

# 상평통보 주조와 복원기술연구

윤용현<sup>a</sup> · 조남철<sup>b</sup> · 정영상<sup>a</sup> · 임인호<sup>c</sup>

<sup>a</sup>국립중앙과학관 · <sup>b</sup>공주대학교 문화재보존과학과 · <sup>c</sup>금속활자주조전수관

## 국/문/초/목

『용재총화』, 『천공개물』, 『The Korean Review』 등의 고문헌을 통하여 청동유물 제작에 사용된 소재, 거푸집, 합금 등의 주조기술을 확인하였다. 상평통보 복원 주조실험은 『The Korean Review』를 기초한 주물사주조법을 적용하여 황동, 청동 소재의 모전판(母錢版, 鑄錢版)을 제작하였다.

거푸집은 본기(本器)틀과 목틀, 주물사로 구성되는데 본기틀은 주물사를 담는 바깥 틀의 재질에 따라 목틀과 쇠틀로 나뉘며, 주물사는 열은 황색의 전복 이리사를 사용했다.

주물사주조법으로 상평통보 복원에 사용된 모합금 성분비를 살펴보면, 황동은 『The Korean Review』 기록의 성분비인 Cu 60%, Zn 30%, Pb 10%를 근거로 삼았으며, 실제 복원에는 합금 시 아연과 납이 기화되어 성분 비율이 감소될 것을 감안하여 Cu 60%, Zn 35%, Pb 15%로 설정하였다. 청동은 청주시 신봉동유적 출토 해동 통보의 성분비인 Cu 80%, Sn 6%, Pb 14%를 근거로 하였으며, 실제 복원에는 Cu 80%, Sn 11%, Pb 19%로 설정하였다.

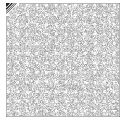
주물사주조법에 의한 상평통보 복원은 목재로 부전(父錢)을 먼저 제작하고 목틀과 본기쇠틀을 이용한 거푸집 만들기, 합금, 주조하기, 모전 만들기 등의 과정으로 모전판(母錢版, 鑄錢版)을 복원하였다.

복원된 상평통보의 모합금과 1차 주조, 2차 주조물의 성분분석을 실시한 결과 청동 모합금은 구리는 약 5%가 증가하고 납은 약 4% 손실되었으며, 황동 모합금은 구리는 약 5%가 증가하고 납은 약 4%, 아연은 12%는 감소하여 아연의 손실률이 큰 것을 알 수 있다. 1차, 2차 모전판의 EDS 분석결과 청동 모전판은 1차에 비해 2차에서 납이, 황동 모전판은 아연이 낮게 나온 것은 1차 모전판의 용융과정에서 납과 아연이 기화된 결과로 보인다.

또한 청동과 황동의 모합금과 1차, 2차 주조물의 미세조직에서는  $\alpha$ 상과 크고 작은 납 편석물이 보이고, 황동 모전판에서만 불순물로 보이는 Al, Si 등이 확인되었다.

주제어 상평통보, The Korean Review, 주조기술, 복원기술, 주물사주조법

투고일자 : 2014. 09. 30 | 심사일자 : 2014. 10. 15 | 게재확정일자 : 2014. 10. 24



## 서론

청동유물의 복원 제작기술에 대한 연구는 관련 고문헌을 바탕으로 유물에 대한 관찰을 통해 제작방법을 검토하고 그것을 기초로 복원연구를 진행하는 것이 가장 중요하다.

이 연구는 필자가 주조기술과 과학분석을 전담했던 '조선왕실 주조 금속활자 복원사업'을 통해 축적된 주물사주조방법<sup>01</sup>을 적용하여 상평통보와 모전판(母錢版)을 복원하고자 하였다.

상평통보 복원을 위해 국내·외 고문헌 자료에 나타나는 동종의 종류, 주조 방법, 소재, 거푸집, 합금 방법 등의 기사를 조사하는 등의 연구가 선행되어야 한다.

금속(구리계열)유물의 주조법은 크게 4가지로 밀랍주조법, 주물사주조법, 도토주조법, 석제주조법이 대표적이며, 이번 복원 실험에 이용한 주물사주조법은 나무에 부전(父錢)을 새긴 뒤, 암·수의 두 틀 속에 넣어 주물사로 다진 다음 모형을 빼내어 암·수 한 쌍의 거푸집을 만들고, 암·수틀에 만들어진 모형 형태의 빈 공간(母錢)에 청동, 황동의 쇳물을 부어 상평통보와 모전판(母錢版) 복원을 성공하였다.<sup>02</sup>

모합금 제작과정에서는 고문헌과 동전의 과학 성분분석 사례를 통해 청동, 황동 모합금 성분비율의 근거 기준 마련이 반드시 선행되어야 하며, 주물사주조법에서 모합금과 1차 주조, 2차 주조 단계마다 성분분석을 통해 각 성분의 손실률

을 확인하여 단계별 성분 변화를 확인하고, 각 단계별 미세 조직 관찰을 통해 재질적 특성을 연구하였다. 따라서 이 연구를 통해 그동안 미진하였던 상평통보 복원연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 고문헌 연구

청동 유물에 사용된 소재, 거푸집, 합금 등의 주조기술에 대한 기초자료를 고문헌 기록을 통하여 전통 주조기술을 조사하였다.

고문헌을 통해 동종의 합금과 주조기술 등을 명확하게 파악하기에는 다소 한계가 있으나 동 합금기술, 거푸집 제작기술, 동전 주조기술 등을 단편적으로 추적할 수 있으며 3가지 측면의 문헌연구를 분류한 내용은 다음과 같다.

### 1. 동합금 기술

『天工開物』과 『五洲書種博物考辨』, 『外丹本草』, 『格物叢談』, 『造化指南』, 『周禮 考工記』에서는 다양한 동합금의 종류와 합금에 이용하는 재료, 합금방법, 합금비 등이 확인되어 동 합금기술의 중요한 단초가 되었다(표 1).

【 표 1 】 고문헌에서 보이는 동 합금기술

서책명	기사성격	내용
周禮 考工記 (주례 고공기)	동과 주석의 합금비율 (銅과 錫)	靑銅의 승금에는 여섯 종류가 있다. 銅과 錫의 比例가 6比1이 되는 (銅의 重量의 6分の 1만큼 錫을 섞은) 것을 鐘과 鼎의 齊(按配)라고 한다. 銅의 重量의 5分の 1만큼 錫을 섞은 것을 斧과 斤(자귀)의 齊라고 한다. 銅의 重量의 4分の 1만큼 錫을 섞은 것을 戈戟의 齊라고 한다. 銅의 重量의 3分の 1만큼 錫을 섞은 것을 刀劍의 齊라고 한다. 銅의 重量의 5分の 2만큼 錫을 섞은 것을 小刀, 鏃의 齊라고 한다. 銅과 錫을 半만큼(一說에 銅의 重量의 半分の 錫을) 섞은 것을 鏡과 燧(太陽光線을 모아 불을 일으키는 오목거울)의 齊라고 한다. <sup>03</sup>

01 윤용현, 2013, 「청동 유물의 주조와 복원기술 연구」 고려대학교 박사학위논문 ; 청주고인쇄박물관, 2007, 『갑인자와 한글활자(2007년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』; 청주고인쇄박물관, 2008, 『조선전기 한국의 금속활자(2008년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』; 청주고인쇄박물관, 2009, 『조선후기 한국의 금속활자(2009년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』; 청주고인쇄박물관, 2010, 『조선시대 한글활자와 철활자(2010년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』; 윤용현, 2011, 「우리 고유 금속 주조기술 연구」 『고려 금속활자 조사연구』, 청주고인쇄박물관.  
 02 상평통보 복원과정에서 우리나라에 현존하는 모전판이 없어 복원 기준이 되는 상평통보 부전을 제작하는데 상당히 많은 연구시간을 사용할 수밖에 없었으며, 문헌에 남아있는 주조 및 합금방법에 대한 기록이 자세히 기록되어 있지 않아 전통적 복원을 위한 기초자료 확보에 어려움이 있었다.  
 03 노태천, 2000, 「한국고대 아금기술사 연구」, 한국정신문화연구원 한국학대학원 박사학위논문, p.90.

