

황진주

한국
청동거울에 대한
미세조직 및
성분조성의
비교 연구

12»

한국 청동거울에 대한 미세조직 및 성분조성의 비교 연구

황진주¹

국립문화재연구소 보존과학연구실*



Comparative Study on Components and Microstructure of Korean Bronze Mirror

Hwang, Jin Ju¹

National Research Institute of Cultural Heritage, National Research Institute of Cultural Heritage

¹ Corresponding Author : kwkhjj@korea.kr

| 초록 |

본 고에서는 우리나라에서 발굴된 청동거울에 대해 합금비율과 금속조직 및 경도를 살펴보고, 각 유물별 주성분 분포를 그려본 후, 주례고공기『周禮』「考工記」중 감수지제(鑑燧之齊)의 조성비와 비교하고자 하였다. 연구 결과 청동거울은 비록 넓은 범위이지만 크게 두-세 그룹으로 나뉘는 것을 볼 수 있었다. 구리 70-80%에 15-20%의 주석을 함유하고 납은 5% 미만 들어있는 청동거울과, 주석의 함량이 20%-30%로 매우 많아 경도가 높고 금속의 흰색 광택이 좋은 청동거울, 구리 60-70%에 15-20%의 주석을 함유하고 있지만 납이 10-15% 이상 들어있는, 경도가 낮고 광택이 좋지 않은 청동거울로 나뉘어 진다. 중국 주시대의 고문헌『周禮』「考工記」중 감수지제(鑑燧之齊)의 주석 33%(50%) 보다는 적은 양의 주석을 함유하고 있었다. 아직까지 우리나라에서는 비파괴분석으로 분석된 유물을 제외한다면 감수지제(鑑燧之齊)의 주석이 함유된 청동거울은 발견되지 않았다.

주제어: 청동거울, 합금비율, 주성분, 주례고공기, 감수지제

| ABSTRACT |

This study intended to identify the ratio of alloy, metallographic examination and hardness on the bronze mirrors excavated in Korea and made the distribution chart of the main components according to each artifact and then tried to compare the ratio of artifacts with that of 鑑燧之齊 of Zhouli Kao-gongji(周禮, 考工記). Through this research, the components distribution of bronze covered a wide range but it can be divided into 2~3 groups. When it is categorized into 3 groups, one is the bronze

*접수: 2011. 9. 30 *수정: 2011. 11. 1 *게재확정: 2011. 11. 2

mirror with 70-80% of copper, 15-20% of tin and less than 5% of lead. Another is the bronze mirror with 20%-30% of tin which gives the white luster on metal and the high hardness. The other is the bronze mirror with 60-70% of copper and 15-20% of tin but it has more than 10-15% of lead which causes less luster and the low hardness. It contains less tin than 33%(50%) of tin from 鑑燧之齊 according to the old record Zhouli Kaogongji(周禮, 考工記) of Zhou Dynasty. In Korea the bronze mirror with tin of 鑑燧之齊 was never found yet except the case of artifacts analyzed by non-destructive analysis

Key Words : bronze mirrors, ratio of alloy, main components, Zhouli Kaogongji

1. 서론

청동거울은 청동검과 더불어 가장 먼저 제작된 청동기 중 하나로서, 기원 전 문명을 대표하는 유물이다. 세계적으로 볼 때 청동기시대는 대략 기원전 4000년경으로 거슬러 올라가며, 우리나라에서는 대략 기원전 1000년 - 2000년경으로 보고 있다. 청동거울은 기원전부터 제작되기 시작하여, 고려 및 조선조까지 널리 사용되었다.

우리나라에서는 많은 청동제 유물이 출토되고 보존처리 되고 있으나, 청동거울에 대한 재질분석과 제작기법, 원료산지추정 등에 대한 조사연구가 많지 않았던 것이 사실이다.

청동주물에 대한 중국 주시대의 고문헌인 주례고공기『周禮』「考工記」에 청동의 육제(六齊)에 대한 합금비율이 보고되어 있다.(염영하, 1994, 『한국의 중』, 서울대학교출판부, 1994, pp. 34~48.) (노태천, 2000, 『한국 고대 야금기술사 연구』 p. 112 (龜井淸, 1981, 『古代の靑銅について』『終末期古墳の諸問題』, 87쪽 재인용)

이미 예부터 우리 조상들은 청동유물의 용도와 형태에 따라 서로 다른 합금비율을 사용하여 왔으나, 고대유물이라는 특성 때문에 분석연구가 제한적이었으며, 일부 연구자에 의해 소수 유물에 대한 분석만이 있었을 뿐으로 청동유물을

깊이 있게 이해하는데 한계가 있다. 본 고에서는 청동거울의 조성비, 제작기법 및 경도를 조사하고, 중국의 고문헌인 주례고공기『周禮』「考工記」의 육제(六齊)중 청동거울의 합금비율과 비교 하고자 한다.

2. 주례『周禮』고공기「考工記」의 청동

청동주물에 대한 중국 주시대의 고문헌인 주례『周禮』고공기「考工記」에 청동의 육제(六齊)에 대한 합금비율이 보고되어 있다.(Table 1. 2. 참조) 세부적인 내용을 보면, 종정지제(鐘鼎之齊)는 범종 등의 합금비율을 말하며, 때렸을 때 청명한 소리가 나며, 충격에 강한 경도와 강도가 필요하다. 그 합금비율은 동과 주석을 6:1로 하고 있는데 주석이 약 14.3%에 해당한다. 부근지제(斧斤之齊)는 도끼 등의 합금비율을 말하고, 물체를 찍어 자르므로 충격에 강한 경도와 강도가 필요하다. 범종보다는 Sn 함량이 다소 높으나 반복적인 충격에 견딜 수 있어야 한다. 과극지제(戈戟之齊)는 창을 말하는 것으로 찌르는 것이 목적이므로 높은 경도가 필요하다. 대인지제(大刃之齊)는 칼로서 자르는 것이 목적으로 높은 경도가 필요하였다. 삭살지제(削殺矢之齊)는 주로 화살을 말하고 갑옷과 같은 단단한 물체를

뚫기 위해 아주 높은 경도를 필요로 하였다. 감수지제(鑑燧之齊)는 거울로써 사물을 잘 비춰주고 표면이 고르고 색상과 광택이 밝아야 한다. 따라서 거울의 흰 빛이 나도록 아주 많은 양의 주석을 첨가하여 만든다.

