea	Kangwon(江原), Kyungbuk(慶北), Chungnam(忠南), Chungbuk(忠北)
▲	10	North Korea	Kyunggi(京畿), Hwanghae(黃海), Pyungnam(平南), Hambuk(咸北)
□	19	South China	Hunan(湖南省) and 7 provinces
■	13	North China	Liaoning(遼寧省) and 8 provinces
×	72	Japan	Hokkaido(北海道) and 23 provinces

이 방법으로 한국, 중국 및 일본의 방연석의 납동위원소비를 도시한 것이 Fig. 1과 Fig. 2이다. Fig. 2에서는

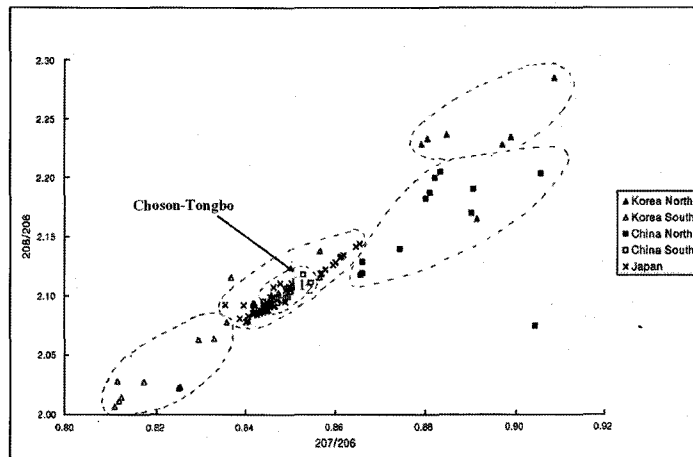


Fig. 1. Plot of lead isotope ratios for galena of Korea, China and Japan(type-A) and locations of Choson-Tongbo.

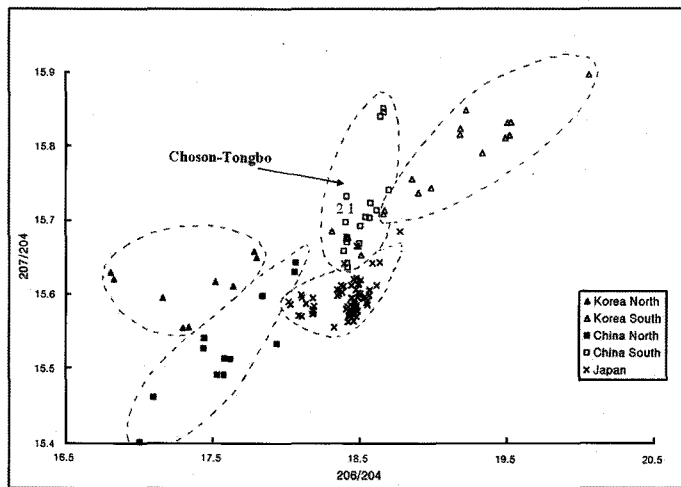


Fig. 2. Plot of lead isotope ratios for galena of Korea, China and Japan(type-B) and locations of Choson-Tongbo.

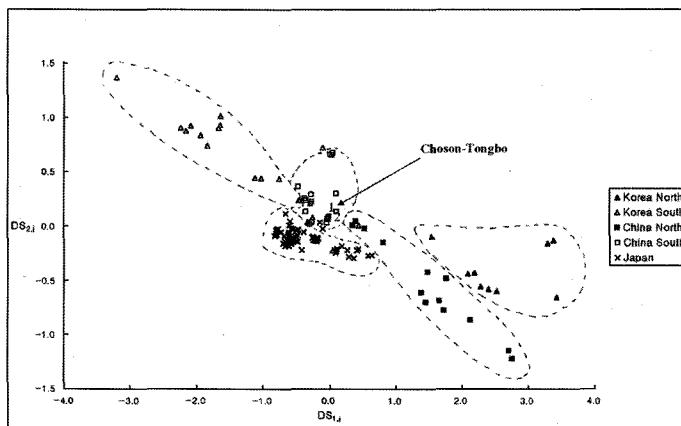


Fig. 3. Plot of lead isotope ratios for galena of Korea, China and Japan by SLDA and locations of Choson-Tongbo