서책명	기사성격	내용
외단본초 (外丹本草)	銅, 鑰石 합금비	동 1근과 로감석 1근을 사용하여 이들을 제련하면 鑰石 1근 반이 된다.
격물주담 (格物麤談)	황동, 황동의 합금방법	로감석을 적동과 함께 가열하면 로감석은 금과 같은 색을 가진 '황색의 동'(黃銅)으로 변한다. ...로감석을 주석과 함께 가열하면 鑿銅이 된다. <sup>04</sup>
조화지남 (造化指南)	황동 합금방법	로감석은 금과 은의 색으로...모든 종류의 黃銅은 로감석을 넣음으로써 만들어진다. <sup>05</sup>
천공개물 (天工開物)	동합금 재료 동합금 제작법	세상에 쓰이는 구리 가운데 채광하여 제련할 수 있는 것은 오직 홍동(紅銅) 뿐이다. 그러나 구리에 노감석(爐甘石) 능아연광(菱亞鉛礦 : ZnCO <sub>3</sub> )이나 아연을 넣어 제련하면 빛깔이 변해서 황동(黃銅)이 되며, ... 또한 주석을 넣으면 향동(響銅, 청동)이 되고, 아연을 넣으면 주동(鑄銅, 황동)이 된다. <sup>06</sup>
	청동 합금방법 (약, 藥)	명반(明礬 : K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·24H <sub>2</sub> O)이나 초석(硝石, 질산칼륨 : KNO <sub>3</sub> ) 등의 약물(藥製)을 넣어 제련하면 청동이 된다. <sup>07</sup>
오주서종 박물고변 (五洲書種博物考辨)	제련법 종류 동합금 제작법	황동(黃銅)은 노감석(爐甘石)이나 아연을 구리에 넣어 녹여 만든다. ... 홍동 6근마다 아연 4근을 앞뒤로 도가니에 넣어 녹여서 식힌 다음 꺼내면 황동이 된다. 구리 1근을 노감석 1근과 함께 녹이면 유석 1근 반이 된다. 옛사람은 황동을 유석(鑰石)이라 불렀다. <sup>08</sup>
	청동 합금방법 (약, 藥)	반석(礬石), 초석(硝石) 등의 약(藥)을 구리와 함께 넣어 제련하면 청동(靑銅)이 된다. <sup>09</sup>

## 2. 동 거푸집 제작방법

주조에 사용되는 거푸집의 소재는 돌[石], 흙[土], 밀랍, 주물사 등으로, 『천공개물』에서는 질흙을 이용하여 거푸집을 제작하는 과정이 자세히 설명되어 있으며, 『용재총화(慵齋叢話)』에서는 바닷가의 고운 모래를 주형토로 이용하여 암·수 거푸집을 이용한 주물사 주조과정이 구체적으로 기록되어 있어 거푸집 주조기술 복원을 위한 기초자료로서 가치가 있다(표 2).

## 3. 동전 주조기술

『천공개물』에서는 동전주조기술에 대해 상세히 다루고 있는데, 현재의 주물사주조법임을 알 수 있다. 동전 주조과정은 10여 단계로서 나누어 진행되는데 암·수 거푸집을 사용하여 고운 질흙과 숯가루를 섞어 나무틀 안에 채워 다지며, 주석으로 만든 모전(母錢)을 질흙 위에 올려 동전 모형을 찍어내는 점, 동전의 주재료가 구리와 아연을 합금한 황동인 점, 완성된 동전 100개가 마치 꽃이나 과일처럼 주렁주렁 춤

【 표 2 】 고문헌에서 보이는 동 합금기술

서책명	기사 내용
용재총화 <sup>10</sup>	대개 주자(鑄字)하는 법은 먼저 황양목(黃楊木)에 글자를 새기고, 해포(海蒲)의 부드러운 진흙을 평평하게 인판(印板)에다 폼다. 목각자(木刻字)를 그 진흙 속에 인척하면 찍힌 곳이 움푹 들어가서 글자가 된다. 이때에 두 인판을 합하고, 녹은 구리(鑄銅)를 한 구멍으로 쏟아 부어내리면 구리 쇠물이 오목한 곳에 흘러 들어가서 하나하나 글자가 된다.
천공개물 <sup>11</sup>	우선 질흙으로 외형(外形)을 만들어 세로로 찌개어 두 개의 반형(半型)으로 만들든가 또는 상하 두 부분으로 잘라, 자른 부위를 서로 맞춘 후...내형과 외형 사이에 일정한 공간이 생기게 한다. ... 그런 다음 외형을 내형 위에다 덮고, 질흙으로 이음매를 매우고 쇠물을 주입한다.

04 Needham, Joseph, 1974, 'Science and Civilisation in China', vol 5, Part 2, Section 33, Cambridge University Press, p.199.

05 Needham, Joseph, 1974, 앞의 책, p.209.

06 송응성 저, 최주 역, 1997, 『천공개물(天工開物)』, 下卷, 第十四, 製鍊, 銅, p.314.

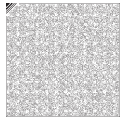
07 송응성 저, 최주 역, 1997, 앞의 책, p.314.

08 이규경 저, 최주 역, 2008, 『오주서종박물고변』, 학연문화사, p.77.

09 이규경 저, 최주 역, 2008, 앞의 책, p.90.

10 성현 저 · 민족문화추진회 역, 1997, 『용재총화』, 나랏말싸, pp.202~203; 윤용현, 2013, 앞의 글, p.15.

11 송응성 저 · 최주 역, 1997, 앞의 책, p.184.



춤히 매달려 있는 점 등이 확인되어 당시의 동전 주조기술 복원에 중요한 역할을 하고 있다(표 3~5).<sup>12</sup>

【 표 3 】 천공개물(天工開物)에서 보이는 동전 주조과정

서책명	동전 주조과정
천공개물 (天工開物) 治鑄, 錢 <sup>13</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 나무 막대 4개로 사각형의 나무틀을 만든다.</li> <li>• 고운 질흙과 숯가루를 섞어 나무틀 안을 채워 다진다.</li> <li>• 숯의 재를 틀 안의 채운 질흙 위에 뿌리거나 연기로 그을린다.</li> <li>• 주석으로 만든 모전(母錢) 100개를 질흙 위에 올려놓는다.</li> <li>• 다른 나무틀을 그 위에 포갠 뒤 앞서와 같은 방법으로 질흙을 채워 암·수 거푸집을 만든다.</li> <li>• 앞의 과정을 반복하여 10여 개의 틀로 된 거푸집이 완성되면 이들을 합쳐서 빗줄로 단단히 동여매어 고정한다.</li> <li>• 나무틀의 가에 쇳물을 부어넣을 주입구를 미리 마련한다.</li> <li>• 거푸집에다 쇳물을 부어 동전을 주조한다.</li> <li>• 가지쇠에서 동전을 차례로 잘라 줄로 쓸면 동전이 완성된다.</li> <li>• 대나무 막대에도 수백 개를 꿰어서 다시 한번 줄로 쓴다.</li> <li>• 마지막으로 면이 고르지 못한 동전을 하나씩 쓸어 동전을 완성한다.</li> </ul>

특히 『The Korean Review』 「A Korean mint」에서는 상평통보 제작과정이 그림과 함께 상세히 소개되어 있어 우리나라의 주조기술을 이해할 수 있는 중요한 문헌자료라고 할 수 있다. 조선시대 동전주조기술에서 주물사거푸집을, 합금은 구리에 아연을 섞은 황동을 사용했으며 완성된 형태는 돈나무 형상을 하고 주조 후에 반드시 연마과정을 거친다는 것을 알 수 있는데 이것은 위의 천공개물에 보이는 동전 주조법과 일치하고 있음을 살펴볼 수 있다.<sup>14</sup>

【 표 4 】 『The Korean Review』 「A Korean Mint」에서 보이는 동전 주조과정

서책명	동전 주조과정
『The Korean Review』 「A Korean Mint」 <sup>15</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 내화 점토로 만든 도가니 안에 구리, 아연, 납을 6:3:1의 비율로 넣은 뒤 용광로에서 녹인다.</li> <li>• 주형틀인 나무틀에 주물사를 채워 다진 뒤 돈나무 형태의 모전판(母錢版)으로 눌러 찍어 동전의 모형인 암·수거푸집을 만들고, 빈 공간인 모형(거푸집)에 쇳물을 붓고 식힌다.</li> <li>• 거푸집에서 쇳물이 굳으면 돈나무가 되는데 이를 망치로 두드려 동전을 떼어낸 후 쇠막대에 꿰어 움직이지 않게 고정한다.</li> <li>• 업전을 펜 막대를 훑어 있는 줄 작업대의 홀에 끼워 고정하고 동전 테두리의 거친 부분을 초벌 줄로 매끈하게 다듬는다.</li> <li>• 업전을 물과 모래가 담긴 통에 넣고 문질러 표면을 반짝거리게 한다.</li> <li>• 구부러진 동전이나 표면이 덜 다듬어진 동전을 골라서 하나하나 손줄로 다듬어 마무리 한다.</li> <li>• 업전을 한줄에 200개 펜 후 10줄(2000개)을 한 묶음으로 묶는다.</li> </ul>

## 상평통보 복원연구

상평통보는 우리나라에서 가장 오랜 기간(270여년간) 유통된 법정 화폐로서 각종 부호표시와 형태 등을 비추어 볼 때 가장 한국적인 독창성을 나타내고 있다.