이후 시간이 지나며 그 비율은 약간씩 변하기도 하지만 주요한 청동의 비율은 크게 변하지 않은 채 이어져왔다. 다른 경우로는 P(인)과 Sb(안티몬), As(비소)를 첨가하기도 하며, 주조성을 높이고 주조온도를 낮추기 위해, 또는 재료의 절약을 위해 Pb(납)을 첨가하기도 하였다.

고공기의 육제의 합금비에 대해서는 학자마다 의견이 분분한데 금(金)을 순동으로 해석하거나, 청동으로 해석하기도 한다. 또한 석(錫)에 대해서도 주석만을 말하기도하고, 주석과 납을 합쳐 석(錫)으로 해석하기도 한다. 어떻게 해석하느냐에 따라 그 조성비가 달라지는데, 이것에 대해서는 앞으로도 많은 연구가 있어야 한다. Table 1. 에서는 고공기에 표기된 그대로의 합금비율을 나타 내었으며, Table 2. 에서는 금(金)을 순동과 청동으로 해석 했을때의 비율을 나타 내었다.

Table 1. 중국 『周禮』「考工記」‘六齊’ 청동의 합금비율^{a)}

구분	합금비율		용도	비고 (환산비)
	Cu	Sn		
종정지제(鍾鼎之齊)	6	1	때렸을 때 청명한 소리가 나며, 충격에 높은 경도와 강도 필요 14% 이하의 Sn을 함유하는 것도 포함 한다.	Sn 14.3%
부근지제(斧斤之齊)	5	1	물체를 찍어 자르므로 충격에 높은 경도와 강도가 필요	Sn 16.7%
과극지제(戈戟之齊)	4	1	찌르거나 자르는 것이 목적이므로 높은 경도가 필요	Sn 20.0%
대인지제(大刃之齊)	3	1		Sn 25.0%
삭살지제(削殺矢之齊)	5	2	베고 자르며 살상용 화살로 사용	Sn 28.6%
감수지제(鑑燧之齊)	1	1	거울로써 사물을 잘 비춰주고 표면이 고르고 색상과 광택이 밝음 거울에는 50%의 Sn은 너무 많아 고경(古鏡)중의 Sn은 30% 이상, 부식돌은 50% Sn이 쓰인다.	Sn 50% (Sn 33.3%)

a)염영하, 「한국의종」 1991, p.37

Table 2. 『周禮』「考工記」의 六齊에 대한 銅과 錫의 비율^{a)}

六齊	금을 銅-錫 합금으로 해석한 경우		금을 銅으로 해석한 경우	
	銅함량(%)	錫함량(%)	銅함량(%)	錫함량(%)
鍾鼎之齊	83.3	16.7	85.7	14.3
斧斤之齊	80.0	20.0	83.3	16.7
戈戟之齊	75.0	25.0	80.0	20.0
大刃之齊	66.7	33.3	75.0	25.0
削殺矢之齊	60.0	40.0	71.4	28.6
鑑燧之齊	50.0	50.0	66.7	33.3

a)노태진, 한국 고대 야금기술사 연구, 2000, p.112(龜井滿, 「古代の 青銅について」 『終末期古墳の諸問題』, 1981, 87쪽 재인용)

.... 위에 인용한 ‘六分其金, 而錫居一, 謂之鑑燧之齊’라는 구절에 대해서는 학자들 사이에 서로 다른 해석들이 있었으나, 張子高는 “六齊別解” 라는 글에서 ‘金’에 대한 의미를 자세하게 고증하고 ‘金’은 ‘靑銅’을 지칭하지 않고 ‘赤銅(純銅)’을 가리킨다고 하였다. 그리고 張子高는 ‘金錫半, 謂之鑑燧之齊’에는 잘못되어 더 들어갈 글자가 있다고 하면서, 이 구절을 ‘金—錫半, 謂之鑑燧之齊’라 해석 하였다. 그러나 ‘錫’이 뜻하는 바에 대하여는 여전히 여러 학자들의 견해가 분분한데, 적지 않은 학자들이 ‘六齊’의 ‘錫’을 朱錫과 납의 총량으로 보고있다. ‘六齊’에 대한 합금비율은.... (노태천, 2000, 『한국 고대 야금기술사 연구』 pp. 112 원문 인용. 張子高, 1958, 『六齊別解』 『清華大學學報』, 4(2), 159쪽 재인용)

3. 분석 시료 및 방법

유도결합플라즈마분석(ICP-AES)을 통해 청동거울에 포함된 주성분과 불순물을 분석하고, 금속조직 조사를 통해 당시의 제작기법을 추정하며, 청동거울의 주성분인 구리, 주석, 납의 함량에 중점을 두고 조사하여 각 유물의 용도별 주성분 분포를 조사, 분포도를 그려준다.

