

金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉의 復原實驗 研究

An Experimental Study for Restoration of Mould Material-Charcoal Powder-for Metal Type Wax Casting Method

曹炯鎭(Cho, Hyung-Jin)*

◁ 목 차 ▷

- | | |
|----------------|--------------|
| 1. 緒論 | 5. 實驗 結果의 分析 |
| 2. 字本과 어미자의 準備 | 6. 結 論 |
| 3. 鑄型의 原材料와 調製 | <참고문헌> |
| 4. 鑄型과 活字의 製作 | |

< 초 록 >

지금까지 전혀 연구된 적이 없는 금속활자 밀랍주조법의 주형재료를 복원하기 위하여 실험실습법으로 추적하였다.

- (1) 어미자의 재료: 밀랍·송지를 첨가한 밀랍·파라핀이 유용하였다.
- (2) 주형의 재료: 주재료는 점성을 가진 흙이면 가능하였다. 보조 재료는 숫가루가 유용하였으며, 이의 첨가 비율은 10%였다.
- (3) 합금 성분 및 주입 양과 방법: 구리 55~70%의 합금이 가능하였다. 금속의 주입 양은 200g 정도의 소량으로, 재래식 방법으로 주입하여도 가능하였다.
- (4) 문자 필획의 다과: 주조의 성공 여부와 구체적인 상관관계는 없었다.
- (5) 주조의 성공률과 수축률: 주조의 성공률은 1.24%였고, 수축률은 95.07%였다.

요어 : 밀랍주조법, 주형재료, 점토, 숫가루

<ABSTRACT>

This study applied empirical approach in order to restore mould material for metal type wax casting method, which has not been investigated until now.

- (1) Matrix Material: wax, pine resin-added wax and paraffin were used.
- (2) Mould Material: any sticky clay was acceptable as main material. Charcoal

* 강남대학교 제 I 대학 인문학부 문헌정보학전공 교수(chohj@kangnam.ac.kr)

접수일: 2005년 5월 17일 최초심사일: 2005년 5월 20일 심사완료일: 2005년 6월 20일

powder was useful as subsidiary material and its mixing portion was 10 percent.

- (3) Component, Quantity, and Method of Alloy: it was possible to make an alloy of copper with 55 through 70 percent. The amount of metal poured was a very small quantity of around 200 grams, and conventional pouring method was also applicable.
- (4) Number of Character Strokes: it was not specifically related to the success of casting method.
- (5) Success and Contraction Rate of Casting: the success rate of casting was 1.24%, and its contraction rate was 95.07%.

Keywords : wax casting method, mould material, clay, charcoal powder

1. 緒論

지금까지 문헌 기록이나 현존 실물을 통하여 알려진 고려시대의 금속활자는 官鑄 활자와 寺鑄 활자가 있다. 관주 활자본으로는 「新印詳定禮文」¹⁾과 「南明泉和尚頌證道歌」²⁾가 있다. 사주 활자본으로는 「白雲和尚抄錄佛祖直指心體要節」³⁾ 현존본과 「慈悲道場懺法集解」⁴⁾ 등이 알려져 있다. 이처럼 고려시대의 관주 활자와 사주 활자는 분명히 제작되어 서적 인출에 사용되었음이 확실하다. 그러나 그 구체적인 제작 방법과 과정은 아직까지 밝혀지지 않고 있다.

지금까지 알려진 금속활자 주조방법은 세 종류가 있다. 밀랍주조법·주물사주조법·점토판단면주조법 등이 그것이다. 고려시대의 활자 주조 방법, 특히 사찰에서 사용한 주조 방법은 밀랍주조법이었을 것으로 보는 것이 지금까지 학계의 통설이다. 아직 발표는 하지 않았지만, 필자의 「직지」에 나타난 자적을 면밀히 분석한 결과도 역시 밀랍주조법에 의하여 고려의 사주 활자가 주조되었을 가능성이 큰 것으로 판단된다.

그러나 밀랍주조법에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 밀랍주조법의 주형 재료에 관한 언급은 “坭塼(도가니)를 만드는 烏土에 粘土를 섞은 재료”⁵⁾가 유일하다. 사실 이는 어려서부터 사찰에서 佛具류의 주조를 보면서 성장하여 훗날 문화재위원회 전문위원이 된 黃天午 님의 금속주조에 관한 비전문가적 안목에 의하여 만들어진 용어인 “오토”가 문화재위원이던 조명기 박사 등을 통하여 구전되던 것이다. 즉 금속주조에 관한 한 비전문적인 식견에 의한 학술적 근거가 없는 기술에 불과하다. 이는 “오토”라는 표제어가 어느 사전에도 정의되어 있지 않으며, 점토 전문가를 통하여도 실체를 확인할 수 없는 사실에서도

1) 李奎報, 「東國李相國後集」, 卷11, 「新印詳定禮文」跋尾, 代晉陽公行.

2) 국립중앙도서관 일산문고 소장 高麗鑄字本重雕版, 「南明泉和尚頌證道歌」 권말수록 中書舍晉陽公崔怡謹誌.

3) 「白雲和尚抄錄佛祖直指心體要節」, 프랑스 국립도서관 소장, MSS 극동부, 109.

4) 南權熙, “興德寺字로 찍은 「慈悲道場懺法集解」의 覆刻本에 관한 考察,” 「문헌정보학보」 제4집(1990. 1), 179-234.

5) 千惠鳳, 「羅麗印刷術의 研究」(서울: 경인문화사, 1980), 182.

알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 완전히 무시하였다. 이밖에 청주시 등이 금속활자장에 의뢰하여 「직지」 관련 활자와 인본을 다수 복원하였으나⁶⁾, 이는 모두 고려시대에 있었을 법한 활자주조 방법으로 복원한 것이 아니었다. 다시 말하면 금속활자장이 사용한 고려 활자를 복원 제작한 방법은 현대적인 방법을 이용한 지극히 편법 중의 편법이었다. 구체적인 예로 주형의 재료는 전통 재료가 아닌 현대적 방법으로 처방된 치과주조용 석고계 매몰재를 사용하였다. 금속용액의 주입 방법은 치과 기공소에서 치과 재료를 주조할 때 사용하는 원심법이나 귀금속을 주조할 때 사용하는 진공법을 사용하였다. 더욱이 2000년 12월 15일 금속공예 전문가⁷⁾를 소개받기 전까지는 이 방법마저도 주조가 불가능했던 것으로, 학계와 관련자들을 속여 왔던 것이다. 이처럼 학계를 속인 결과는 직접 실험해 보지 않은 다른 연구자에 의하여 고려시대의 주조방법인 것처럼 그대로 인용되고 있다.⁸⁾ 이러한 사실은 필자의 1988년 이후 13년에 걸친 추적으로 밝혀졌다. 즉 아직까지 고려인이 사용했을 법한 금속활자의 제작 방법이 전혀 연구되지 않고 있다. 그렇다면 고려인이 사용했을 법한 금속활자의 제작방법으로 석고계 매몰재를 사용한 것이 아니라면, 실제 사용했을 법한 그 무엇을 제시할 수 있어야 밀랍주조법도 복원할 수 있을 것이며 석고계 매몰재에 대한 비판도 설득력이 있을 것이다.

본 연구는 이점에 착안하여 고려시대 금속활자의 제작 방법을 복원하기 위한 첫 과정으로 활자 주조에 사용되는 주형의 재료를 찾기 위하여, 문헌연구를 통하여 확인한 여러 재료 중에서 가장 가능성이 높은 재료를 우선적으로 선택하여 실험실습 방법으로 추적하였다.

연구의 선후 관계 상, 먼저 현존 고려활자본을 분석하여 주조방법을 유추하여야 하고, 이와 별도로 문헌 연구를 통하여 재료를 추적하여야 한다. 현재 이 두 주제의 연구는 결론을 얻을 수 있을 만큼 완성되어 발표만을 기다리고 있다. 순서가 뒤바뀌긴 하였으나, 연구 내용의 비중을 고려하여 본 연구를 먼저 발표하는

6) 박문열, 「금속활자장」 (서울: 화산문화, 2001), 200-205.