『용재총화』, 『천공개물』, 『The Korean Review』 등의 문헌에 나와 있는 주물사주조법을 바탕으로 부전(父錢) 만들기, 거푸집 만들기(모전용), 합금·주조, 청동과 황동쇳물 붓기 등 4단계에 걸쳐 상평통보 복원을 진행하였다. 모전판은 부

【 표 5 】 『The Korean Review』의 상평통보 제작과정

도가니 작업	거푸집 작업	동전 꿰기	동전 연마	모래 연마	마무리손질	동전 묶기
						
찰흙 도가니, 모함금비 (Cu:Zn:Pb=6:3:1)	목틀 주물사주조법	망치로 동전분리, 쇠막대에 동전 꿰기	1차 연마 초벌 다듬기 (거친줄)	2차 연마 물, 모래 담긴 통에서 연마	3차 연마 (재벌줄) 불량품 감소	동전 묶기 1,000개 단위 업전 꿰기

12 윤용현 2013, 앞의 글, p.21.

13 송응성 저, 1997, 앞의 책, pp.192~197; 윤용현, 2013, 앞의 글, p.20.

14 Homer B. Hulbert, 1905, 「A Korean mint」 『The Korean Review』, Vol.5, No.3, pp.87~97; 윤용현, 2013, 앞의 글, p.29; 한국은행, 2010, 『우리화폐 시계화폐(화폐금융박물관도록)』

15 Homer B. Hulbert, 1905, 위의 글, pp. 87~97; 윤용현, 2013, 앞의 글, p.29.

전의 배열을 통해 다양한 형태로 제작할 수 있으며, 이 연구에서는 가지형과 부채형 2가지 형태의 모전판을 제작하였다.

### 1. 부전(父錢) 만들기

부전(父錢)을 새기기 위해 화폐박물관 소장 상평통보 중 문양이 선명하고 양호한 숫자순과 천자문순을 선별하여 복원의 기준으로 삼았다(표 6, 7).

복원에 기준으로 삼은 숫자순은 모두 개성감영에서 발행된 상평통보로서 상단에 '開(개성감영)'라는 주전칭이 표시되어 있고 하단부에는 '일(-)' 부터 '십(+)'까지의 숫자가 새

겨져 있다. 천자문순은 주조가 허가된 중앙관서인 호조(戶), 충융청(摠), 어영청(營)에서 발행한 상평통보로서 상단에는 주전칭이 표시되어 있고 하단부에는 '천(天)'부터 '월(月)'까지 천자문이 새겨져 있다.

먼저 준비된 뱃나무 위에 전본(錢本)의 도안을 붙인 다음 밀랍을 바르고 창칼을 사용하여 양각으로 글자를 새겨 부전을 만든다. 글자 새김작업이 끝난 부전은 톱으로 글자 하나 하나씩 잘라내어 원형의 상평통보 크기로 다듬어 마무리한다. 마지막으로 완성된 부전은 먹칠한 후 화선지에 찍어 새김상태를 점검한다(사진 1, 2).

【 표 6 】 화폐박물관 소장 상평통보 숫자순(10점)

구분	일(-)	이(二)	삼(三)	사(四)	오(五)	육(六)	칠(七)	팔(八)	구(九)	십(+)
前										
後										
鑄錢廳	개성감영	개성감영	개성감영	개성감영	개성감영	개성감영	개성감영	개성감영	개성감영	개성감영

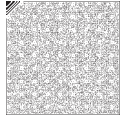
【 표 7 】 화폐박물관 소장 상평통보 천자문순(11점)

구분	천(天)	지(地)	현(玄)	황(黃)	우(宇)	주(宙)	홍(洪)	황(荒)	일(日)	월(月)
前										
後										
鑄錢廳	어영청	어영청	어영청	어영청	호조	어영청	어영청	어영청	어영청	충융청



【 사진 1 】 상평통보 부전(父錢) 제작 방법





【 사진 2 】 완성된 상평통보 부전(父錢)

## 2. 거푸집 만들기

거푸집 만들기는 주물인 모전(母錢)의 형태를 만드는 작업으로 가장 많은 공력을 기울여야하는 중요한 작업과정 가운데 하나이다.

주물사주조법에 사용되는 거푸집은 본기(本器)틀과 주물사로 구성되는데 이번 복원 연구에서는 '본기목틀'과 '본기쇠틀'을 사용했으며 주물사는 전북의 이리사로 열린 황색을 띠고 있으며 체로 쳐서 입자가 고운 것을 이용했다.

먼저 '본기쇠틀' 거푸집작업은 본기 쇠틀의 암틀을 뒤집어 평평한 바닥에 올려놓은 다음 부전(父錢)을 암틀 안쪽 바닥에 가지형으로 배열해 넣고, 그 위에 이형제(離型制)인 활석가루를 뿌리는데, 이형제는 주물사와 부전이 붙지 않고 잘 떨어지게 하는 역할을 한다.

이어서 암틀의 글자면 위에 주물사를 넣어 달구대란 연장으로 3회 정도 반복하여 단단하게 다진다. 이때 지나치게 다지면 통기성이 나빠져 쇳물 주조시 거푸집 속 주물공간에 생성된 가스가 외부로 배출되지 못해 모전에 기공이 남거나 쇳물이 거푸집을 채우지 못하기 때문에 주의가 필요하다.



【 사진 3 】 본기쇠틀을 이용한 거푸집 만들기

암틀의 주물사가 다져지면 거꾸집 틀 위로 올라와 있는 주물토를 수평칼로 깎아서 제거한 뒤 평면을 맞춘다. 부전이 보이도록 암틀을 뒤집어 바닥이 하늘로 향하게 올려놓은 다음 탕구에 주물사를 채워 쇳물 주입구를 만든다. 또한 부전에 붙어 있는 주물토와 이물질을 깨끗하게 정리하고 암틀 위에 수틀을 올려 부착시킨다. 수틀은 암틀 거꾸집과 동일한 방법으로 주물사를 3회 정도 반복하여 채우고 다진 뒤, 수틀에서 암틀을 분리한다. 수틀에도 주물사로 주입구인 탕구를 만들고, 주걱칼로 부전이 있는 암틀에 쇳물 길인 탕도를 만든다. 이 탕도는 뜨거운 쇳물이 굳을 때 발생하는 응고수축

(凝固收縮) 양 만큼의 쇳물을 공급해주며, 쇳물이 충실하게 채워질 수 있도록 압력을 가해주고 방향성 응고가 일어나도록 하여 내부에 결함이 없는 좋은 주물이 되게 한다.

마지막으로 거꾸집 속의 부전을 뽀족한 침을 대고 주걱칼 등으로 살살 두드려 유격을 준 다음 부전을 주물사에서 조심스럽게 분리하면, 이 공간이 모전(母錢)으로 쇳물을 넣는 공간이 된다. 이때 부전이 잘 빠지도록 하기 위해 부전 주변의 주물토에 물을 바르면 주물토가 단단해져 부서지지 않게 할 수 있다(사진 3).

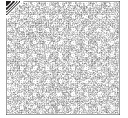
또한 실험적으로 부전(父錢) 대신 1차 주조된 모전판을 이



【 사진 4 】 주전된 모전판(母錢版)을 이용한 거꾸집 제작



【 사진 5 】 본기목틀을 이용한 거꾸집 만들기



용하여 본기쇠틀거푸집으로 동전을 제작하였으며, 이 과정은 부전을 이용한 본기쇠틀 제작과정과 동일하다(사진 4).

또 하나의 주물사주조법인 '본기목틀 거푸집작업'은 본기쇠틀과 유사한 방법으로 진행하며, 목틀의 암틀에 부전을 부채형으로 배열하고 목틀에 처음 부전을 넣는 과정이 쇠틀과 달리 암 · 수틀을 합체한 채로 사용하는 것이 차이점이며 맞닿는 가운데는 평평한 판자가 끼워져 있다. 목틀이 합체한 상태를 보면 맨 위에 암틀이, 중간에 평평한 판자가, 아래에 수틀이 놓인다(사진 5).

암 · 수 거푸집이 맞닿는 면의 탕도와 쇳물이 들어갈 공간을 구성하고 있는 주물사의 경우 수분이 많거나 차가우면 뜨거운 쇳물을 부음과 동시에 바로 굳어버리기 때문에 쇳물 길이 막혀 주물 작업을 실패하는 경우가 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 주물 공간을 구성하고 있는 주물사를 작업 공간에서 자연건조했으며, 주물 공간의 벽을 단단하게 해주고

수분제거, 쇳물의 유동성을 높이기 위해 암 · 수틀을 화덕에 얹어놓고 그을음질하였다.