3.1. 분석 시료 채취

분석시료는 분석시 그 유물의 조성비를 대표할 수 있는 부위에서 채취하여야하고 여러 군데

에서 채취하여 평균하여 정량한다. 또한 유물에 최대한 손상이 가지 않는 범위 내에서 채취하여야한다. 그러나 분석대상 유물이 문화재라는 특성상 몇 군데에서 시료를 채취하기는 어렵다. 따라서 시료는 가급적 파손된 부위에서 채취하였고, 완형이 아닌 편 위주로 시료를 채취하였다. 시료의 채취는 핸드드릴(Marathon N1)에 다이아몬드 휠(15mm, 0.2mm)을 장착하여 파손부위에서 약 3mm×3mm의 크기로 조직관찰용 시료를 채취한 다음, 다이아몬드 팁을 사용하여 분석용 분말시료를 약 50mg 정도 채취하였다. 분말시료는 유기물과 불순물을 제거하기 위하여 작은 비커에 넣고, 아세톤용액에 넣어 초음파세척기로 2시간 이상 세척한 후, 건조기 내에서 105℃로 24시간 이상 건조하여 폴리에틸렌 바이알에 보관하였다. 시료알갱이는 금속조직 관찰 및 유물의 경도를 측정하기 위하여 따로 보관하였다.

3.2. 분석 방법

1) 시료 전처리

분말시료 약 20~30mg정도를 25ml 삼각플라스크에 넣고 왕수(HCl+HNO₃) 2ml를 첨가하여 가열 판에서 용해시켰다. 실온에서 서서히 냉각시킨 다음 시료가 완전히 용해되었는지를 확인한 후, 50ml 메스플라스크에 옮겨 50g으로 만들었다.

Table 3. Preparation of standard solution for the analysis

구분	원소	농도(ppm)	비고
표준용액	Cu	30~80	
	Sn, Pb	10~30	
	Zn, Ag, Fe, Sb, Ag, Ni	1~3	

각 원소의 표준을 맞춰줄 표준용액은 원자흡광용 및 ICP용 표준원액(1,000ppm)을 묽혀서 사용하며, 분석시료의 매트릭스와 맞춰주기 위해 왕수(HCl+HNO₃) 혹은 염산(HCl) 1ml씩을 첨가하여 주었다.

2) ICP 분석

시료의 분석은 유도결합플라즈마원자발광분석기(Inductively coupled plasma Atomic emission spectrometer : ICP-AES, Seiko, Japan)를 사용하여 시료에 포함된 10개(Cu, Sn, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, As, Sb, Fe)성분원소를 분석하며, 시료는 전처리 후 수 시간 내에 분석하고, 각 시료를 5회 분석하여 최대, 최소값을 제외한 3개 값을 평균하여 정량 하였으며, 표준 샘플(UE13-1 및 UE52-2 : Center Technique des Industries de la Fonderie, 프랑스)을 동시에 측정하여 그 값으로 보정하여 주었다. ICP의 측정조건은 아래와 같다.

- 측정조건 : 유도결합형 플라즈마발광분광분석기 SPS1500R, SEIKO 사
- 회절격자 3600본
- 초점거리 ss1m
- Slit 입사 20 μ m, 출사 30 μ m
- 고주파출력 1.31kw
- 반사파출력 5w이하
- 아르곤가스 유량
- 냉각가스 16~18 ℓ /min
- 보조가스 0.4~0.5 ℓ /min
- 캐리어가스 1.0~1.2 ℓ /min
- 측광높이 12.8~15.1 mm
- 적분시간 1초
- 반복회수 3회

3.3. 금속조직 및 경도

현미경 검사는 금속재료의 조직을 통하여 재료 성질과 결합상태 및 그 원인을 조사하는데 필요 불가결하다. 본 청동시료의 조직검사에는 일반적으로 널리 이용되는 반사식 금속현미경(Metallurgical Microscope)을 이용하여(50, 100, 200, 400배 촬영) 조사하였다. 시료의 내부조직은 직접 현미경으로 관찰하였고 시료의 경면을 얻기 위해 에폭시 수지로 mounting한 후 연마지 100번부터 4000번까지 순차적으로 연마 후, 연마 천에 알루미나 가루(0.025 μ m)를 증류수에 섞어 뿌려주면서 시료의 면이 거울처럼 될 때까지 연마하여 마무리하였다. 그 다음 Ethyl alcohol(순도 99.99%)로 세척하여 건조시킨 후 Ferric Chloride(FeCl₃ 5g, HCl 2ml, ethyl alcohol 96ml)로 약 1~10초간 etching 시켜 조직을 관찰하였다.

또한 금속조직 및 입도에 따른 경도변화를 확인하기 위하여 미세경도를 측정하였다. 미세경도는 Micro Vickers hardness tester(Akashi, Model MVK-HVL)를 이용하였다. 기본적으로 16군데(격자 모양으로 약 200 μ m간격)를 측정하여 평균을 계산하였으며, 부식이 심한 시료는 임의의 부분을 골라 측정하였다. 측정하중은 시료의 경도를 고려하여 100gf로 5초간 실시하였으며, 배율은 1300배로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 성분 분석

청동거울은 빛을 잘 반사시키기 위해 금속의 흰색을 띠고 표면이 고르고 색상과 광택이 밝아

야 한다. 따라서 거울의 흰 빛이 나도록 아주 많은양의 주석을 첨가하여 만든다.

현재까지 국립문화재연구소에서 분석된 청동거울과 기존에 발표된 우리나라 청동거울의 주 성분 분포를 도표로 나타내 보면 다음과 같이 분류됨을 볼 수 있다.(Table 4, 5 참조) 본 고에서

는 기존에 분석된 청동거울 27점, 국립문화재연구소에서 분석된 청동거울 중 부식되어 자료가 불완전한 유물과 출토지가 명확하지 않은 유물을 제외한 10점 등 총 37점의 유물을 대상으로 분류하였다.