7) 박해도, 대흥사 대표.

8) 千惠鳳, 「韓國 書誌學」 (서울: 민음사, 1997), 247-248.

것뿐이다. 따라서 본 연구는 밀랍주조법을 연구한 것이지만, 기실은 「直指」 활자의 주조법을 연구한 것이다.

본 연구는 밀랍주조법의 구체적인 주조 과정을 추적하여 복원하기 위한 첫 과정으로 밀랍주조법의 주형재료를 연구한 것이다. 주형의 재료를 복원하기 위한 실험연구지만 활자가 주조되는 점까지를 확인해야 하므로 금속용액을 부어서 주조된 활자로 인출하는 과정까지를 모두 수행하여야 했다. 본 연구가 완성되면 적어도 진실에 가까운 고려 사주 활자의 밀랍주조법이 밝혀지고, 궁극적으로는 고려활자와 고려활자본도 복원될 수 있을 것으로 기대한다.

문헌 연구를 기초로 하여 터득한 밀랍주조의 구체적인 과정을, 금속활자의 주조를 위하여 각 과정마다 적의 수정하여 적용함으로써, 금속활자를 주조하기 위한 밀랍주조의 방법을 추적하고 그에 의하여 진행된 실험 결과는 다음과 같다.

2. 字本과 어미자의 準備

2.1 字本の 選定

금속활자 주조의 첫 단계는 자본을 준비하는 일이다. 자본은 활자의 문자면이 되므로 문자의 크기와 서체를 고려하여 결정한다. 본 연구에서는 밀랍주조법의 유일한 실물인 「직지」에서 추출하였다. 그 이유는 실험 결과를 「직지」의 자적과 비교하기 위함이다. 또한 실험 결과를 비교하기 위하여 필획이 많은 문자와 적은 문자, 그리고 대자와 소자를 각각 <표 1>과 같이 추출하였다. 추출한 자본은 가지런히 정돈하여 붙이되, 분리할 때 손실될 부분을 미리 고려하여 0.5~1mm정도 간격을 두었다. 이를 복사의 방법으로 다량 준비하여 나란히 정리하였다.

<표 1> 추출 자본

자본의 크기와 서체	· 「직지」에서 자본을 추출하였으므로 문자면의 크기와 서체는 「직지」를 따른다.
자본의 필획 수와 추출 위치	· 대자① 10획 이내의 “見(제34엽하 3-14)” · 대자② 11~15획의 “動(제34엽하 6-14)” · 대자③ 16획 이상의 “轉(제34엽하 6-15)” · 소자① 10획 이내의 “化(제34엽하 5-10)” · 소자② 11획 이상의 “善(제34엽하 7-18)”

2.2 어미자의 彫刻 要領

다음에는 어미자의 높이와 조각 요령을 정한다.

1) 어미자의 높이

어미자의 높이는 주조 후에 곧 수축률이 반영된 활자의 높이로 나타난다. 따라서 언고자 하는 활자의 높이를 고려하여 어미자를 만들 때 반영할 수 있도록 어미자를 만들기 전에 미리 결정하여야 한다. 각개 활자의 높이는 수동식 조판 인쇄에서 문자면의 높낮이로 나타나서, 문자면의 집합인 인출면의 균일도에 영향을 주므로 대단히 중요하다. 따라서 높낮이는 편차가 크면 같이 사용하기에 매우 불편하여 작업능률을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 동종 활자의 여부를 판단하는 기준이 된다. 대체로 조임식 조판법을 사용하는 활자는 높이가 높고, 부착식 조판법의 활자는 낮다.

필자의 「직지」 분석에서 「직지」 활자는 부착식 방법으로 조판하였던 것으로 추론되었다. 따라서 조임식 활자가 독립적으로 직립할 수 있어야 할 만큼 최소한의 높이를 유지하여야 하는 것과는 달리, 「직지」 활자의 높이는 그다지 높지 않았을 것으로 판단된다. 조임식과 부착식 활자 높이의 최소치와 최대치는 필자의 실험 결과 대체로 5mm에서 구분되었다. 따라서 이번 실험에서는 어미자 조각 등 여러 과정에서 나타나는 불편을 덜기 위하여 어미자의 높이를 부착식 활자의 최대치에 가까운 4mm로 하였다.

2) 어미자의 조각 요령

어미자 조각 요령의 핵심은 산의 각도와 깊이이다. 주물사주조법은 어미자를 추출하여 재사용 하지만, 밀랍주조법은 밀랍을 주형 안에서 녹여내는 것이므로 어미자를 그대로 추출하여 재사용 하지 못한다. 따라서 어미자에 문자 필획의 산을 만들기 위하여 조각하는 각도는 수직이거나 수직을 초과하여도 무방하다. 대체로 조각하기 편리한 범위 내에서 85~90° 정도를 유지하였다.

산의 깊이는 가능한 한 깊을수록 인출하기에도 편리하고 활자의 수명을 연장할 수 있다. 이번 실험에서는 활자의 높이를 고려하여 1~1.5mm 정도로 하였다.

기타의 조각 요령으로는 문자가 문자면에 가득 차도록 조각하였다. 이상을 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 어미자의 조각 요령

어미자의 높이	· 높이는 4mm로 한다.
어미자의 조각 요령	· 산의 각도는 85~90° 정도를 유지한다. · 산의 깊이는 1~1.5mm 정도로 한다. · 문자가 문자면에 가득 차도록 조각한다.

2.3 어미자의 材料

다음은 어미자의 재료를 찾는데, 고려시대에 사용했을 법한 재료 중에서 선택한다.

1) 밀랍

가장 기본적인 재료다. 밀랍에는 백랍·황랍·청랍이 있는데 황랍이 가장 보편적으로 사용된다. 황랍은 토종 꿀벌의 집을 채취하여 꿀을 여과하고 난 찌꺼기를 정제하여 얻는다. 이 밖에 향유고래의 머리 부분 동공에 채워있는 기름이나 누에고치로부터 얻기도 하고 식물성 말랍도 있다. 본 실험에서 어미자 제작

에 사용되는 모든 재료는 회수하지 못하고 녹거나 타서 소진되므로 충분한 양의 밀랍이 필요하였다.

2) 우지

밀랍의 양이 부족할 경우 보조 재료로 우지를 첨가하여 사용한다. 우지는 소의 기름을 정제한 것이다. 본 실험에서는 밀랍 60%에 우지를 40%의 비율로 혼합하여 사용하였다. 양이나 돼지의 지방은 강도가 약하여 보조 재료로 사용할 수 없다.

3) 송지

송진이다. 밀랍의 강도와 점도를 높이기 위하여 밀랍에 첨가하여 사용한다. 송지의 단점인 가소성을 높이기 위하여 식물유를 약간 첨가한다. 본 실험에서는 밀랍 65%·송지 30%·콩기름 5%의 비율로 혼합하여 사용하였다.

4) 식물유

밀랍의 유연성을 높이기 위하여 식물유를 밀랍에 첨가하여 사용한다. 식물유에는 콩기름이나 들기름을 주로 사용하는데, 본 실험에서는 100% 콩기름을 사용하였다. 혼합 비율은 밀랍 80%와 콩기름 20%로 하였다.

5) 파라핀(paraffin)

밀랍과의 실험결과를 비교하기 위하여 현대 석유화학의 부산물인 공업용 파라핀을 어미자의 재료로 선택하였다. 실험 결과가 밀랍 또는 혼합물이 첨가된 밀랍과 같이 나타난다면 향후의 밀랍주조에서는 밀랍 대신 파라핀을 손쉽게 구하여 사용할 수 있기 때문이다.

6) 왁스

이는 공업용 파라핀에 여러 첨가물을 과학적으로 혼합하여 용도에 맞게 인

공적으로 조제한 것으로 세공용 파라핀이라고도 한다. 성질이 단단하여 섬세한 문양을 조각하기에 유리하다. 활자의 문자 필획도 매우 섬세하므로 단단한 재료가 필요하다. 이는 파라핀과 같이 실험 결과를 밀랍과 비교할 수 있으나, 본 실험에서는 배제하였다.