건조과정이 끝나면 암 · 수틀의 거푸집을 조심스럽게 결합시켜 본기를 거푸집을 완성한다. 이때 높은 온도의 쇳물 압력을 견디게 하기 위해 손잡이 부분은 본기쇠틀은 철사로, 본기목틀은 나무틀을 끼워 고정시킨다(사진 6).

### 3. 합금 · 주조

상평통보 복원에 청동과 황동의 모합금비는 『The Korean Review』의 고문헌과 동전의 과학 성분분석 결과를 근거로 하였다. 이를 바탕으로 합금 · 주조 복원은 3단계 과정으로 이루어졌으며 1단계에는 모합금 복원, 2단계에는 모합금을 녹여 모전판을 주조하였고, 3단계는 2단계에 주조된 모전판의 가지쇠를 녹여 주조하였다.



【 사진 6 】 거푸집 말리기



【 사진 7 】 청동 모합금의 제작과정



1단계인 모합금 복원에서 청동의 합금 비율은 고대 동전 성분분석 사례 중 주석 함량이 가장 높았던 고려시대 해동통보의 성분 결과를 기준으로 선정하였다.<sup>16</sup> 청동의 주성분이 되는 구리, 납, 주석을 80 : 14 : 6으로 100% 성분비로 맞춘 뒤 최종 합금 손실률을 감안하여 납과 주석은 각각 5%씩 추가하여 구리(Cu) : 납(Pb) : 주석(Sn) = 80 : 19 : 11의 110% 성분비로 설정하였다. 먼저 구리를 담은 도가니를 용광로에 넣어 녹이다가 납과 주석을 차례로 도가니에 넣어 교반시키는데, 구리의 용점이 1083℃, 납의 용점이 327℃, 주석의 용점이 232℃로 금속의 용융점이 차이가 나기 때문에 녹는 점이 높은 순서대로 구리, 납, 주석을 장입하는 것이 중요하다. 합금된 청동 쇳물은 모합금 틀에 천천히 붓고 굳기를 기다린 다음 망치로 틀을 두드리면 일정한 크기의 모합금을 얻을 수 있다(사진 7).

황동의 합금 비율은 『The Korean Review』의 동전 주조 기술 중 황동 동전의 합금비를 기준으로 선정하였다.<sup>17</sup> 구리, 아연, 납을 60 : 30 : 10으로 100% 성분비를 맞춘 뒤 최종 합금 손실량을 감안하여 아연과 납을 각각 5%씩 추가하여 구리(Cu) : 아연(Zn) : 납(Pb) = 60 : 35 : 15의 110% 성분비로 설정하였다. 황동도 용점이 높은 구리를 먼저 용광로에 장입하

여 녹인 후 납, 아연을 순서대로 장입하여 합금해야 한다. 이때 아연은 합금과정에서 증기가 되기 쉬운 특징이 있어 아연 가스의 중독성과 폭발적인 불길의 위험성이 있다. 그래서 아연이 납보다 용점이 높음에도 불구하고 구리와 납을 녹인 뒤 마지막에 아연을 장입해야 한다. 용광로의 도가니 속에서 모든 금속이 용융되면 적절히 교반된 황동 쇳물을 예열된 틀에 부어 모합금을 완성한다(사진 8).

#### 4. 쇳물 붓기

쇳물 작업이 진행되는 동안 분기쇠틀은 암 · 수틀을 깎고 흙 위에 올려 고정시키고, 분기목틀은 바닥에 나무를 받쳐 고정시키는데 상평통보 주조를 위한 쇳물 붓는 각도는 85~90도가 적당하다. 쇳물 붓기의 각도는 주물이 얇을수록 수직에 가까우며 쇳물온도가 빨리 식지 않도록 부어야 완성도를 높일 수 있다(사진 9).

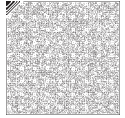
청동과 황동 모합금을 녹인 쇳물은 표면의 불순물을 제거한 뒤 준비된 분기쇠틀과 분기목틀 거푸집 주입구에 부어 상평통보 모전판(母錢版)을 주조하였다.



【 사진 8 】 황동 모합금의 제작과정

16 강형태, 김규호, 정광용, 2005, 「고려시대 동전의 주조 원료와 산지(1)」 『보존과학회지』 Vol.17, 문화재보존과학회: 해동통보의 성분은 미소부 탐침 형광 X선 분석과 ICP 분석을 통해 분석하였다.

17 윤용현, 2013, 앞의 글, p.25.



## 5. 모전판 완성

주조 작업이 끝난 거푸집은 수틀을 들어내어 암틀과 분리하고 암틀에 들어있는 주물을 집게로 빼낸 뒤 쇠술로 표면의 산화된 주물토를 털어낸다(사진 10).

주물토 제거 후 가지쇠에 붙어 있는 상평통보 모전은 망치 등을 이용해 떼어내고, 모전 하나하나를 솥물에 갈아 사용하기에 편리하게 다듬어 마무리한다(사진 11).

## 과학분석

### 1. 분석대상 및 분석방법

상평통보 주조 실험 과정은 세단계로 준비 단계에서는 청동과 황동의 모합금 시료를, 1차 주조단계에서는 모합금으로 제작된 청동과 황동 모전판 시료를, 2차 주조단계에서는 완성된 청동과 황동 모전판의 가지쇠를 녹여 만든 모전판에



【 사진 9 】 쇠물 붓기



【 사진 10 】 모전판 분리



【 사진 11 】 완성된 청동과 황동 모전판(母錢版)

서 시료를 채취하였으며, 각 시료의 사진과 분석 위치는 (사진 12)와 (사진 13)과 같다.

채취한 시료는 에폭시 수지로 마운팅한 후 200, 400, 800, 1200, 1500, 2000, 4000mesh의 순서로 거친 연마를 실시한 뒤, 연마제(DP-suspension P 3 $\mu$ m, 1 $\mu$ m, Struers)로 미세연마하여 금속현미경(Metallurgical Microscope, Leica, DM2500M)을 사용하여 미세조직을 관찰하였다.

모합금과 1·2차 상평통보 모전판에서 채취한 시료의

성분조성과 미세조직, 비금속개재물은 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM, MIRA3)-에너지분산형 분광계(Energy Dispersive Spectrometer : EDS QUANTA300, BRUKER)를 이용해 분석을 실시했으며, 모합금의 성분조성변화는 에너지 분산형 X선형광분석(ED-XRF, Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer(Seiko Instruments Ins. SEA2220A, Japan)을 이용하여 확인했다(표 12).



【 사진 12 】 상평통보 복원과정 준비단계 시료



【 사진 13 】 상평통보 복원과정 1차 주조, 2차 주조 시료

【 표 8 】 분석 대상 및 분석 방법

단계	연번	시료명	적용 분석 방법		
			XRF	금속현미경	SEM-EDS
준비	1	청동 모합금	○	○	○
	2	황동 모합금	○	○	○
1차 주조	3	1차 청동 ①	X	○	○
	4	1차 청동 ②	X	○	○
	5	1차 황동 ①	X	○	○
	6	1차 황동 ②	X	○	○
	7	1차 황동 ③	X	○	○
2차 주조	8	2차 청동 ①	X	○	○
	9	2차 청동 ②	X	○	○
	10	2차 황동 ①	X	○	○
	11	2차 황동 ②	X	○	○



## 2. 분석결과

### 1) 성분분석

모합금과 1차 주조, 2차 주조에서 각 성분의 손실률을 알아보기 위해 성분조성 분석을 실시하였다. 모합금의 ED-XRF 분석결과, 청동 모합금은 구리, 주석, 납의 합금비율인 80 : 11 : 19(110%)와 비교해 구리는 약 3%, 납은 약 7%정도가 손실되고 주석의 양은 크게 변하지 않았다. 황동 모합금

은 구리, 아연, 납의 합금비율인 60 : 35 : 15(110%)와 비교해 구리는 오히려 약 5%가 증가했고, 납은 약 4%정도가 손실되었으며, 아연은 12%가 감소되어 손실률이 상당히 큰 것을 알 수 있다(표 9, 10).