Table 4. Chemical composition of the analyzed Korean bronze mirrors (ICP-AES analysis)

번호	유물명	시대	출토	조성비(wt%)										미소 정도			비고
				Cu	Sn	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	As	Sb	Fe	MIN	MAX	평균	
1	청동경	시대불명	왕경지구	67.4	23.5	5.6	0.048	0.14	0.092	0.019	-	1.39	0.14	289	371	327	
2	청동경	시대불명	왕경지구	83.2	13.5	0.97	0.050	0.26	0.13	0.010	-	0.13	0.067	115	181	151	
3	청동경	시대불명	분황사	75.4	11.5	3.0	0.054	0.25	0.12	0.022	-	0.29	0.20	147	215	170	부식
4	청동경	시대불명	황룡사지	65.0	24.4	5.1	0.064	0.18	0.120	0.034	-	0.730	0.18	205	349	312	부식
5	청동경	삼국시대	전남 담양 제월리	80.3	16.2	2.1	0.031	0.17	0.055	tr	-	0.34	0.06	109	220	149	
6	청동경	삼국시대	전남 담양 제월리		16.8	4.1	0.036	0.16	0.06	tr	-	0.38	0.032	138	232	169	
7	청동경	삼국시대	광주 쌍암동 고분	74.7	20.7	2.6	0.005	0.096	0.06	tr	-	0.23	0.37	179	247	221	
8	청동경	통일신라 말기	장도청해진	72.0	21.8	6.5	0.007	0.17	0.1	0.038	0.48	0.47	0.11	255	340	310	
9	청동경	고려	단양 현곡리	74.0	17.0	6.6	0.028	0.21	0.084	0.052	0.21	0.075	0.032	131	250	188	
10	청동경	초기철기	조영대 I 호분	65.3	20.9	6.9	0.008	0.12	0.13	0.12	0.28	0.38	0.085	170	260	205	부식

tr : trace

Table 5. Chemical composition of the previously analyzed Korean bronze mirrors

번호	유물명	조성비(%)											
		Cu	Sn	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	As	Sb	Fe	Bi	Nb
1	신천군 통산리 진출무늬거울 ^{a)}	79.7	16.0	4.0	-	-	0.04	-	-	0.15	0.043	0.08	
2	평양 토성리 23호 연호문경 ^{b)}	66.3	30.0	3.0	0.05	-	0.062	-	-	0.42	0.08	0.053	
3	평양 정오리 41호 미상경 ^{b)}	72.6	20.0	3.0	-	-	0.09	0.7	0.8	2.0	0.8	0.045	
4	평양 정백리 159호 반룡경 ^{b)}	59.7	25.0	14.0	-	-	0.5	0.11	2.5	2.2	0.2	0.15	
5	평양 정오리 37호 사신구경 ^{b)}	73.2	20.0	3.0	-	-	0.1	-	1.7	1~3	-	0.045	
6	평양 정백리 130호 화문대신수경 ^{b)}	75.5	15.0	6.5	-	-	0.06	-	0.8	1~3	-	0.13	
7	평양 토성리 23호 룡호경 ^{b)}	82.9	15.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	0.043	
8	평양 정백리 202호 연호문경 ^{b)}	76.2	15.1	6.2	-	-	0.5	-	-	1~3	-	0.09	
9	평양 정오리 28호 룡호경 ^{b)}	81.7	12.0	4.0	-	-	0.09	0.04	>1.0	0.6	0.5	0.06	
10	평양 정오리 32호 연호문경 ^{b)}	73.3	18.0	6.2	-	-	0.09	0.05	>1.5	0.65	0.15	0.06	
11	평양 정백리 121호 연호문경 ^{b)}	61.7	16.0	15.0	-	-	0.2	0.6	>4.0	>2.0	0.2	0.25	
12	평양 토성리 46호 룡호경 ^{b)}	62.1	20.0	10.0	5.10	-	0.045	0.04	1.0	0.7	0.9	0.2	
13	평양 정오리 22호 연호문경 ^{b)}	75.2	15.6	5.0	-	-	0.06	0.03	1.3	0.7	2.0	0.09	
14	평양 정백리 168호 가룡경 ^{b)}	67.6	13.5	14.0	-	-	0.06	0.08	3.0	0.85	0.12	0.72	
15	평양 정백리 156호 룡호경 ^{b)}	67.7	18.7	9.0	-	-	0.08	0.08	2.0	0.85	0.12	0.052	
16	평양 남사리 29호 연호문경 ^{b)}	69.1	22.0	3.0	-	-	0.06	-	0.8	1.5	0.8	0.15	
17	평양 남사리 28호 구룡경 ^{b)}	66.4	16.0	13.0	-	-	0.15	-	3.0	0.75	0.3	0.15	
18	평양 정백리 164호 기룡경 ^{b)}	57.9	28.0	8.0	0.04	-	0.08	-	2.5	2.4	0.8	0.15	

번호	유물명	조성비(%)													
		Cu	Sn	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	As	Sb	Fe	Bi	Nb		
19	평양 정오리 25호 련호문경 ^{b)}	71.5	20.0	5.0	-		0.08	-	0.95	2.0	0.08	0.25			
20	영천 금호면 어은동 한일광경 ^{c)}	73.97	22.89	1.54	0.26					1.06			0.36		
21	영천 금호면 변형팔유선문경 ^{c)}	67.82	22.35	6.09	0.01				0.64	3.19	0.84		0.84		
22	평양 석암리 이형내행팔파문경 ^{c)}	70.50	26.97	1.653	0.196					0.335	tr		0.223		
23	평양 석암리 이형방경자경 ^{c)}	72.64	24.16	2.06	0.19					0.42	0.16		0.20		
24	동경편(F-97) 백제, 미륵사지 ^{d)}	68.8	22.9	6.31	0.013	0.307	0.147	0.080		0.633	0.553				
25	동경편(6273) 백제, 미륵사지 ^{d)}	75.3	21.6	0.54	0.019	0.579	0.150	0.047		0.504	0.411				
26	동경, 미륵사지 ^{e)}	67.4	25.8	4.88	0.004		0.047		0.018	0.14	0.25				
27	청동경 ^{f)}	53.9	14.0	22.7	0.076	0.12	0.054	0.007		tr	0.28				