7) 목재

고려시대 당시 목재를 밀랍주조법 어미자의 재료로 사용하였을 가능성은 희박하다. 그러나 이론상 가연성 물질이면 어미자의 재료로 가능하기는 하다. 실험 결과를 밀랍과 비교함으로써 훗날 복원 작업에서 지나친 편법으로 악용되는 것을 미연에 방지하기 위하여 필요하기는 하나, 본 실험에서는 배제하였다.

8) 미술용 밀랍

이는 천연 밀랍과 공업용 파라핀을 혼합하여, 미술용 목적에 맞도록 조제한 밀랍이다. 이의 성질은 금속 활자를 주조하기 위한 어미자의 재료로 사용할 수 있을 정도의 조건은 갖추고 있는 것으로 보인다. 그러나 정확한 구성 성분과 구성 비율을 파악할 수 없어서 본 실험에서는 이를 배제하였다.

따라서 본 실험에서는 밀랍 계열 4종류 · 공업용 파라핀 1종류를 사용하였다. 이상을 정리하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 어미자의 성분별 함유율

1	밀랍 100%
2	밀랍 60% + 우지 40%
3	밀랍 65% + 송지 30% + 콩기름 5%
4	밀랍 80% + 콩기름 20%
5	파라핀 100%
6	왁스 100%(실험에서 제외)
7	목재(실험에서 제외)

2.4 어미자의 彫刻

재료가 준비되면 자본을 이용하여 어미자를 조각한다. 어미자를 편리하게 조각하기 위하여 어미자의 재료를 우선 판으로 제작한다.

1) 어미자판 제작

자본을 붙여서 문자를 조각하기 위하여 우선 어미자의 재료를 판으로 제작하였다. 어미자판의 폭은 문자의 폭과 같거나 0.5mm 정도 여유 있게 하고, 두께는 활자의 높이인 4mm로 하였다. 각각의 어미자 재료마다 어미자판을 여유 있게 만들어서 수시로 사용할 수 있도록 하였다.

2) 자본 붙이기

자본을 한 줄씩 올려서 제작된 어미자판에 뒤집어서 올려놓았다. 금속 막대를 달구어서 자본의 뒷면을 조심스레 훑어줌으로써 어미자판의 표면을 순간적으로 녹이는 방법으로 자본을 붙였다.

3) 어미자 조각

비교 분석을 위하여 앞에서 서술한 5종의 재료 중, 밀랍·파라핀은 5개의 문자를 각각 5자씩, 우지·송지·식물유를 각각 첨가한 밀랍은 5개의 문자를 각각 8자씩 조각하여 모두 170자를 조각하였다.

조각은 어미자판을 책상 면에 놓고 조각한 후 1자씩 떼어 내기도 하고, 1자씩 먼저 떼어낸 후 조각하기도 하되, 조각 요령에 따라서 충실하게 조각하였다. 필획을 다 조각한 후 여백 부분과 측면을 정리하였다. 활자의 동체는 「직지」의 분석에서 반듯한 사면체가 아니라 불규칙한 형태를 보이고 있으므로 측면을 정리할 때 사면체를 유지할 필요는 없다. 측면 정리의 결과는 작업의 효율 상대체로 둥근 사각형 또는 타원 형태를 보이고, 필획의 형태를 따라서 울퉁불퉁하지는 않았다. 따라서 어미자의 조각 기술에서 나타난 일반적인 현상에만 근

거하면, 밀랍주조법에 의하여 주조된 금속활자의 인본에는 상하 문자의 필획이 중복되는 현상은 없을 것으로 추측된다.

재료의 성질에 따라서 조각의 난이도가 좌우되는데 단단할수록 조각하기에 용이하다. 밀랍 재료는 대체로 나무보다 연할 뿐만 아니라 끈끈하여 조각 과편이 손과 조각도에 쉽게 붙기도 하고 실수로 조각도가 빗나가기도 쉬우므로 세심한 주의가 필요하다.

4) 실리콘 주형 제작

이렇게 하여 조각된 170개의 어미자로 실험에 직접 사용될 어미자의 대량생산을 위한 실리콘 주형을 제작하였다. 실리콘 주형은 목재로 주형틀을 만들고 주형틀 안에 양면 테이프로 조각된 어미자를 문자면이 위를 향하도록 나란히 얹힌 다음, 그 위에 실리콘을 주형틀 안에 가득 차도록 부어서 제작하였다. 24시간 정도 경과하면 실리콘이 굳으므로 주형틀에서 꺼내어 쓸 수 있으나, 안전을 위하여 2~3일 경과하여 완전히 굳은 후에 꺼내어 사용하였다.

5) 어미자 주조

실험에 직접 사용한 어미자는 실리콘 주형에서 부어낸 어미자로 하였다. 주형의 어미자 틀에 해당 밀랍 재료를 녹여서 여유 있게 부어 채운다. 여유 있게 부어 채우는 이유는 식으면서 약간씩 수축되기 때문이다. 수축률은 왁스가 가장 작고 밀랍계의 경우도 크게 문제되지 않을 정도지만 파라핀은 제법 크게 나타났다. 재료가 식기를 기다렸다가 완전히 굳기 전에 넘친 부분을 깎아낸 후, 완전히 식으면 어미자를 꺼내어 사용할 수 있도록 하였다.

실리콘 주형으로 어미자를 부어내어 사용한 이유는 향후 실시될 다양한 조건의 실험에서 나타날 결과를 비교하기 위하여는 완벽하게 동일한 어미자를 사용하여야 하기 때문이었다. 부차적으로는 실험에 사용될 다량의 어미자를 신속하게 생산하면서, 그에 따른 비용을 절감하기 위함이었다.

6) 어미자 날인

조각과 주조 두 방법의 어미자가 완성되면 흑색 유성 스탬프로 자적(<표 9> 참조)을 날인하여 실험 후의 금속활자와 비교할 수 있도록 하였다.

3. 鑄型의 原材料와 調製

3.1 鑄型의 原材料

주형의 원재료는 크게 주재료와 보조 재료로 구분된다. 주재료는 자연 점토와 인공 점토의 두 가지로 구분하여 준비하였다. 고려 시대에 생활 주변에서 쉽게 구하여 사용했을 가능성이 있는 자연 점토는 물론, 청자 등을 구워서 사용하면서 터득한 인공 점토도 역시 밀랍주조법의 주형 재료로 사용되었을 가능성을 고려하여 모두 실험 대상으로 포함하였다. 오늘날의 인공 점토는 재료 공학적 방법으로 도자기 등을 빚기 위하여 목적에 맞도록 인공적으로 배합하여 조제한 것이다. 본 실험은 어떤 성질이나 기능의 점토가 활자 주조에 적합한가를 밝히기 위한 것이므로, 성분이 대체로 확인된 점토를 사용하였다.

보조 재료는 주형 재료의 주요 구성 성분은 아니지만 주형 재료의 부족한 성질을 갖추기 위하여 반드시 첨가해야 하는 중요한 재료다. 이는 점토 내에서 균일하게 분포하여 공극을 형성함으로써 금속 용액을 주입할 때 발생하는 가스를 흡입하여 주입을 가능하게 하는 기능을 가지고 있어야 한다. 이 기능이 있어야 보조 재료가 될 수 있다. 본 실험에서는 炭粉(숯가루)을 사용하였다.

ㄱ) 황토

생활 주변에서 쉽게 구할 수 있는 자연 점토다. 자연 점토는 야산 기슭이나 계곡 등지에서 쉽게 구할 수 있는 것으로 황토나 점토 등이 있는데, 본 실험에서는 이천시 백사면 야산의 붉은 황토를 선택하였다.

황토를 자연 상태에서 채취하여 대형 불순물은 손으로 제거한다. 다음에는 대형 수조에서 물에 풀어서 나뭇잎 등의 부유물을 제거한다. 불순물이 거의 제거되면 황토가 풀어져 있는 황토물을 다른 깨끗한 수조에 받아서 침전시킨다. 처음 황토를 풀던 수조에는 돌과 굵은 모래 등이 남는데 이는 버린다. 깨끗한 수조에 침전된 황토는 침전 상태에 따라서 윗부분의 맑은 물을 제거하여 수분의 함량을 점차 낮춘다. 수분이 거의 제거되면 점성이 강한 황토 진흙이 되는데, 이렇게 되기까지는 약 7일 정도 소요되었다.