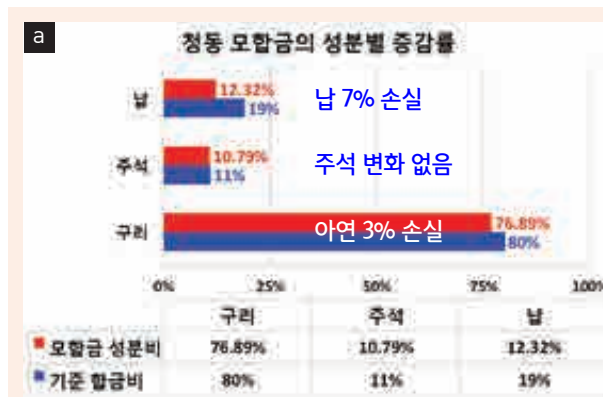
1차, 2차 주조된 청동, 황동 모전판의 EDS 분석결과 청동 모전판은 구리, 주석, 납 비율이 1차가 약 70 : 12 : 18이며, 2차가 약 72 : 12 : 16으로 1차에 비해 2차에서 납이 낮게 나온 것은 1차 모전판 가지쇠가 용융되는 과정에서 납이 기화되었기 때문에 성분조성이 변화된 것으로 보인다(표 11).

【 표 9 】 청동 모합금의 ED-XRF 성분분석

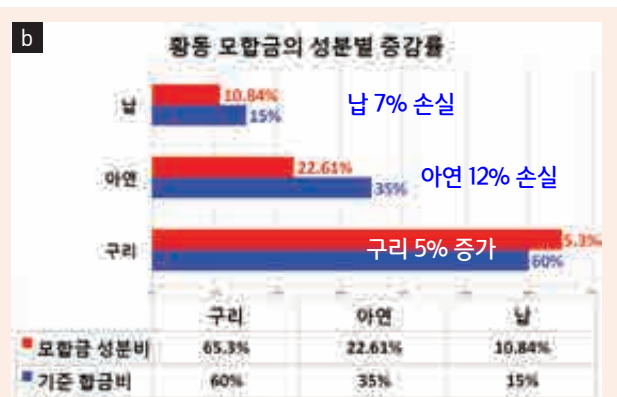
분석위치	성분 (wt.%)			분석위치
	Cu	Sn	Pb	
1	77.66	10.97	11.37	
2	76.65	10.50	12.85	
3	76.35	10.91	12.73	
Average	76.89	10.79	12.32	

【 표 10 】 황동 모합금의 ED-XRF 성분분석

분석위치	성분 (wt.%)			분석위치
	Cu	Sn	Pb	
1	71.53	24.46	4.00	
2	71.30	24.06	4.64	
3	62.53	22.99	9.48	
4	55.85	18.92	25.24	
Average	65.30	22.61	10.84	



a. 청동 모합금



b. 황동 모합금

【 그림 1 】 청동과 황동 모합금의 성분별 증감률

【 표 11 】 청동 모전판의 EDS 성분분석 결과

시료명	성분(wt.%)		
	Cu	Sn	Pb
1차 청동 ①	74.22	12.42	13.37
1차 청동 ②	65.29	11.84	22.87
Average	69.76	12.13	18.12
2차 청동 ①	71.76	11.70	16.63
2차 청동 ②	73.22	12.16	14.62
Average	72.49	11.93	15.63

【 표 12 】 황동 모전판의 EDS 성분분석 결과

시료명	성분(wt.%)		
	Cu	Zn	Pb
1차 황동 ①	73.68	22.02	4.30
1차 황동 ②	73.34	21.45	5.21
1차 황동 ③	75.20	22.59	2.21
Average	74.07	22.02	3.91
2차 황동 ①	-	-	100
2차 황동 ②	74.86	21.40	3.74
Average	74.86	21.40	3.74



황동 모전판은 구리, 아연, 납 비율은 1차가 약 74 : 22 : 4이며, 2차 황동 ②시료가 약 75 : 21 : 4로 1차에 비해 2차에서 아연이 낮게 나온 것은 아연이 2차 주조과정에서 기화된 결과로 보인다(표 12).

## 2) 미세조직 관찰

### (1) 모합금

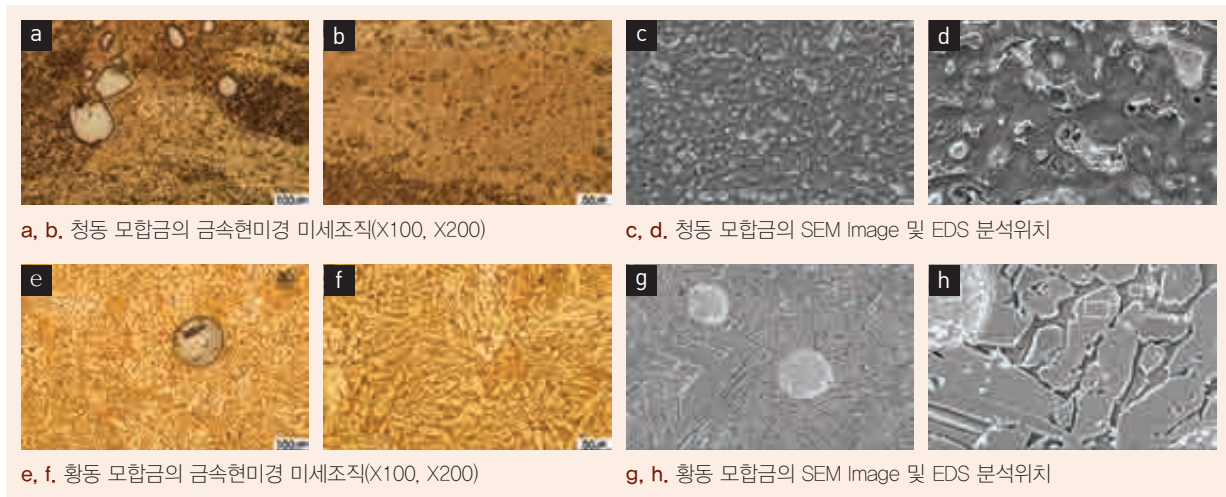
금속현미경으로 청동 모합금 미세조직을 관찰한 결과,  $\alpha$ 상 기지조직에 커다란 납 편석물이 보이며, SEM-EDS 분석을 통해 1과 2지점은 납 편석물, 3지점은  $\alpha$ 상의 기지조직인 것으로 판단된다(사진 14a~d). 황동 모합금의 미세조직은 균질한  $\alpha$ 상 조직 내에 검정색의 미세한 개재물, 밝은색의 크고 작은 납 편석물이 관찰되며, SEM-EDS에서 1지점의 검정색 미세한 개재물은 납 성분이 83.22%, 4지점은 95.54%로 납 편석물로 판단된다. 2와 3지점은  $\alpha$ 상으로 Al과 Si가 관찰되는

이유는 주물과정에서 주물사 등의 불순물이 함유되었기 때문으로 판단된다(사진 14e~h, 표 13~14).

### (2) 1차 주조 모전판

1차 주조 청동 모전판 ①시료의 미세조직은 갈색  $\alpha$ 상의 기지조직 내에 긴 형태의 밝은 회색 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상이 보이며 결정립계에는 조대한 회색의 구형 납 편석물이 관찰된다. SEM-EDS분석을 통해 1, 2지점은  $\alpha$ 상 기지조직, 3지점은 납의 함량이 90.88%로 결정립계 편석된 납, 4지점은  $\alpha$ 상 내의 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상인 것을 확인하였다(사진 15, 표 15).

1차 주조 청동 모전판 ②시료의 갈색의  $\alpha$ 상 기지조직에 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상이 미세하게 관찰되며, 둥근 형태의 미세한 편석물이 관찰된다. SEM-EDS 분석을 통해 1과 4지점은 구형의 납 편석물로 확인되며 1지점은 Fe 함량이 5.50%로 주물 과정에서 함유된 불순물로 추정된다. 3지점의  $\alpha$ 상의 기지조직은 Cu 함량이 상당히 높게 함유되어 있는 것을 확인할 수 있



【 사진 14 】 미세조직 및 분석위치

【 표 13 】 청동 모합금 성분분석 결과(EDS)

분석 위치	성분(wt.%)				결과
	Cu	Sn	Pb	O	
1	20.15	1.72	73.82	4.31	납 편석물
2	26.82	3.51	68.09	1.58	
3	87.70	12.30	-	-	$\alpha$ 상 기지조직

【 표 14 】 황동 모합금 성분분석 결과(EDS)

분석 위치	성분(wt.%)						결과
	Cu	Zn	Pb	O	Al	Si	
1	7.8	3.13	83.22	5.85	-	-	미세한 검정 개재물
2	67.41	27.07	-	0.4	4.54	0.59	$\alpha$ 상 조직
3	74.09	23.35	-	0.86	1.72	-	불순물(Al, Si)
4	-	-	95.54	4.46	-	-	조대한 납 편석물



다(사진 15, 표 16).