- a) 강승남, '기원전 1000년기 후반기 우리나라 청동아금기술의 특징에 대하여' 「조선고고연구」, 1990년 제4호
- b) 강승남, '기원 2~3세기 평양 부근의 벉돌무덤에서 나온 청동 거울에 대한 고찰' 「조선고고연구」, 1991년 제1호
- c) 大正11年度 '古蹟調査報告' 第2冊
- d) 강형태 외 '韓國上古史學報' 第25號 (1997)
- e) 정광용, '미륵사지 출토 청동유물의 금속학적 연구' 한양대학 석사논문 (1992)
- f) 황진주 외 충북 오창유적 발굴조사보고서, p306-336

4.2. 금속 조직 및 경도

청동거울 1(왕경지구)

$\alpha + \delta$ 공석상 위에 α 상이 성장하였다. 둥근 모양의 미세한 Pb입자가 시료 전체에 걸쳐 고르게 분포하고 있다. 미소경도 측정결과, 평균 경도값이 HV 329로 매우 단단한 유물이다. (67.4Cu-23.54Sn-5.59Pb)

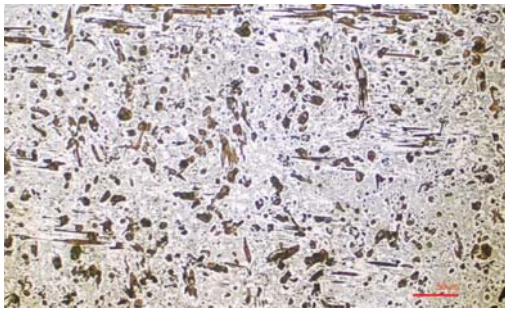


Fig. 1. Microstructure of bronze mirror #1

청동거울 2(왕경지구)

이 시료는 불균질 α 고용체를 이루고 있으며, 전형적인 주조조직인 수지상(dendrite)조직이 잘 발달하였음을 볼 수 있다. 또한 시료의 표면 부근에는 부식이 심하여 표면으로부터 내부로 부식이 진행하였으며, 입계부식이 상당히 심함을 볼 수 있다. 미소경도 측정결과, 평균 HV 151을 보이고 있다. (83.19Cu-13.48Sn-0.97Pb)



Fig. 2. Microstructure of bronze mirror #2

청동거울 3(분황사)

이 시료는 불균질 α 고용체로 수지상(dendrite)이 잘 발달하고 있음을 볼 수 있다. 표면부근에는 부식현상이 심하며, 내부로 부식이 확산하여 들어갔음을 알 수 있다. 또한 시료내부에는 부분적으로 부식물이 존재함을 볼 수 있다.

미세경도 측정결과, 평균 HV 170을 보이고 있다. (75.4Cu-11.5Sn-3.0Pb)

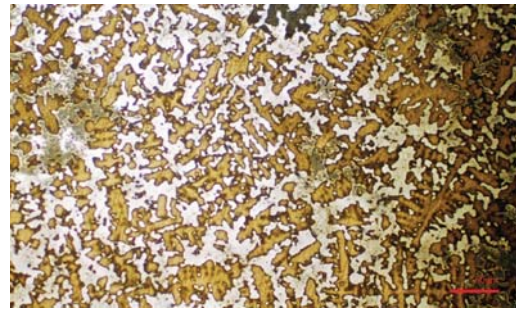


Fig. 3. Microstructure of bronze mirror #3

청동거울 4(황룡사지)

Pb함량이 높아 일부는 뭉쳐져 있거나, 미세하게 시료전체에 걸쳐 분포되어져 있으며, 부식편석물 및 불균질 편석물등이 널리 분포되어져 있다. 전체적으로 $\alpha + \delta$ 공석조직으로 이루어져 있으나, 일부 침상조직이 보이는 것으로 보아 martensite조직이 남아 있는 것으로 보인다.

미소경도 측정결과, 경도값이 HV 205-349의 차이를 나타냈으며, 평균 경도값은 HV 312로 매우 단단한 유물이다. (65.03Cu-24.42Sn-5.07Pb)

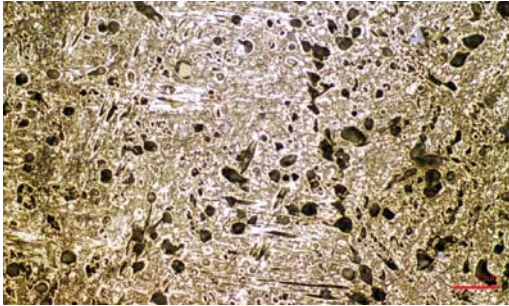


Fig. 4. Microstructure of bronze mirror #4

청동거울 5(전남 담양 제월리, 삼국)

금속의 기지는 불균질 α 상으로 이루어져 있으며, 수지상(dendrite)조직이 발달하였음을 볼 수 있다. 또한 초정 α 상 사이에 공석상 $\alpha + \delta$ 상이 존재함을 볼 수 있다. 입계를 통하여 내부로 부식이 진행하였음을 볼 수 있다. 또한 Pb입자가 미세하고 균일하게 시료내부에 산재해 있음을 볼 수 있다. 미소경도 측정결과, 초정 α 상 부분은 HV 109정도이며, 공석상 부분은 HV 220을 보인다. 평균 경도값은 HV 149이다. (80.27Cu-16.2Sn-2.12Pb)