황토를 선택한 이유는 ① 우리의 생활 주변에서 쉽게 구할 수 있는 천연 재료며, ② 사질 성분과 점토질 성분을 모두 다분히 함유하고 있으며, ③ 순 점토질 재료는 인공 점토로 가능하기 때문이었다.

1.) 백토

백자토라고도 한다. 백자를 굽는데 사용하기 위하여 인공으로 조제한 점토다. 소성 후에는 백색으로 변하지만, 소성 전에는 흑색 내지는 회색을 띠고 있다. 흑색이 진하다는 것은 점토 속에 유기물질이 다량으로 함유되어 있음을 의미한다. 점토 내에 불순물은 거의 없다.

2.) 청토

청자토라고도 한다. 청자를 굽기 위한 인공 점토다. 소성 전에는 연한 갈색을 띠고 있다. 점토 내에 불순물은 거의 없다.

3.) 내화토

여러 종류의 사질 점토를 혼합하여 조제한 잡토 성격의 인공 점토다. 이에는 화강암이 부식되어 된 마사토·풍암이 풍화된 점토·규석이 많이 포함된 점토 등이 있다. 이는 소성 후에 단단히 굳어지는 성질을 가지고 있는데, 알루미나 또는 규석 등 유기물의 결정체가 많이 포함되어 있기 때문이다.

ㄱ) 옹기토

옹기 그릇을 굽는데 사용하는 인공 점토다. 소성 전에는 회갈색·붉은색 또는 황색 등을 띠고 있다. 본 실험에서는 실험 규모의 방대함으로 인하여 실험 대상에서 제외하였다.

ㄴ) 산청토

산청 지역에서 생산되는 사질이 다분한 인공 점토다. 점토를 구성하고 있는 입자가 여타의 점토보다 굵은 편이다. 본 실험에서는 내화도에 유사한 성질과 실험 규모의 방대함으로 인하여 실험 대상에서 제외하였다.

ㄷ) 炭粉(숯가루)

이에는 목탄·백탄·활성탄 등이 있는데, 본 실험에서는 입수하기 쉬운 활성탄으로 200MESH를 사용하였다. 활성탄은 매우 몽근 입자로 구성되어 있어서 점토에 균일하게 섞이기 쉽다. 또한 고열에 가열된 물질이므로 고온 안정성이 높다. 즉 고온에서도 수축되지 않으므로 점토를 소성할 때 수축률을 낮출 수 있다.

3.2 鑄型 材料의 調製

이상의 주재료인 점토와 보조 재료를 혼합하여 주형의 재료를 조제한다. 이 주형의 재료는 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과 주조용 석고계 매몰재를 대신하여 고려시대에 사용했을 전통 재료를 찾아야 하는 과제로 본 연구의 핵심 부분이다. 따라서 다양한 주재료와 보조 재료를 개발하여 실험해야 했으며 실험의 종류도 다양하고 많았다. 이를 위하여 앞에서 서술한 주재료와 보조 재료를 여유 있게 준비하여야 한다.

주형의 재료가 갖추어야 할 조건은 ① 우수한 통기성, ② 소성 시 불균열성, ③ 우수한 부착성, ④ 수축의 균일성 등이 있다. 이러한 조건을 갖춘 주형 재료를 찾기 위하여 본 실험에서는 주재료 4종과 보조 재료 1종을 각각 혼합하여

조건이 다른 4종의 주형 재료를 조제하였다.

가) 황토 계열 주형 재료의 조제

① 수비된 황토를 보조 재료와의 혼합 비율을 맞출 수 있도록 중량을 정확하게 측정하여 반죽 통에 담았다. ② 물을 조금씩 가하면서 풀어서 진한 반죽이 되도록 하였다. 실험의 정확도를 위하여 측정된 중량의 재료는 조그마한 덩어리까지 모두 곱게 풀어서 반죽하여야 한다. 이를 위하여 반죽하는 과정에서 2~3회의 여과를 거쳤다. ③ 보조 재료를 혼합 비율에 따라서 중량을 정확하게 측정하여 반죽된 황토에 혼합하였다. 본 실험에서는 활성탄 10%를 혼합하여 조제하였다. 10%는 필자의 실험적 감각으로 예상하여 설정한 최소치다. 점토가 활성탄의 입자를 엉겨 붙도록 하는 범위 내에서 가능한 한 많이 첨가할 수 있는 비율이 최대치인데, 최대치에 가까울수록 주형의 재료가 갖추어야 할 조건을 충족하여 금속용액의 주입 성공률이 높다. 따라서 본 실험에서는 그 최소치를 추출하는 것이 더 의미가 크므로 예상되는 최소치로 실험하였다.

나) 백토 계열 주형 재료의 조제

황토 계열 주형 재료의 조제와 같은 방법으로 조제하되 황토 대신 백토를 사용하였다. ① 백토를 보조 재료와의 혼합 비율을 맞출 수 있도록 중량을 정확하게 측정하여 반죽 통에 담았다. ② 물을 조금씩 가하면서 풀어서 진한 반죽이 되도록 하였다. 이 역시 실험의 정확도를 위하여 측정된 중량의 재료는 조그마한 덩어리까지 모두 풀어서 곱게 반죽하여야 한다. ③ 보조 재료를 혼합 비율에 따라서 중량을 정확하게 측정하여 반죽된 백토에 혼합하였다. 보조 재료의 혼합 비율은 황토의 경우와 동일하게 하여 조제하였다.

다) 청토 계열 주형 재료의 조제

앞의 황토나 백토 계열의 주형 재료를 조제하는 것과 같은 방법으로 조제하였다.

ㄷ) 내화토 계열 주형 재료의 조제

앞의 경우와 같은 방법으로 조제하였다.

이상의 주형 재료를 조제할 때 주의할 점은 다음과 같다.

(1) 재료의 모든 분말이 덩어리가 없도록 곱게 풀어서 균일하게 혼합하여야 한다. 이를 위하여 2~3회의 여과 과정이 필요하였다.

(2) 반죽을 위하여 가하는 물의 양, 즉 반죽의 농도가 적합하여야 한다. 반죽의 농도는 다음의 주형 제작 과정에서 반죽한 주형 재료를 주형틀 안에 충전할 때 흐름이 끊어지지 않고 주욱 흘러 내려가 기포가 생기지 않을 정도면 적합하다. 또는 반죽 내의 기포가 반죽을 약간 흔들여 주었을 때 표면 위로 올라와서 제거될 수 있을 정도의 농도면 적합하다. 또 어미자의 미세한 필획 사이 등에도 채워질 수 있는 농도면 적합하다. 본 실험에서 주형 재료에 대한 물의 비율은 40.0%~50.68%였다. 실제의 수분 함유율은 자연 건조된 주재료에 포함된 수분을 감안하면 이보다 약간 높을 것으로 추측된다. 기타의 보조 재료 실험에서 나타난 수분 함유율은 활성탄과 흑연의 경우는 수분 함유율이 다소 낮고, 탄소와 종이 섬유를 첨가한 경우는 반죽이 걸죽하여 수분 함유율이 약간 높았다.

물의 양이 부족하면 반죽이 진하여, 주형틀 안에 충전할 때 재료 내에 기포가 쉽게 형성되고 또 이를 제거하기는 어려워서 실패할 확률이 높다. 물의 양이 과하면 반죽이 묽어서 건조를 위한 소요시간이 길어지며, 다음 과정인 주형의 제작에서 건조될 때 수축률이 커서 어미자가 주형 재료 밖으로 노출되기도 하고, 또는 어미자의 노출을 방지하기 위하여 주형 제작 시 주형 재료를 많이 채워야 하는 불편이 따른다. 주형 재료의 수축률은 물의 함유율과 정비례한다.