중국남부(□) 시료와 일본(×)시료가 일부 겹쳐 있어 이들 두 지역 간의 분류에는 다소 어려움이 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 1 및 2를 비교해 보면 방연석 시료의 분포는 크게 한국남부(△), 한국북부(▲), 중국남부(□), 중국북부(■) 및 일본(×) 지역의 5 개 시료 군으로 분류됨을 알 수 있어 납 원료의 산지 추정 가능성이 있음을 알 수 있다. Table 2에 나타난 2점의 조선통보에 대한 납동위원소비를 방연석 시료와 함께 도식해 보면 Fig. 1 및 2에 나타난 바와 같이 조선통보의 주조에 사용된 납은 중국남부(□)로 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 Fig. 1은 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 및 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 의 데이터가 무시되어 도식되었고 Fig. 2의 경우에도 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 및 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 가 무시되어 도식되었다. 따라서 모든 데이터를 사용하는 새로운 분류방법이 필요하며 본 연구에서는 납동위원소비의 전체 데이터를 사용하는 선형판별식분석법을 이용하였다. 선형판별식분석법은 방연석의 납동위원소비의 모든 데이터를 이용하여 각 시료 군을 분류하기 위한 판별함수를 구하는 것이다.^{8,16)} 이는 군 내부 분산(within group dispersion)에 대한 군 간 분산(between group dispersion)의 비를 최대로 하여 최적 계수 벡터⁸⁾를 계산하는 방법으로 간략하게 설명하면 다음과 같다.

시료의 전체 분산 S는 군 내부 분산 W와 군 간 분산 B의 합으로 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$S = W + B \quad (1)$$

군 내부 분산에 대한 군 간 분산의 비 L를 최대로 할 때의 고유벡터 V의 계수 값⁸⁾을 식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$L = \frac{V' BV}{V' WV} \quad (2)$$

이와 같이 구한 고유벡터의 계수값을 납동위원소비와 선형결합시켜 판별함수(discriminant score), DS_{1j} 및

DS_{2j} 를 구하면 식 (3) 및 (4)와 같다.

여기서 j는 각 시료를 나타내며 각 시료의 납동위원소비를 위 판별함수에 대입하고 구한 판별점수(discriminant score), DS_{1j} 와 DS_{2j} 를 도식하면 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에 나타난 방연석 시료는 한국남부(△), 한국북부(▲), 중국남부(□), 중국북부(■) 및 일본(×)으로 크게 5 지역의 군으로 분류되었는데, Fig. 1에서 보다 중국남부와 일본 시료간에 겹치는 부분이 다소 분리되었고 Fig. 2에서 보다 시료의 분산이 더 커서 시료의 분류가 보다 용이함을 알 수 있다.

또한 2 점의 조선통보에 대한 납동위원소비를 식 (3) 및 (4)의 판별함수에 대입하고 구한 판별점수 DS_{1j} 와 DS_{2j} 를 Table 2에 나타내었고, 방연석 시료와 함께 도식해 보면, Fig. 3에 나타난 바와 같이 조선통보의 주조에 사용된 납은 중국남부(□)의 것임을 알 수 있다. 따라서 선형판별식분석법에 의한 방연석의 분류는 전통적인 방법인 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 와 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (type-A) 혹은 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 과 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (type-B)의 결과와 일치한다는 것을 알 수 있다. 또 납동위원소비의 모든 데이터를 사용하는 선형판별식분석법이 조선통보의 주조에 사용된 납의 산지를 추정하는데 보다 유용함을 확인할 수 있었다.