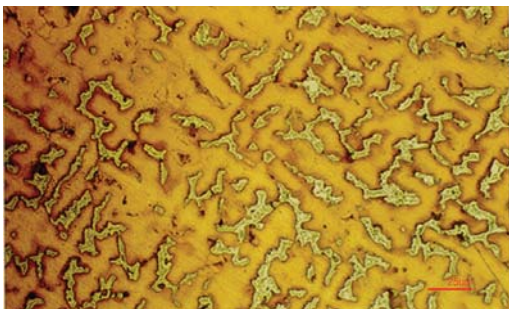


Fig. 5. Microstructure of bronze mirror #5

청동거울 6(전남 담양 제월리, 삼국)

청동이 비교적 빠른 시간에 응고될 때 나타나는 수지상(dendrite)조직이 잘 발달하고 있음을 볼 수 있다. 금속의 기지는 $\alpha + \delta$ 공석상 위의 불균질 α 상이 수지상으로 발달하고 있다. 둥근

모양의 Pb입자가 시료내부의 미세하고 균일하게 분포하고 있음을 볼 수 있다.

미소경도 측정결과, 초정 α 상 부분은 HV 138 정도이며, 공석상인 $\alpha + \delta$ 상 부분은 HV 232를 보인다. 평균 경도값은 HV 169이다. (78.91Cu-16.81Sn-4.12Pb)

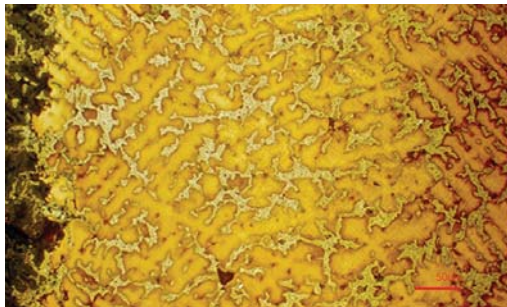


Fig. 6. Microstructure of bronze mirror #6

청동거울 7(광주 쌍암동 고분, 삼국)

금속의 기지는 $\alpha + \delta$ 공석상이며 불균질 α 상이 수지상으로 발달하고 있음을 볼 수 있다. 또한 표면 부분에는 부식상태가 심함을 볼 수 있다. 둥근 모양의 Pb입자가 시료내부에 미세하고 균일하게 분포하고 있으며, 약간의 부식편석물들도 보인다.

미소경도 측정결과, 초정 α 상 부분은 HV 179 정도이며, 공석상인 $\alpha + \delta$ 상 부분은 HV 247을 보인다. 평균 경도값은 HV 221이다. (74.7Cu-20.7Sn-2.6Pb)

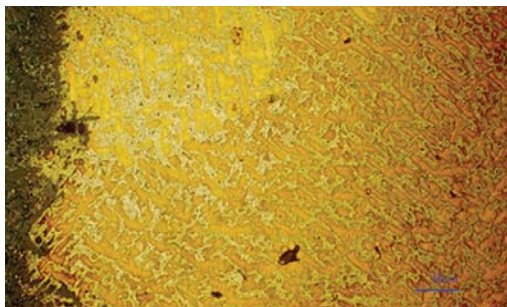


Fig. 7. Microstructure of bronze mirror #7

청동거울 8(장도청해진, 통일신라 말기)

표면에는 부식상태가 심하며, 기지사이로 부식이 내부로 진행하였음을 볼 수 있다. Pb편석물들이 시료내부에 약간 산재해 있으며, 부식편석물 및 불균질편석물도 보인다. 시료는 기지인 $\alpha + \delta$ 상과 초정 α 상들로 이루어져 있다.

미소경도는 평균 HV 310(255~340)로 매우 균일한 정도값을 보여주고 있으며, 매우 단단한 유물이다. (72.0Cu-21.8Sn-6.5Pb)

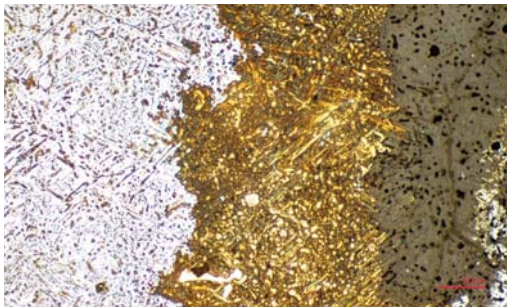


Fig. 8. Microstructure of bronze mirror #8

청동거울 9(단양 현곡리, 고려)

시료내부에는 둥근입자모양의 Pb편석물 및 불균질편석물, 기공들이 널리 산재해 있다. 대체로 불균질 α 상이 수지상(dendrite)으로 발달하였으며, 그 사이로는 $\alpha + \delta$ 공석상이 넓게 분포하고 있다. 미소경도는 평균 HV 188(131~250)로 비교적 그 차이가 작다. (74.0Cu-17.0Sn-6.6Pb)

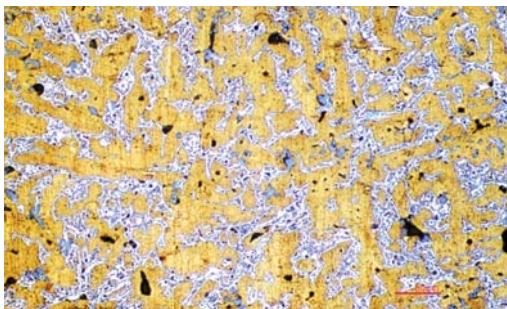


Fig. 9. Microstructure of bronze mirror #9

청동거울 10(조영E I 호분, 초기철기)

둥근 모양의 Pb입자가 시료전체에 고르게 분포하고 있다. 그러나 표면부분에 부식상태가 심하며, 시료내부로 기지를 통하여 부식이 진행하였음을 볼 수 있다. 또한 청동의 전형적인 구조조직인 수지상(dendrite)조직이 잘 발달하였으며, 불균질 α 상 사이에 공석상인 $\alpha + \delta$ 상이 넓게 분포하는 조직이다.