1차 주조 황동 모전판 ①시료의 미세조직은 균질한  $\alpha$ 상으로 편석되어 있던 납이 빠져나간 구형의 검정색 흔적이 보인다. SEM-EDS 분석을 통해 1지점의 검정색 구형 hole은 납 함량이 87.36%로 납 편석물, 2지점의  $\alpha$ 상 조직에 나타나는 Al은 주물과정에서 함유된 불순물로 판단된다. 3지점은  $\alpha$ 상 조직 내의 미세한 납 편석물로써  $\alpha$ 상 조직이 함께 분석되어 Cu, Zn의 함량이 높게 나타난 것으로 보인다(사진 16a~d, 표 17).

1차 주조 황동 모전판 ②시료의 미세조직은 균질한  $\alpha$ 상으로 크고 밝은 구형의 납 편석물이 관찰된다. SEM-EDS 분석을 통해 1지점은 납이 84.80%인 조대한 구형의 납 편석물로 Cu, Zn의 함량이 높은 것은  $\alpha$ 상 기지조직의 영향을 받았기 때문으로 보인다. 2지점은  $\alpha$ 상 조직을, 3지점은  $\alpha$ 상 조직 내에 편석된 납을 분석한 결과로 Al이 보이는 것은 주물과정에서 함유된 불순물 때문인 것으로 보인다(사진 16e~h, 표 18).

1차 주조 황동 모전판 ③시료의 미세조직은 a, b 시료와

【 표 16 】 1차 청동 ②의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)					결과
	Cu	Zn	Pb	O	Fe	
1	-	-	88.35	6.15	5.50	납 편석물, 불순물(Fe)
2	74.16	22.95	2.76	0.13	-	-
3	90.52	9.48	-	-	-	$\alpha$ 상 조직
4	2.29	-	94.52	3.19	-	납 편석물

【 표 17 】 1차 황동 ①의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)						결과
	Cu	Zn	Pb	O	Al	Si	
1	4.73	1.38	87.36	6.53	-	-	납 편석물 흔적
2	75.67	22.98	-	0.58	2.76	-	$\alpha$ 상 조직, 불순물(Al)
3	69.91	19.13	6.74	1.85	2.36	-	미세 납 편석물

【 표 18 】 1차 황동 ②의 EDS 성분분석 결과

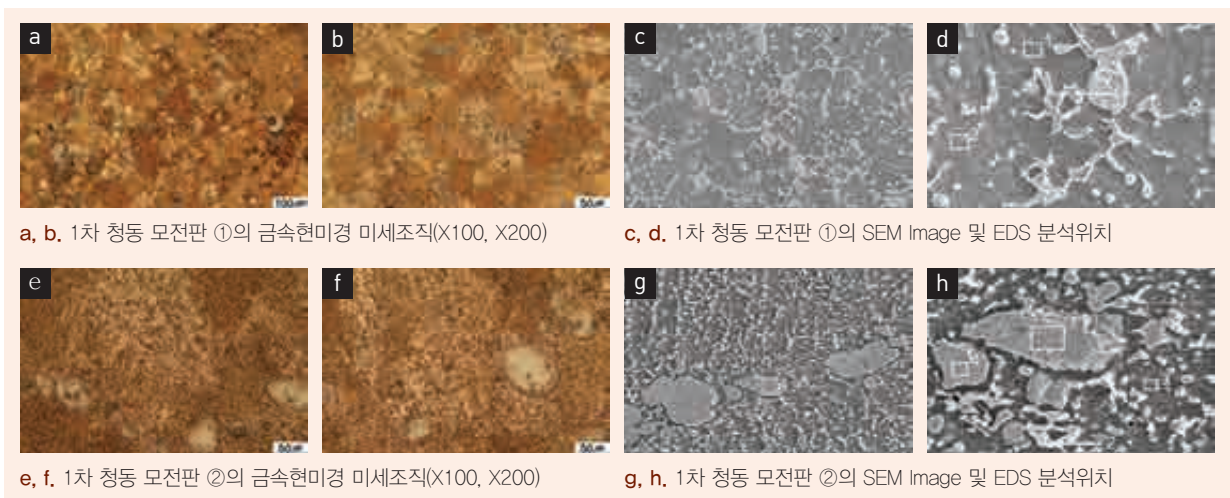
분석 위치	성분(wt.%)						결과
	Cu	Zn	Pb	O	Al	Si	
1	7.87	2.83	84.80	4.51	-	-	구형 납 편석물
2	76.79	20.94	-	0.31	1.96	-	$\alpha$ 상 조직
3	47.23	13.59	34.50	3.80	0.88	-	납 편석물

【 표 15 】 1차 청동 ①의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)				결과
	Cu	Sn	Pb	O	
1	90.40	5.51	4.09	-	$\alpha$ 상 기지조직
2	89.03	10.97	-	-	
3	4.13	-	90.88	5.00	납 편석물
4	63.67	28.84	7.11	0.38	공석상( $\alpha+\delta$ )

【 표 19 】 1차 황동 ③의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)						결과
	Cu	Zn	Pb	O	Al	Si	
1	75.63	21.91	-	0.72	1.74	-	$\alpha$ 상 조직
2	38.81	10.76	48.68	1.18	0.57	-	납 편석물
3	70.00	25.91	-	0.67	3.42	-	$\alpha$ 상 조직



a, b. 1차 청동 모전판 ①의 금속현미경 미세조직(X100, X200)

c, d. 1차 청동 모전판 ①의 SEM Image 및 EDS 분석위치

e, f. 1차 청동 모전판 ②의 금속현미경 미세조직(X100, X200)