<표 4> 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율

주재료(%) 보조재료(%)	(㉠) 황토		(㉡) 백토		(㉢) 청토		(㉣) 내화토	
	(㉠) 활성탄	90 10	54.55	90 10	60.0	90 10	49.32	90 10
	수분	45.45	수분	40.0	수분	50.68	수분	45.45

이상 주재료의 점도는 높은 순서로 백토와 청토·내화토·황토 순이었다. 사질 성분은 백토와 청토에는 없으며 내화토와 황토 순으로 강하게 포함되어 있다. 사질 입자의 크기는 내화토에 함유된 것이 광물학적으로 왕모래 또는 자갈에 해당하는 1~2mm 정도며, 황토에 함유된 것은 1mm 이내였다. 내화토가 황토보다 함유한 사질의 입자는 크면서도 점도가 높은 이유는 점토 성분의 점성이 강하기 때문으로 보인다.

4. 鑄型和 活字의 製作

4.1 鑄型の 製作

주형 재료가 조제되면 어미자를 매몰하는 방법으로 주형을 제작한다. 주형의 제작은 어미자군의 성형으로 시작한다.

1) 어미자군의 성형

주형을 제작하기 위하여 주형 재료로 매몰하기 전에 실험용 어미자를 모아서 어미자군으로 성형하여 금속 용액을 주입할 수 있도록 하였다. 이는 고려시대에 활자를 하나씩 주조했을 리도 없지만, 여러 개의 활자를 한번에 주조함으로써 작업능률을 높이는 효과도 있다. 이 방법은 기본적으로 오늘날의 귀금속 주조나 기공소의 치과용 재료 주조 방법과 그 원리가 대동소이하다.

우선 금속 용액의 주입구가 될 고무 받침과 금속 용액의 주입로가 될 밀랍 주봉, 그리고 어미자의 자리에 용액을 일일이 주입시킬 밀랍 가지봉 및 어미자로 어미자군을 성형하였다. 고무 받침은 주형틀과 아귀가 꼭 맞아야 하는데 본 실험에서는 내경 60mm 짜리를 사용하였다. 밀랍 주봉은 직경 9mm 짜리를 55mm 정도의 길이로 재단하여 사용하였다. 밀랍 가지봉은 길이 10mm를 사용하되 굵기는 직경 2mm의 균일한 것과 양단의 직경이 3mm와 1.5mm로 깔대기

모양인 것의 2종류를 사용하였다. 갈대기 모양의 가지봉은 굵은 부분이 밀랍 주봉에 연결되고 가는 부분은 어미자에 연결되도록 하였다. 이는 금속 용액을 주입할 때 주입 역량을 증가시키기 위하여 설계한 것이다.

어미자군 성형의 구체적인 방법은 고무 받침의 중앙에 밀랍 주봉을 끼워서 세운다. 어미자와 밀랍 가지봉을 적당히 가열한 인두로 가볍게 녹여 붙인다. 이것을 다시 밀랍 주봉에 45°각도로 비스듬히 녹여 붙인다. 이 때 어미자의 문자면이 3개는 위쪽으로, 2개는 아래쪽(금속 용액을 주입할 때는 주형을 뒤집어서 주입하므로 반대 방향이 되어 아래쪽과 위쪽이 된다.)으로 각각 향하게 하여 실험 결과를 비교할 수 있도록 하였다. 이와 같은 방법으로 하나의 주형에 5개의 문자를 5개씩 25개의 어미자를 붙여서 어미자군을 완성하였다.

이 25개의 어미자로 완성된 어미자군을 43개를 준비하였다. 즉 어미자의 재료 5종 × 주형의 주재료 4종 × 주형의 보조 재료 1종 × 금속 재료 3종(밀랍 · 파라핀), 일부는 1종(우지 · 송지 · 식물유) × 주조 활자의 수량(금속 주입량) 25개 1종 × 실험 문자 수량 5자 1종 = 36개를 준비하였다. 그리고 본 실험에 들어가기 전에 주형 재료의 성질이나 금속 주입 상태 등을 미리 가늠하기 위하여 기계적인 방법 등에 사용할 예비측정용 7개를 추가로 준비하여 도합 43개를 준비하였다.

2) 주형들의 손질

어미자군이 완성되면 여기에 주형들을 씌우고 주형 재료를 충전하기 위하여 주형들을 손질하여야 한다. 주형들은 직경 60mm, 내경 56mm, 높이 120mm의 금속으로 된 원통에 직경 9mm의 구멍을 6줄로 4개씩 24개를 측면에 뚫어서 제작하였다.

이 주형들의 측면에 낸 구멍은 주형 재료의 건조를 촉진하기 위한 것이다. 그러나 이 구멍이 주형 재료를 충전할 때에는 재료가 흘러나오는 틈이 되므로 재료의 유출을 막고 재료 내의 수분을 탈취하기 위하여 흡수성이 좋은 두터운 광목을 알맞은 크기로 잘라서 미리 감아서 사용할 수 있도록 준비하여야 한다.

본 실험에서는 광목을 90mm × 800mm로 재단하여 약 3회전 정도 감았다. 이때 주의할 점은 주형 재료를 다져도 위나 아래로 새지 않을 만큼 광목을 꼭 조이도록 감아야 한다. 감은 후에는 테이프를 이용하여 풀어지지 않도록 고정시켰다.

주형의 재료는 물을 가하여 반죽하였으므로, 건조 시에 그 물의 양만큼 수축된다. 따라서 수축될 비율을 미리 측정하여 건조 후에도 주형틀 내의 어미자가 노출되지 않도록 주형의 재료를 충분히 주형틀 안에 부어 넣어야 했다.

주형 재료를 충분히 부어 넣으려면 주형틀의 높이만으로는 부족하므로 주형틀의 상단에 얇은 플라스틱 피대를 감아서 높이를 임의로 높여줌으로써 주형 재료를 충분히 부어 넣을 수 있도록 준비하였다. 본 실험에서는 130mm 폭의 피대를 사용하여 120mm 정도를 높였다. 이 플라스틱 피대는 접착 테이프를 이용하여 주형의 재료가 새지 않도록 틈새없이 견고하게 붙여야 했다.

이러한 과정을 거쳐서 주형틀의 준비가 완료된다.

3) 주형 재료의 충전

(1) 주형틀 씌우기: 고무 받침 위에 성형된 어미자군이 다치지 않도록 주의하면서 손질이 끝난 주형틀을 조심스럽게 씌웠다. 씌우는 과정에서 어미자와 주형틀이 접촉하면서 어미자가 떨어지는 경우가 많으므로 숙련된 기술로 주의하면서 씌워야 한다.

(2) 주형 재료의 충전: 주형틀을 씌운 다음 미리 조제해 둔 주형 재료를 조그마한 그릇에 적당한 양을 나누어 담아서 주형틀 안에 충전하였다. 이 때 주의할 점은 황토와 내화토 계열의 경우 사질 성분이 쉽게 침전되므로 충전 직전에 잘 혼합해 주어야 한다. 또한 주형 재료 내에 혼합되어 있는 보조 재료가 물과 잘 혼합되지 않는 성질일 경우, 반죽한 후 시간이 흐를수록 무거운 성분이 침전으로 가라앉아서 위아래의 농도가 다를 수 있으므로 충전하기 직전에 잘 혼합할 필요가 있다.

충진 요령은 주형 재료의 내부에 기포가 형성되어서는 안되므로, 주형틀의

내벽을 타고 재료가 흘러내려 갈 수 있도록 주형틀을 약간 기울여서 조심스럽게 충전하되, 가능한 한 주형 재료의 흐름이 끊어지지 않도록 한번에 주육 부어 넣어서 밑에서부터 차올라 오도록 해야 한다. 만약 농도가 진하여 스스로 차올라 오지 못하면 주형틀을 약간씩 흔들어서 재료가 기포 없이 잘 채워지도록 한다. 그래도 차올라 오지 못하면 충진을 중단하고 주형틀을 흔들어서 아래에서부터 채우고 다시 주형 내벽에 계속 충전하여 어미자가 완전히 묻히도록 한다. 어미자가 다 묻히기 전에 진한 반죽을 계속 부어 넣으면 어미자의 펼획 사이 또는 어미자의 사이에 반죽이 미처 채워지지 못하여 공간으로 남아서 기포로 형성될 수 있으므로 주의가 필요하다. 이 충전 작업은 모두 2일이 소요되었다.