V. 결론

1423년에 주조한 조선통보 2점에 대하여 원자흡수분광분석법 및 중성자방사화분석법으로 성분 조성을 분석하였고 납동위원소비를 측정하여 원료 납의 산지를 추정하였다.

1. 조선통보는 Cu 87~91%, Pb 3~4%, Sn 2~3%를 함유하고 있는 청동으로 중국 및 일본 고전의 조성과는 다른 수치를 나타내었다.

2. 한국, 중국 및 일본 방연석의 납동위원소비 데이터

$$DS_{1j} = -0.571 \frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} + 1.916 \frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} - 0.091 \frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} + 8.292 \frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} + 14.24 \frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} - 53.13 \quad (3)$$

$$DS_{2j} = 1.025 \frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} + 3.231 \frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} - 0.487 \frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} + 7.280 \frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} + 3.140 \frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}} - 63.33 \quad (4)$$

를 사용하여 조선통보 원료 납의 산지는 중국 남부산으로 추정되었다.

3. 납동위원소비의 상대비만을 이용하여 도식하는 방법보다는 전체 데이터를 사용하는 선형판별식분석법이 산지추정의 구분에서 유용함을 확인하였다.

참고문헌

1. 한국화폐전사, 53~68, 한국조폐공사, 서울, (1971).
2. 韓國의 貨幣, 22~55, 한국은행, 서울, (1994).
3. 崔虎鎮, 韓國貨幣小史, 61~76, 瑞文文庫, 瑞文堂, 서울, (1979).
4. 馬淵久夫, 平尾良光, 考古學雜誌, 73(2), 199~245 (1987).
5. 平尾良光, "古代日本の青銅器の原産地を訪ねて", 計測と制御, 28~8(1989).
6. 平尾良光, 考古學でのアイントーブの利用, RADIOISOTOPES, 42~257(1993).
7. H. Mabuchi, Y. Hirao and M. Nishida, *Archaeometry*, 27, 131 (1985).
8. D. Coomans and D. L. Massart, *Anal. Chmi. Acta*, 112, 97 (1973).
9. J. Arunachalam and Gangadharan, *J. Indian Acad. Forensic Sci.*, 20,54(1981).
10. B. M. Rohl, *Archaeometry*, 30, 165 (1996).
11. Z. A. S. Gale, N. H. Gale and N. Annettes, *Archaeometry*, 30, 3819 (1996).
12. R. H. Brill and J. M. Wampler, *Am. J. Archaeol.*, 71, 63 (1967).
13. R. H. Brill, I. L. Barnes and B. Adams, *Recent Advance in Science and Technology of Materials*, 3, 9 (1974).
14. 崔柱, 金秀哲, 馬淵久夫, 平尾良光, 대한금속학회지, 24, 66 (1986).
15. 崔柱, 都正萬, 金善太, 嚴泰允, 崔茂藏, 先史와 古代, 1, 1 (1991).
16. 강형태, 문선영, 홍태기, 김승원, 김규호, 허우영, 한국상고사학보, 26, 33(1997).
17. 李澈, 權五千, 姜炯台, 李仁鍾, 金洛培, 대한화학회지, 31, 555 (1987).
18. C. Lee, H. T. Kang, S. Kim, *Bull. Kor. Chem. Soc.*, 9, 223 (1988).
19. K. Notsu and H. Mabuchi, "Simultaneous Multielement Analysis of Coins by ICP", *Int'l Sym. on the Cons. and Res. of Cul. Prop.*, Tokyo Natl Res. Ins. of Cul. Pro., 111~124 (1979).
20. 佐野有司, 野津憲治, 富永 健, 多變量解釋法を用いる古錢の化學組成の研究, 古文化財の科學, 28, 44~58 (1983).
21. 馬淵久夫 外, 古代貨幣の化學組成, 日本化學會誌, 5, 586~590(1979).