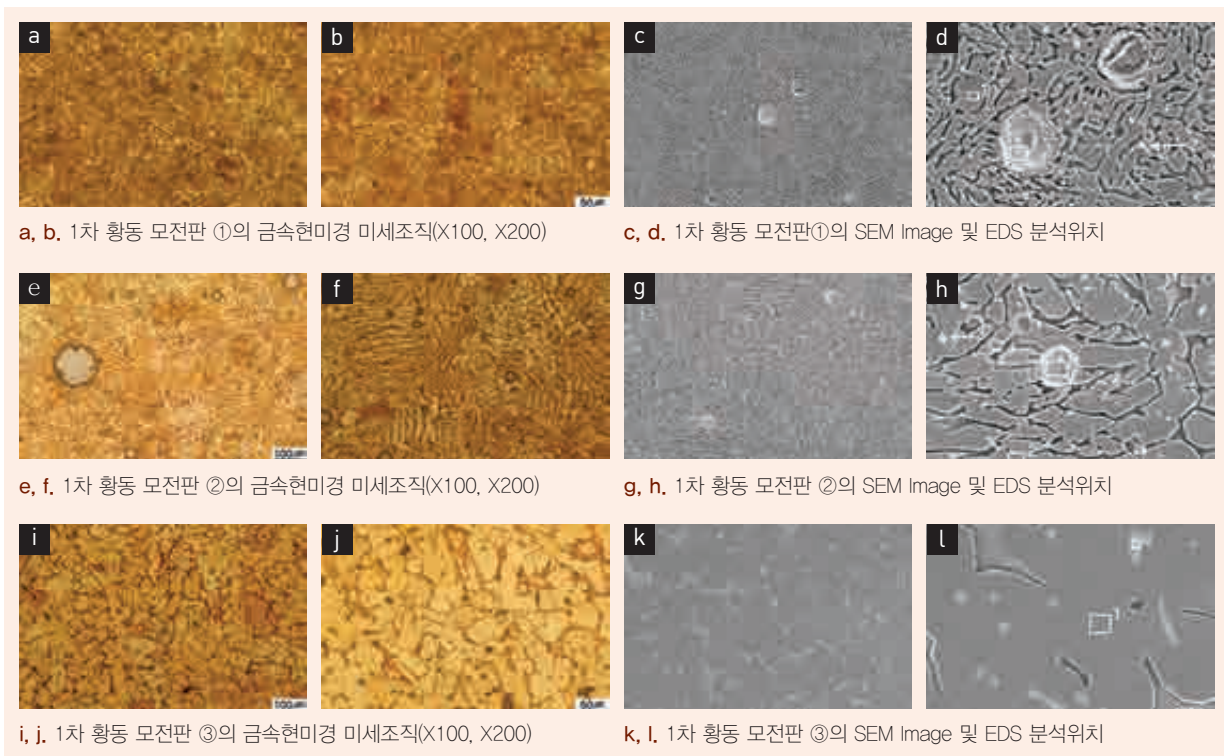
g, h. 1차 청동 모전판 ②의 SEM Image 및 EDS 분석위치

【 사진 15 】 미세조직 및 분석위치

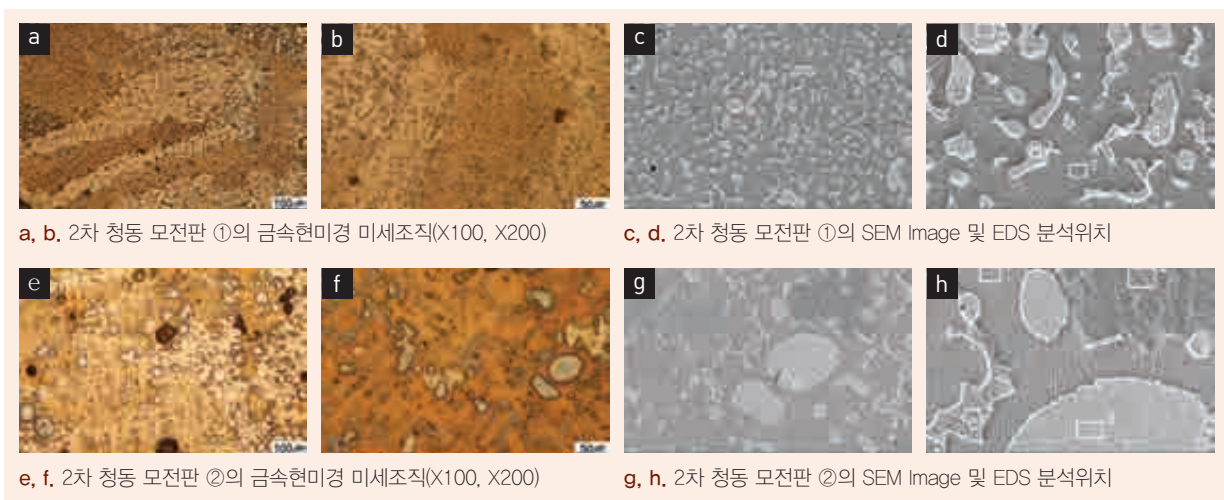
달리 둥근 형태의  $\alpha$ 상 조직으로 검정색의 미세한 편석물이 관찰된다. SEM-EDS 분석을 통해 1과 3지점은  $\alpha$ 상 조직, 2지점은  $\alpha$ 상 조직 내의 납 편석물로서 Cu와 Zn의 함량이 높게 나타나는 이유는  $\alpha$ 상 조직의 영향을 받았기 때문이며, Al은 주물과정에서 함유된 불순물에 의한 것으로 판단된다(사진 16i-l, 표 19).

(3) 2차 주조 모전판

2차 주조된 청동 모전판의 ①시료의 미세조직은 갈색의  $\alpha$ 상이 기지조직으로 미세하며 둥근 편석물과 기다란 형태의 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상이 고르게 분포해 있는 것을 관찰할 수 있다. SEM-EDS 분석을 통해 1지점은  $\alpha$ 상 조직, 2와 3지점은 납 편석물, 4지점은  $\alpha$ 상 조직 내의 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상이다(사진 17a~d, 표 20).



【 사진 16 】 미세조직 및 분석위치



【 사진 17 】 미세조직 및 분석위치





2차 주조된 청동 모전판의 ②시료의 미세조직은 갈색의  $\alpha$ 상 기지조직 내에 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상이 관찰되며, 비교적 크고 둥근 형태의 편석물이 관찰된다. SEM-EDS 분석을 통해 1과 2지점은  $\alpha$ 상 조직, 3지점은 크고 둥근 형태의 납 편석물을 분석한 결과이며, 4지점은  $\alpha$ 상 조직 내의 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상이다(사진 17e-h, 표 21).

2차 주조된 황동 모전판 ①시료의 미세조직은 다른 황동 조직과는 달리 밝은색의 단일 조직으로 이루어져 있으며 부분적으로 밝은 회색의 각진 형태 물질과 갈색의 조직이 확

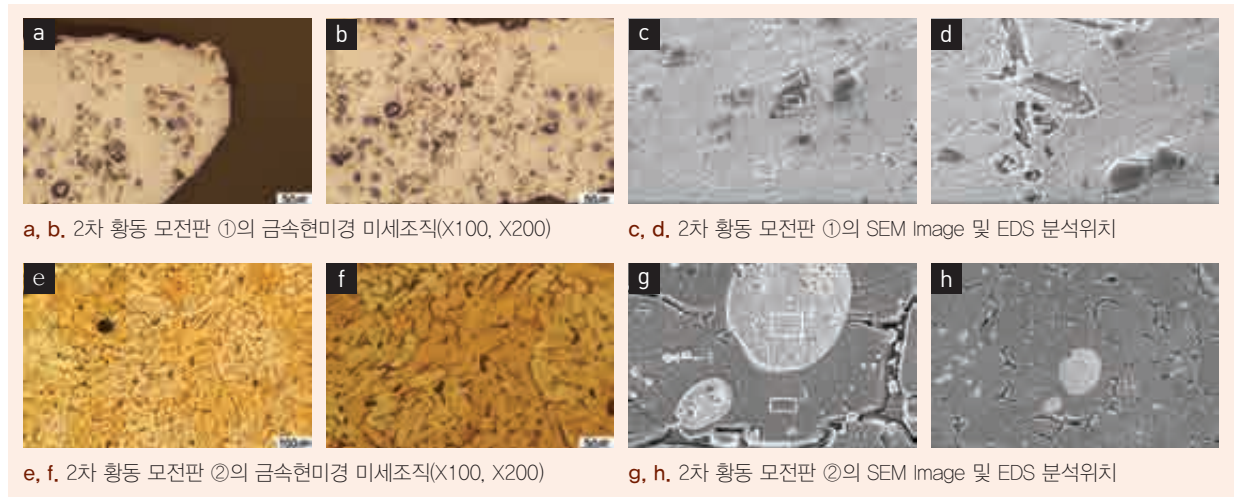
인된다. SEM-EDS 분석결과 1과 4지점은 금속현미경에서 관찰한 밝은 회색의 각진 형태 물질을 분석한 것으로 Si가 각각 92.66%, 84.79%로 나타나 주물과정에서 주물사가 함유된 결과로 판단된다. 2지점은 기지조직을 분석한 것으로 납이 97.83%로 나타나 2차 황동 ①시료는 납임을 확인할 수 있었다. 3지점은 미세조직 중 갈색부분을 관찰한 것으로 구리가 85.24%, 아연이 4.26%로 나타나 미세하지만  $\alpha$ 조직으로 추정된다(사진 18a-d, 표 22).

【 표 20 】 2차 청동 ①의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)				결과
	Cu	Sn	Pb	O	
1	88.28	11.72	-	-	$\alpha$ 상 조직
2	2.63	1.81	93.83	1.74	납 편석물
3	22.61	-	76.78	0.61	
4	73.96	26.04	-	-	공석상( $\alpha+\delta$ )

【 표 21 】 2차 청동 ②의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)				결과
	Cu	Sn	Pb	O	
1	86.54	13.46	-	-	$\alpha$ 상 조직
2	93.67	6.33	-	-	납 편석물
3	0.60	-	96.03	3.37	
4	58.38	25.93	14.89	0.80	공석상( $\alpha+\delta$ )



【 사진 18 】 미세조직 및 분석위치

【 표 22 】 2차 황동 ①의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)					결과
	Cu	Zn	Pb	O	Si	
1	-	-	6.49	0.85	92.66	불순물(Si)
2	-	-	97.83	2.17	-	납 편석물
3	85.24	4.26	9.33	1.18	-	$\alpha$ 상 조직(갈색)
4	-	-	12.61	2.60	84.79	불순물(Si)

【 표 23 】 2차 황동 ②의 EDS 성분분석 결과

분석 위치	성분(wt.%)					결과
	Cu	Zn	Pb	O	Al	
1	6.66	2.35	86.51	4.47	-	납 편석물
2	-	-	98.60	1.40	-	
3	76.02	21.75	-	0.84	1.39	불순물(Al)



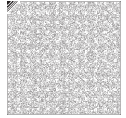
2차 주조된 황동 모전판 ②시료의 미세조직은 갈색의  $\alpha$ 상 조직으로 이루어져 있으며  $\alpha$ 상 조직 내에 검정색의 편석물이 관찰된다. SEM-EDS 분석을 통해 1지점은  $\alpha$ 상 조직 내의 납 편석물, 2지점은 커다란 구형의 납 편석물, 3은 기지조직인  $\alpha$ 상 조직인 것을 확인할 수 있었으며, Al이 관찰되는 것은 주물과정에서 함유된 불순물로 판단된다(사진 18e~h, 표 23).