주형 재료를 주형틀 내에 충전하면 어미자의 재료·주형 재료의 종류 등을 구분하기가 어려워지므로 각각의 재료에 고유 번호를 주어서 주형틀의 외벽에 기록해 두어야 한다.

4) 주형 재료의 건조

(1) 수분 제거: 주형 재료의 충진이 끝나면 통풍이 잘되는 실내에서 자연 건조시켰다. 양달에서 건조시키면 주형 재료가 균열될 수 있으므로 피해야 한다. 건조를 촉진하기 위하여는 실내 온도를 약간 높여주면 된다. 간혹 인공적으로 바람을 불어넣기도 하는데, 이 방법은 한 쪽 방향으로만 바람을 불어넣어서는 안되며 여러 방향으로 골고루 바람을 불어넣어야 주형 재료가 고르게 건조되어 균열을 방지할 수 있다. 본 실험에서 실내 기온은 22~28℃를, 습도는 40~75%를 유지하였다. 또 건조를 촉진하기 위하여 양 방향에서 순차적으로 선풍기 바람을 불어넣기도 하였다.

주형 재료를 충전한 후 건조용 선반에 나열해 두면 1시간 정도 경과하면서부터 주형 재료의 고휘 성분이 침전되고 동시에 윗부분에 맑은 물이 형성되면서 틈새로 흘러나오기 시작하였다. 황토와 청토 계열의 재료는 고휘 성분이 침전한 후 윗부분에 맑은 물이 형성되어 이를 주사기로 뽑아냄으로써 건조를 촉진하였다.

(2) 기포 제거: 3~4일이 경과하면 윗부분의 흥건한 물이 빠지고 고형 성분이 표면으로 노출되면서 상당히 수축되었다. 이즈음에는 주형 재료가 상당히 수축되기는 하였으나 아직은 유동성이 남아 있다. 이 때 예상하지 못했던 현상으로 주형 재료 내부에는 5~10mm 정도의 제법 큰 기포가 형성되어 있음을 지속적인 관찰 결과 발견하게 되었는데, 이는 그 동안 건조 수축되면서 주형 재료가 어미자나 밀랍봉 등에 걸려서 차분히 가라앉지 못하거나 주형 재료가 가라앉는 속도보다 더 빠른 속도로 수분이 빠진 결과로 보인다. 이처럼 기포는 형성되고 재료의 유동성은 아직 남아있을 때 각각의 주형틀마다 약 20여 회씩 가볍게 다져서 기포를 제거하고 주형 재료를 가라앉혔다. 기포가 어느 정도 제거되면 주형 재료가 주형틀 아래부분의 틈새로 빠져나온다. 기포의 정확한 크기는 주형 재료의 내부에 형성되어 있으므로 측정할 수는 없었지만 육안으로 관찰할 때 대체로 직경5mm 정도 이상의 큰 기포는 조그만 '핑'소리와 함께 터지면서 주형 재료가 채워졌다. 하나의 주형틀에 대체로 3~6개의 크고 작은 기포가 형성되어 있었으며 이를 제거한 결과 주형 재료의 높이가 최대 18mm까지 가라앉기도 하였다. 기포를 제거했을 경우 이로 인한 수축률은 <표 5>와 같다.

<표 5> 주형 재료 내부의 기포 제거로 인한 수축률

주형 재료	황토 계열	백토 계열	청토 계열	내화토 계열
수축률 (%)	11.62~13.63	6.20~9.02	10.54~13.65	13.05~13.07

기포를 제거한 후 주형 재료가 낮게 가라앉으면서 그 속의 어미자가 주형 재료의 막을 쓴 채 노출되기도 하는데, 이 경우에는 주형 재료를 더 충전하여야 했다. 주형 재료가 완전히 건조되었을 경우 1mm 정도의 두께만 유지하면, 어미자의 측면은 주형틀이 감싸고 있어서 금속용액을 주입하여도 주형이 파열되는 등의 문제는 발생하지 않는다. 그러나 윗면(금속 용액을 주입할 때는 주형을 뒤집어서 주입하므로 아랫면이 된다.)은 다른 보완 장치가 없으므로 금속용액 주입 시의 가스 압력 등을 이겨내기 위하여는 주형 재료가 5mm 이상의 두께를 유지하여 어미자를 충분히 감싸고 있어야 한다.

(3) 광목 제거: 다시 3~4일이 경과하여 주형 재료가 균열될 정도로 건조되면 주형틀을 감싼 광목을 벗겨냈다. 이 때 광목의 표면은 거의 마른 상태라 하여도 안쪽은 축축하게 젖어있는 상태이므로 건조를 촉진하기 위하여는 이를 벗겨내야 한다. 광목을 벗겨내면 주형 재료 내의 기포를 앞에서 제거했지만 주형틀 측면의 구멍을 통하여 주형 재료에 적지 않은 기공이 남아 있음을 볼 수 있다.

(4) 피대 제거: 다시 하루 정도 경과하여 주형틀 측면에 난 구멍 부분의 주형 재료가 건조되면 비닐 피대를 제거하였다. 이 비닐 피대는 주형 재료가 건조되면서 수축되어 높이가 주형틀의 높이보다 낮아지면 광목을 벗겨낸 여부와 관계없이 먼저 벗겨낼 수 있다.

(5) 고무받침 제거: 다시 5~6일 정도 경과하여 주형 재료가 거의 건조되면, 본래의 자기 색깔을 나타내기 시작하였다. 이처럼 수분이 완전히 탈취되어 건조된 것이 확인되면 고무 받침을 제거하여 완전 건조를 촉진하였다. 이 때 주형 재료가 비록 건조되었다고는 하나 본래의 응결력이 강한 상태는 아니므로 주형 재료가 부서지지 않도록 조심스럽게 벗겨야 한다. 자칫 지나치게 힘을 가하면 균열된 부분이 떨어진다. 특히 황토 계열의 경우는 점력이 약하여 더 잘 건조된 후에 벗겨야 부서질 확률이 낮았다.

고무 받침을 벗길 때 황토 계열의 재료는 작은 파편이나 가루 형태로 약간씩 부서져 나왔다. 이는 건조 문제라기보다는 재료 자체의 점성이 약하여 나타난 것으로 보인다. 백토 계열의 재료는 10~50mm의 제법 큰 파편으로 부서지기도 하였다.

만약 주형 재료가 완전히 건조되기 전에 고무 받침을 벗기면, 주형 재료가 어미자를 감싸고 있는 힘이 고무받침이 어미자를 물고 있는 힘보다 약하여 어미자가 주형 재료로부터 떨어져 나오기도 하고, 고무 받침과 어미자군에 주형 재료가 붙어서 주형틀에서 빠져나와 깨질 수 있다. 또한 다양한 형태로 균열된 조각이 주형틀로부터 깨져서 나온다. 따라서 주형 재료가 완전히 건조된 후 고무 받침을 벗기는 것은 성공률을 높이는 중요한 요소임을 알 수 있다.

(6) 완전 건조: 통풍이 잘되는 곳에서 충분히 건조시켜서 주형 재료에 남아

있는 수분을 완전히 제거하였다. 그래야만 금속 용액의 주입이 용이하고 주조의 성공률도 높일 수 있다. 주형 재료가 완전히 건조되면 수직 방향으로 많이 수축되지만 수평 방향으로도 수축 현상이 나타났다. 그 결과 주형 재료가 완전한 상태라 할지라도 주형틀에서 통째로 빠져나올 수도 있으므로 주형틀 안에 잘 남아있을 수 있도록 주의할 필요가 있었다.

본 실험에서는 건조를 위한 시간 단축을 위하여 주사기·선풍기 등 외에도 여러 가지 방법을 사용하였다. 주형 재료는 수분이 아래로 내려오면서 윗부분부터 건조되므로 고무 받침을 빨리 벗겨주는 것이 아랫부분을 빨리 건조시킬 수 있다. 그러나 주형 재료의 표면이 건조된 상태에서 고무 받침을 벗긴 결과, 주형 재료의 내부는 충분히 건조되지 않은 까닭에 여러 개가 부서지는 결과를 초래하였다. 이러한 사실은 주형틀 안의 주형 재료가 거의 전부 부서졌는데도 측면의 구멍이 있는 부분에는 잘 건조된 재료가 붙어 있는 현상을 통하여 알 수 있었다.