미소경도는 평균 HV 205(172~260)로 거의 균일한 값을 보이고 있으며, 단단한 유물이다. (65.3Cu-20.9Sn-6.9Pb)

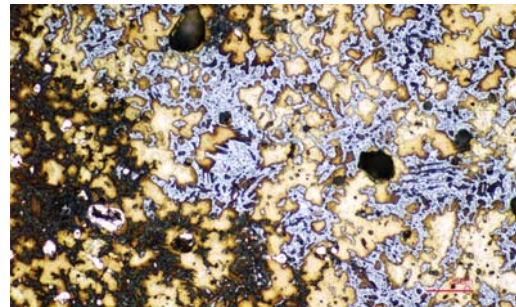


Fig. 10. Microstructure of bronze mirror #10

4.3 고찰

우리나라에서 발굴된 청동거울에 대해 합금 비율과 금속조직 및 경도를 살펴보고, 각 유물별 주성분 분포를 그려보았다. 위에서 살펴보았듯이 청동거울은 약간씩 다른 비율의 합금과 서로 다른 제작기술을 적용한 것을 알 수 있었다.

청동거울은 비록 넓은 범위이지만 크게 두세 그룹으로 볼 수 있었다. 구리 80% 내외에 15-20%의 주석을 함유하고 납은 5% 미만 들어 있는 청동거울과, 주석의 함량이 20%-30%로 매우 많아 경도가 높고 금속의 흰색 광택이 좋은 청동거울, 구리 60-70%에 15-20%의 주석을 함유하고 있지만 납이 10-15% 이상 들어있

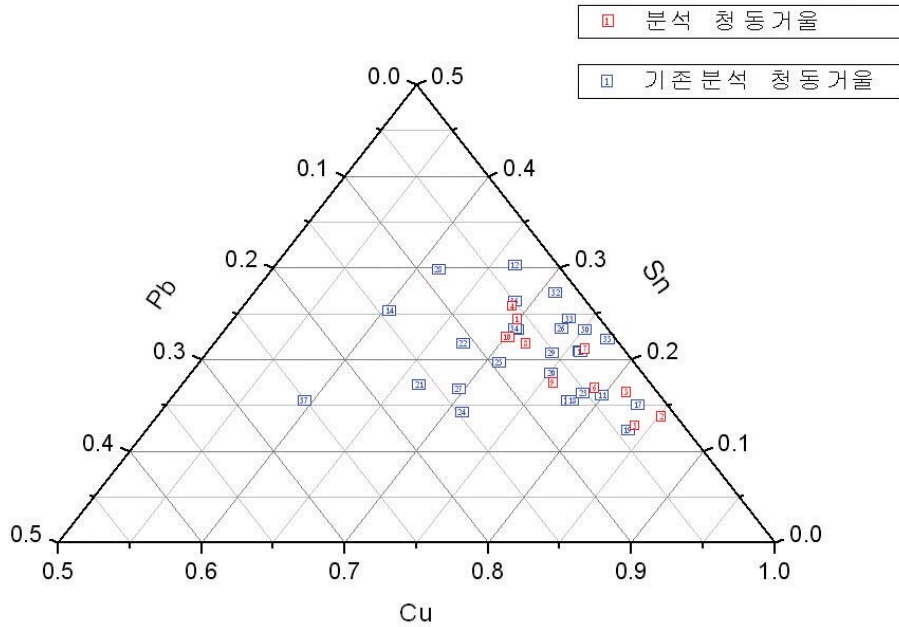


Fig. 11. Cu-Sn-Pb ternary system of the Korean bronze mirrors

는, 경도가 낮고 광택이 좋지 않은 청동거울로 나뉘어 진다.

청동거울 1, 4, 8은 70% 가량의 Cu에 Sn이 22-25%이상 함유되어있고, Pb은 약 5%로 조성된 유물이며, $\alpha + \delta$ 공석상 위에 α 상이 발달하였다. 청동거울 7은 Cu-Sn-Pb가 75-20-5로 조성된 유물이며, 청동거울 10은 부식되어 조성비가 정확하진 않으나, 청동거울 8과 비슷한 조성비를 지녔다.

청동거울 5, 6, 9는 Cu-Sn-Pb가 80-15-5, 청동거울 2는 Cu-Sn-Pb가 83-14-1% 함유된 유물이며, 청동거울 3은 부식이 심해 정확한 조성비를 알 수 없지만, Cu-Sn-Pb가 75-12-3%로 동경 2와 비슷한 조성으로 보인다.

5. 결론

본고에서 인용한 청동거울의 조성비는 주시대의 고문헌『周禮』「考工記」의 감수지제(鑑燧之齊)의 주석 33% 보다는 적은 양의 주석을 함유하고 있었다. 아직까지 우리나라에서는 비파괴 분석으로 분석된 유물을 제외한다면 감수지제의 주석이 함유된 청동거울은 발견되지 않았다.(Table 4, 5 참조)

「六齊」의 합금비율은 Cu(구리)와 Sn(주석)의 합금비율만을 나타내고 있으며, Pb(납)에 대한 비율은 나타나있지 않다. 애초부터 이 6가지 합금비율에 납의 사용이 없었는지 아닌지는 지금 판단하기는 어려우나, 기존에 분석 발표된 유물

중 대형 범종에는 납의 사용이 없었고, 청동거울에서도 납의 사용이 적은 것 등 「六齊」의 합금비율과 어느정도 맞는점에 비추어 짐작하면, 초기 청동기 중 무기류나 종, 청동거울과 같은 유물에는 제작 초기에는 납을 사용하지 않았을 것이라고 조심스럽게 추측해 볼 수도 있다.