## 결론

1. 『용재총화』, 『친공개물』, 『The Korean Review』 등 고 문헌에 기록된 합금 종류, 합금비, 주조기술, 거푸집 제작기술, 동전주조기술을 추적하여 상평통보 복원연구의 기초자료로 활용하였으며 이를 근거로 한 주물사구조로 상평통보 모전판(母錢版) 복원 실험에 성공하였다.
2. 상평통보는 270여년의 오랜 기간 동안 유통된 화폐로 『The Korean Review』에 나타난 동전주조기술을 근거하여 부전(父錢) 만들기, 거푸집 만들기(母鑄), 합금·주조, 청동과 황동 쇳물 붓기 등 4단계를 거쳐 상평통보 복원을 진행하였다.
3. 상평통보는 화폐박물관에 소장된 숫자순과 천자문순을 선별하여 복원의 기준으로 삼았다. 상평통보 복원은 본기쇠틀과 본기목틀을 이용한 주물사구조법으로 가지형과 부채형의 모전판을 복원하였다.
4. 상평통보 복원과정은 준비 단계와 1차 주조, 2차 주조 각 단계별로 시료를 채취하였으며, ED-XRF 분석을 통해 청동 모합금은 구리, 주석, 납의 조성비는 최종 합금 손실률을 감안해 납과 주석을 5%씩 추가했던 합금 비율인 구리 : 주석 : 납 = 80 : 11 : 19(110%)와 비교해 구리는 약 3%, 납은 약 7%정도가 손실되고 주석의 양은 크게 변하지 않았다. 황동 모합금은 합금 비율, 구리 : 아연 : 납 = 60 : 35 : 15(110%)와 비교해 구리는 오히려 약 5%가 증가했고, 납은 약 4% 정도가 손실되고 아연은 12%가 감소하여 손실률이 상당히 큰 것을 알 수 있다.
5. 1차, 2차 주물된 청동, 황동 모전판의 EDS 분석결과, 청동 모전판은 구리, 주석, 납 비율이 1차가 약 70 : 12 : 18이며, 2차가 약 72 : 12 : 16으로 1차에 비해 2차에서 납이 낮게 나온 것을 확인할 수 있다. 이는 1차 주전판을 용융시키는 과정에서 납이 기화되면서 성분조성에 변화가 생긴 것으로 보인다. 황동 모전판은 구리, 아연, 납 비율은 1차가 약 74 : 22 : 4이며 2차 황동② 시료가 약 75 : 21 : 4로 1차에 비해 2차에서 아연이 낮게 나온 것을 확인할 수 있다. 아연이 2차 주조과정에서 기화된 결과로 보인다.
6. 모합금과 1차, 2차모전판의 미세조직 관찰 결과, 청동은  $\alpha$ 상 기지 조직에 ( $\alpha+\delta$ ) 공석상과 크고 작은 납 편석물이 관찰된다. 황동의 경우,  $\alpha$ 상 조직 내에 미세하게 납이 편석 되어 있으며, 청동과는 달리 Al, Si 등 주물과정에서 함유된 것으로 보이는 불순물이 관찰된다.

## 사사

본 연구는 한국연구재단 기초연구과제 일반연구자지원사업(보호분야) “금속(청동·황동) 전통 주조, 가공기술 및 응용 기술연구(2013.11~2014.10)”의 지원을 받아 수행되었음.



## 참고문헌

- 『조화지남(造化指南)』
- 강형태 · 김규호, 정광용, 2005, 「고려시대 동전의 주조 원료와 산지(Ⅰ)」 『보존과학회지』 Vol.17
- 국립중앙과학관, 2004, 『겨레과학기술보사연구(XII) - 청동종 주물기술』
- 국립중앙과학관, 2003, 『겨레과학기술보사연구(XI) - 무쇠술 주물기술』
- 노태천, 2000, 『한국고대 아금기술사 연구』, 한국정신문화연구원 한국학대학원 박사학위논문
- 윤용현, 2013, 「청동 유물의 주조와 복원기술 연구」, 고려대학교 박사학위논문
- 윤용현, 2013, 「高麗 · 朝鮮의 鐵 鑄造技術 研究」 『제2차 국제학술대회 동아시아 금속활자 인쇄문화의 창안과 과학성』, 한국학 중앙연구원
- 윤용현, 2012, 「고려 · 조선의 靑銅 鑄造技術 研究」 『제1차 국제학술대회 동아시아 금속활자 인쇄문화의 창안과 과학성』, 한국학 중앙연구원
- 윤용현, 2011, 「우리 고유 금속 주조기술 연구」 『고려 금속활자 조사연구』
- 이규경 저 · 최주 역, 2008, 『오주서종박물고변(五洲書種博物考辨)』, 학연문화사
- 이승철, 2006, 「금속활자 주조기술 규명을 위한 복원 실험」, 경북대 박사학위논문
- 성현 저 · 민족문화추진회 역, 1997, 『옹재총화(慵齋叢話)』, 나라말씀
- 소식(蘇軾), 『격물추담(格物叢談)』
- 송응성 저 · 최주 역, 1997, 『천공개물(天工開物)』, 전통문화사
- 정광용 · 윤용현 · 이현상, 2008, 『문화재복원제작기술』, 서경문화사
- 주공 저 · 이준영 역, 2002, 『주례(周禮)』, 자유문고
- 청주고인쇄박물관, 2012, 『직지 금속활자 복원 결과보고서(2011 고려시대 금속활자 복원사업)』
- 청주고인쇄박물관, 2011, 『고려 금속활자 조사연구』
- 청주고인쇄박물관, 2011, 『조선왕실 주조 금속활자 복원사업 종합보고서』 3권
- 청주고인쇄박물관, 2010, 『조선시대 한글활자와 철활자(2010년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』
- 청주고인쇄박물관, 2009, 『조선후기 한국의 금속활자(2009년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』
- 청주고인쇄박물관, 2008, 『조선전기 한국의 금속활자(2008년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』
- 청주고인쇄박물관, 2007, 『갑인자와 한글활자(2007년 조선왕실 주조 금속활자 복원사업 결과보고서)』
- 최방(崔防), 『외단본초(外丹本草)』
- 한국은행, 2010, 『우리화폐 세계화폐(화폐금융박물관도록)』
- 한영달, 2007, 『韓國의 別錢 열쇄패』, 도서출판 다
- 한영달, 2002, 『韓國의 古錢』, 한국고전연구감정위원회
- Homer B. Hulbert, 1905, 「A Korean mint」, 『The Korean Review』, Vol.5, No.3
- Needham, Joseph, 1974, 『Science and Civilisation in China』, Cambridge University Press, Vol.5, Part 2, Section 33

# Study on the Casting Technology and Restoration of “Sangpyong Tongbo”

Yun Yong-hyun<sup>a</sup> · Cho Nam-chul<sup>b</sup> · Jeong Yeong-sang<sup>a</sup> · Lim In-ho<sup>c</sup>

<sup>a</sup>National Science Museum of Korea

<sup>b</sup>Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University

<sup>c</sup>Cheongju Metal Type Casting succession Hall

## Abstract

This study examined the materials and casting technology (cast, alloy, etc.) used in the manufacturing of bronze artifacts based on old literature such as Yongjae Chonghwa, Cheongong Geamul, and The Korea Review. In the casting experiment for restoration of Sangpyong Tongbo, a bronze and brass mother coin mold was made using the sand mold casting method described in The Korea Review.

The cast was comprised of the original mold plate frame, wooden frame, and molding sand. Depending on the material of the outer frame, which contains the molding sand, the original mold plate frame can be either a wooden frame or steel frame. For the molding sand, light yellow-colored sand of the Jeonbuk Iri region was used.

Next, the composition of the mother alloy used in the restoration of Sangpyong Tongbo was studied. In consideration of the evaporation of tin and lead during actual restoration, the composition of Cu 60%, Zn 30%, and Pb 10% for brass as stated in The Korea Review was modified to Cu 60%, Zn 35%, and Pb 15%. For bronze, based on the composition of Cu 80%, Sn 6%, and Pb 14% used for Haedong Tongbo, the composition was set as Cu 80%, Sn 11%, and Pb 19%.

The mother coin mold was restored by first creating a wooden father coin, making a cast from the wooden frame and basic steel frame, alloying, casting, and making a mother coin.

Component analysis was conducted on the mother alloy of the restored Sangpyong Tongbo, and its primary and secondary casts. The bronze mother alloy saw a 5% increase in copper and 4% reduction in lead. The brass parent alloy had a 5% increase in copper, but a 4% and 12% decrease in lead and tin respectively. Analysis of the primary and secondary mother coin molds using an energy dispersive spectrometer showed that the bronze mother coin mold had a reduced amount of lead, while the brass mother coin mold had less tin. This can be explained by the evaporation of lead and tin in the melting of the primary mother coin mold.

In addition, the  $\alpha$ -phase and lead particles were found in the mother alloy of bronze and brass, as well as the microstructure of the primary and secondary coin molds. Impurities such as Al and Si were observed only in the brass mother coin mold.

**Key Words** Sangpyong Tongbo, The Korea Review, Casting Technology, Restoration Technology, Sand Mold Casting



**MUNHWAJAE** Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 47. No. 4