이렇게 하여 흥건한 수분이 빠지고 주형 재료가 아직 유동성을 가지고 있을 때 기포를 제거하고 나면, 유동성이 없어진 후의 수분이 있던 자리가 건조되면서 공극으로 형성되어 보조 재료와 함께 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능을 하는 것으로 보인다.

본 실험에서는 건조를 촉진하기 위하여 충분히 건조되지 않은 상태에서 고무 받침을 벗긴 결과, 무수한 균열과 그로 인한 파편 탈락으로 인하여 금속용액은 주입해 보지도 못하고 실패한 경우가 있었다. 이 같은 경우가 <표 6> 과 같이 모두 6개나 되었다. 이점에서 주형 재료를 충분히 건조시킨 후 고무 받침을 제거하여야 했다.

실험을 시도한 43개의 주형에서 진도에 따라 나타난 상황은 <표 6>과 같다.

<표 6> 주형의 조건별 실험 상황표

주재료 보조재료	(가) 황토					(나) 백토					(다) 청토					(라) 내화토			
	1A	1B	1C			1A	1B	1C			1A	1B	1C			1A	1B	1C	
(나) 활성탄	주	주	주	건	소	주	주	주	소	주	주	주	주	진공	주	주	주	건	건
	2A	3A	4A			2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A
	건	주	소			소	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주
	5A	5B	5C			5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B
	소	주	소			주	주	소	건	주	주	건	주	주	주	주	주	주	

표설명 1: “1”은 밀랍, “2”는 우지, “3”은 송지, “4”는 식물유, “5”는 파라핀을 이용한 어미자를 의미한다. “2”·“3”·“4”는 실험 규모의 방대함으로 인하여 “A”만을 실험하였다.

표설명 2: “A”는 구리 70% + 주석 30%의 청동1을, “B”는 구리 70% + 아연 30%의 황동을, “C”는 구리 55% + 주석 33% + 납 11% + 아연 1%의 청동2를 의미한다.

표설명 3: “건”은 주형 재료의 건조 과정에서 균열 등으로 파손되어 밀랍의 용출 단계에까지도 진행하지 못한 채 실패한 경우로 모두 6개다.

표설명 4: “소”는 주형 재료를 완전히 건조시킨 후 금속 용액을 주입하기 전에 밀랍을 용출시키기 위하여 가열로에서 가열까지는 하였으나, 가열로 내에서 소성되는 과정에서 수축되면서 파손되어 금속 용액을 주입해보지 못한 채 실패한 경우로 모두 7개다.

표설명 5: “주”는 금속 용액을 주입한 경우로 모두 29개다.

표설명 6: “진공”은 본격적인 실험에 앞서서 주형 재료의 성질을 파악하기 위하여 기계적인 방법, 즉 진공법으로 금속 용액을 주입한 경우다. 이는 1개에 불과하지만 본 실험의 통계에서 삭제하였다.

표설명 7: 이렇게 하여 전체 실험의 조건은 36종이며, 실험을 위한 주형의 수량은 중복된 것을 포함하여 42개다.

4.2 金屬 鎔液의 鑄入

주형이 완전히 건조되면 금속 용액을 주입한다. 금속 용액의 주입은 금속 재료를 준비하여 합금 작업으로 시작한다.

1) 합금 재료의 준비

합금 재료는 기본적으로 구리(Cu) · 주석(Sn) · 아연(Zn) · 납(Pb)의 4종류를 사용하였다. 이는 동합금의 기본 재료다.

(A) 청동1

구리와 주석을 청동의 기본 합금 비율인 7:3으로 충분히 끓여서 혼합된 상태를 바둑 형태로 식혀서 준비하였다. 구리와 주석을 처음 끓여서 혼합된 상태에서 바로 주형에 주입하지 않고 식혔다가 다시 녹여서 사용하여야 한다. 그 이유는 처음 끓여서 혼합하였을 때에는 구리와 주석의 용액이 고루 혼합되지 않고 동일한 성분끼리 뭉쳐 있으려는 성질이 있다. 이러한 성질이 식으면서 약해져서 굳을 때는 고루 섞이면서 굳으므로 완전한 합금을 얻을 수 있기 때문이다.

(B) 황동

구리와 아연 역시 같은 방법으로 7:3의 비율로 혼합하여 바둑 형태로 만들어 두었다. 아연은 제련이나 합금을 위하여 가열하면 진한 흑황색의 유독성 가스가 강하게 발생되면서 산화되는 특징을 가지고 있다. 따라서 시중에 합금 된 상태의 황동이 있을 경우에는 이를 구입하여 합금 비율만 맞추는 가공을 하면 편리하다.

(C) 청동2

고려시대의 활자로 전해지는 고려 “복”자의 합금 성분과 비율⁹⁾을 참고하여 비슷한 비율로 합금을 준비하였다. 고려 “복”자는 구리 50.9% · 아연 0.7% · 주석 28.5% · 납 10.2% · 철 2.2%의 합금 비율을 보이고 있다. 이 중에서 철 2.2%는 당시 제련 기술의 수준으로 미루어 충분히 제련해 내지 못한 불순물로 간주하여 본 실험에서는 무시하였다. 아연은 0.7%에 불과하지만 산화성이 강하여 부식이 빠른 특성을 가지고 있으므로 이를 감안하면 “복”자를 만들 당시에 포함된 아연의 비율은 더 높았을 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에서는 다소

9) 손보기, 「한국의 고활자」 (서울: 보진재, 1981), 68.

높은 1%를첨가하였다. 그리하여 구리 55%·주석 33%·납 11%·아연 1%의 비율로 혼합하여 바둑 형태로 준비하였다.

합금을 하면서 주의할 점은 처음 원광을 녹인 도가니 안에서는 각 금속 성분이 충분히 혼합되지 않고 같은 성분끼리 뭉치려는 성질이 있다. 그러므로 바둑 형태로 식히기 위하여 도가니에서 바가지로 뜰 때 금속 용액을 충분히 저어서 떠야 한다. 특히 아연은 용액 상태에서 구리보다 아래에 가라앉는 특성이 있다.

2) 밀랍의 용출과 주형의 가열

금속 용액을 주형틀에 주입하기 위하여는 주형틀 안에 묻혀있는 어미자군의 밀랍을 완벽하게 제거하여야 한다. 주형 재료가 완전히 건조된 주형을 주입구가 아래로 향하도록 하여 가열로에 차곡차곡 쌓아 넣고 가열하여 밀랍 성분을 제거하였다. 가열로¹⁰⁾의 크기는 가로 세로 높이가 각각 290mm × 310mm × 270mm로 40개의 주형을 2층으로 쌓아 넣었다.

처음에는 빠른 속도로 450℃까지 가열하여 밀랍 성분이 녹으면서 주형 재료가 적게 흡수되도록 하였다. 이 온도까지는 빠른 속도로 가열하여도 주형 재료인 점토가 소성되면서 균열되지 않는다. 대체로 30분 정도면 이 온도에 도달한다. 이 때 밀랍 성분의 대부분은 연소되어 연기화된 독가스로 까맣게 폼어져 나왔다. 그러나 일부는 주형 재료에 스며들어 남아있게 마련이다. 따라서 이를 완전히 제거하기 위하여 단계적으로 온도를 700℃까지 높였다. 이를 위하여 약 2시간 정도 소요되었다. 이 온도에서는 주형을 급히 가열하면 주형 재료가 균열될 수 있으므로 완만한 속도로 가열로의 온도를 높여가면서 가열하여야 한다. 700℃에 도달하면, 즉 2시간 30분 정도가 경과하면 밀랍 성분이 거의 제거되어 금속 용액의 주입이 가능하다. 그러나 밀랍 성분을 완벽하게 제거하여야 주입이 잘 되어 성공률을 높일 수 있고 주물, 즉 금속 활자도 깨끗이 주조될 수 있다. 이를 위하여 700℃ 상태를 1시간 정도 유지함으로써 밀랍 성분을 완전히 기화시켜서 제거하였다. 이러한 방법으로 완만히 그리고 충분히 가열하여 주형 재료 내부의 밀랍 성분을 완전히 제거하여 금속 용액을 주입할 수 있는 상태에 이르기까지 약 4~5

10) 가열로가 빈 상태 또는 주형을 1개 넣었을 경우 700℃까지 상승하기 위하여 2시간 정도 소요되며, 가열로에 반 정도 주형을 채우면 5시간 30분 정도 소요된다.