...1400여년 동안의 발전과정을 거처온 상주시대 청동용기는 실제 사용된 제질에 따라, ① 순동 혹은 주석과 납의 함량이 적은 청동제품, ② (朱)錫靑銅으로 납이 포함되지 않았거나 적게(2% 미만) 포함된 청동제품, ③ 납 함량이 높고 주석함량이 적은 鉛靑銅의 청동제품, ④ 銅錫鉛三元합금의 청동제품 등으로 나뉘는데, 상주시대 청동용기의 합금비율은 대략 다음과 같은 3단계로 변화·발전하였음이 확인되고 있다. 첫째, 商代 初期에는 순동과 주석 및 납의 함량이 비교적 적은 청동을 사용했으며, 합금기술은 아직 초

기적 단계에 머물고 있다. 둘째, 商代 中期에는 주석 함량이 적은 鉛靑銅과 주석의 함량이 중간정도인 錫靑銅이 있었으나 錫靑銅의 방향으로 발전하였다. 셋째, 商代 後期에 청동합금기술은 고도로 성숙되어 銅錫鉛三元합금으로 정형을 이루었다. (노태천, 2000, 『한국 고대 야금기술사 연구』 pp. 110-111 원문 인용. 華覺明等, 『中國冶鑄史論集』, 1986 참고자료 재인용)

또한 육제의 석(錫)을 주석과 납의 합으로 본 경우에도 일부 청동거울 외에는 감수지제의 비율과 맞지 않는 것으로 볼때 이것 또한 더 많은 연구가 필요하다. (Fig. 12 참조)

비록 본고에서 인용한 청동거울의 조성비가 「六齊」의 합금비율을 완전히 따르지는 않았으나, Sn(주석)의 함량이 조금 낮기는 하지만 일부 유물은 「六齊」의 합금비율과 유사하다고 볼수

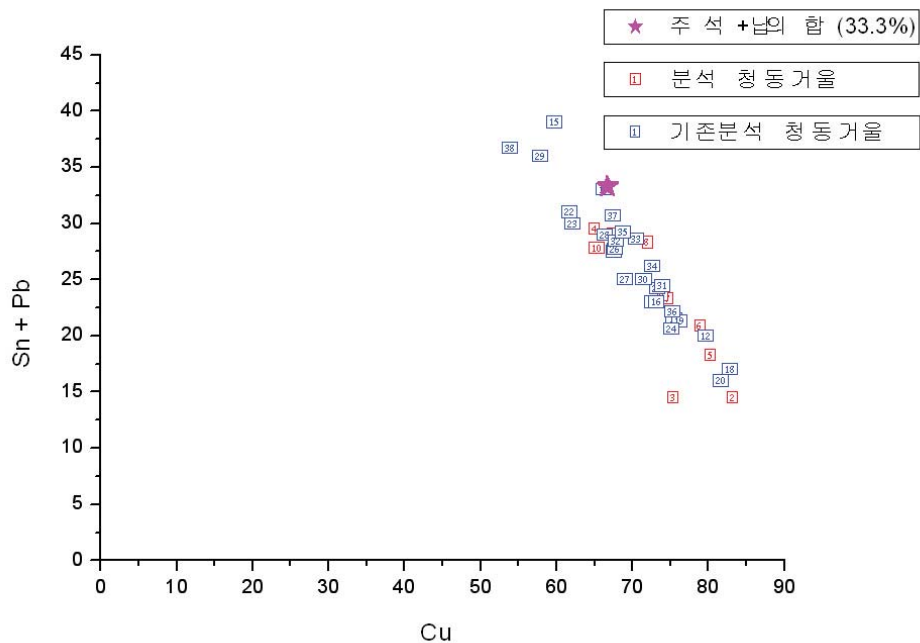


Fig. 12. Sn + Pb versus Cu content in the Korean bronze mirrors

도 있다. 앞으로 더 많은 청동거울의 분석이 이루어 진다면, 청동거울 제작의 시대성에 대해서도 살펴볼 수 있을 것이다.

최근 국립문화재연구소에서는 납동위원소 분석을 통한 원료산지 연구를 진행 중에 있다. 앞으로 더 많은 연구를 통해 소중한 우리문화재의 제작정보와 원료의 생산지에 대한 연구 등, 고대 청동유물 제작과 유통의 비밀을 찾는 연구가 계속되었으면 한다.

참고문헌

- 강승남. 1990. 「우리나라 고대 청동가공 기술에 관한 연구」 『조선 고고연구』 제3호, 34-38.
- 강승남. 1990. 「기원전 1000년기 후반기 우리나라 청동야금기술의 특징에 대하여」 『조선 고고연구』 제4호, 31-36.
- 강승남. 1991. 「기원 2~3세기 평양 부근의 벽돌무덤에서 나온 청동거울에 대한 고찰」 『조선 고고연구』 제1호, 41-47.
- 강승남. 1995. 「고조선시기의 청동 및 철가공 기술」 『조선 고고연구』 제2호, 21-25.
- 강형태 외. 1997. 「고대청동기의 과학적 분석」 『韓國上古史學報』 第26號, 33-47.
- 노태천. 2000. 「한국 고대야금사 연구」, 학연문화사, pp. 107-156.
- 염영하, 1994. 「한국의 종」, 서울대학교출판부, pp. 34~48.
- 정광용. 1992. 「미륵사지 출토 청동유물의 금속학적 연구」 『한양대학 석사논문』
- 최상준. 1966. 「우리나라 원시시대 및 고대의 쇠붙이 분석」 『고고민속』 3호,
- 황기덕, 1987. 「우리나라 청동기시대의 사회

- 관계에 대하여」, 『조선고고연구』 제2호, 2-7.
- 大正11年度. 『古蹟調査報告』 第2冊
- H. SCHUMANN, 1993. 김석윤譯, 『금속조직학』, 학문사,