시간 정도 소요되었다. 이렇게 하여 준비가 끝나면 금속 용액을 주입한다.

실제 실험에서는 가열 과정에서 주형 재료가 파손되어 실패한 경우가 7개에 이른다. 구체적인 내용은 앞의 <표 6>과 같다. 이 때 주의할 점은 주형 외벽에 표시해 둔 고유 번호가 고온으로 가열하여도 지워지지 않도록 불연재인 백묵 등으로 미리 잘 표시하여야 혼란을 방지할 수 있다.

본 실험 결과 밀랍 성분은 500℃에서 이미 가스가 나오지 않아서 완전히 기화된 현상이 나타났다. 즉 가스 배출이 비교적 빨리 이루어졌다. 이는 어미자군을 용출할 때 점토를 이용한 주형 재료가 밀랍 성분을 흡수하는 양이 적다는 것을 의미한다. 이같은 주형 재료의 성능을 오늘날 현대 과학으로 조제한 주조용 석고와 비교하면 <표 7>과 같다. 이 양자의 주조 적성을 비교하면 본 실험에서 개발한 점토 계열의 재료가 주조용 석고보다 훨씬 우수함을 알 수 있다.

<표 7> 점토 계열의 주형 재료와 주조용 석고의 성능

성능	점토 계열 주형 재료	주조용 석고
450℃까지 상승하기 위한 소요시간	30분	1시간
450℃를 유지해야 하는 시간	불필요	20~30분
450℃에서 500℃까지 상승하기 위한 소요시간	1시간	1시간
500℃를 유지해야 하는 시간	불필요	30분
500℃에서 700℃까지 상승하기 위한 소요시간	2시간	2시간
700℃를 유지해야 하는 시간	30분~1시간	2시간
700℃까지 상승시켜서 금속 용액 주입을 위한 총 소요시간	4~5시간 정도	7시간 정도
밀랍이 연소되기 시작하기까지 소요 시간	30분	2시간 30분
주형 재료에 흡수된 밀랍을 기화(제거)시키기 위한 온도	500℃. 700℃까지 상승시키는 이유는 혹시 남아 있을 가스를 완전히 제거하기 위함.	700℃. 이 이하에서는 가스가 제거되지 않음.
금속 용액 주입 가능한 주형의 온도와 방법	500℃에서 재래식 방법.	700℃. 500℃에서는 기계식(원심법·진공법 등)으로만 가능.
상승 가능 온도와 기타 특징	1800℃ 정도까지 기능을 계속 유지하며, 식혔다가 재가열하여도 기능을 유지함.	750℃ 이상을 초과하거나, 750℃에서 3시간 이상 경과하면 기능이 약화되어 금속 용액을 주입하면 석고가 무너지며, 식혔다가 재가열하면 기능을 상실함.

3) 금속 용액의 주입

주형을 충분히 가열하였으면 금속 용액을 주입한다. 금속 용액을 주입하기 위하여 주형을 가열하고 있는 사이에, 미리 바둑 형태로 합금하여 둔 것을 녹여서 주입할 준비를 하였다. 필요한 금속의 양을 동시에 녹이려면 2~3시간이면 충분하지만, 에너지의 낭비를 막기 위하여 작은 도가니에 2~3개의 주형에 주입할 필요량만 소량씩 녹이면서 주입하기도 한다.

① 주형도 충분히 가열되어 있고 금속 용액도 충분히 끓었으면 ② 가열로에서 주형을 하나씩 꺼내어 뒤집어서 주입대 위에 놓았다. ③ 그 즉시 작은 도가니를 집어서 주형의 주입구에 금속 용액을 주입하였다. ④ 주입 후 1~2분이 경과하면 금속 용액이 식어서 굳기 시작하였다. ⑤ 굳으면 주입대에서 내려 놓았다. ⑥ 모든 주형에 금속 용액의 주입이 끝나면, 주형이 식을 때까지 기다렸다가 다음 작업을 진행하였다. 이와 같은 방법으로 청동·황동 등을 차례로 모두 주입하였다. 본 실험에서는 모두 29개의 주형에 금속 용액을 주입하였는데, 어느 주형에 어느 금속을 주입하였는가는 앞의 <표 6>과 같다.

본 실험은 점토 계열의 주형 재료를 이용한 활자의 주조가 가능한 지를 최초로 시도한 것이므로, 본 실험에서 개발한 점토 계열 주형 재료의 특징을 미리 정확하게 파악할 수 없는 상태였다. 즉 금속 용액을 주입하면 이를 잘 받아들일지 거부할지, 거부하면 용액이 튀는 등 어떠한 반응이 나타날지 알 수 없었다. 따라서 우선 금속 용액의 취급에 따르는 위험도 배제하고 주형 재료의 특징과 성능을 파악하기 위하여 예비 측정 실험이 필요하였다. 이를 위한 표본으로 밀랍 + 청토 + 활성탄으로 구성된 주형을 선택하여 진공법을 이용하여 구리 55% + 주석 33% + 납 11% + 아연 1%의 청동2를 주입하여 보았다. 식은 후 주형을 깨뜨려서 주입 상태를 확인한 결과 금속 용액을 무리 없이 잘 받아들여서, 본 실험에서 개발한 점토 계열의 재료가 주형 재료로서의 조건을 갖추어 가스 흡수 등에 별다른 문제가 없음을 알 수 있었다. 또한 금속 용액 200g 이내의 소량도 재래식 방법으로 무리 없이 잘 주입되었다. 이로써 소량에 의한 자체의 역량으로도 주입에 문제가 없고, 재래식 방법에 의한 직접 주입에도 문제

가 없음을 동시에 확인할 수가 있었다.

주형 1개의 예비 측정 실험을 통하여 주형 재료에 문제가 없음이 확인되자, 예정했던 기타의 예비 측정 실험을 모두 생략할 수 있었다. 즉 금속 용액을 주입하는 방법으로 재래식은 금속 용액을 담은 도가니를 주형의 주입구에 직접 대고 주입한다. 그런데 주입하고자 하는 금속 용액의 양이 적을 경우, 주형 내부의 어미자가 있던 빈 공간에 금속 용액이 들어갈 수 있도록 밀어주는 힘이 약하여 속속들이 주입되지 않을 수 있다. 주조는 금속 용액 주입 시의 압력을 일정한 수준 이상으로 유지할 필요가 있기 때문에 주입할 금속의 양이 많을수록 금속 용액 주입 시 밀어주는 압력이 커서 주입이 잘되고 성공률도 높게 마련이다. 이에 대비하여 소량의 금속 용액을 주입하여도 충분히 주입될 수 있도록 주입 역량을 높이기 위한 방법으로 위치 에너지를 이용하여 약 1.5m 정도의 스텐관을 이용하여 1m 높이에서 주입하는 실험도 준비하였으나 필요 없음이 확인된 것이다.

또한 본 실험에서 균열이 심한 주형은 금속 용액 주입 시 혹시 발생할지 모르는 만일의 위험을 미연에 방지하기 위하여 미리 석고로 균열 부분을 충전하여 실험을 진행하였다. 그 결과 금속 용액이 많이 새는 현상을 방지할 수 있었고, 석고의 도움으로 활자가 완성된 경우도 적지 않았다. 그러나 주조 결과를 분석할 때에는 이같은 활자를 모두 실패로 간주하였다.

본 실험에서 금속 용액을 충분히 끓였을 때의 온도는 1300℃ 정도였고, 주입 시점의 온도는 1036~1281℃ 정도였다. 금속 용액을 주입할 시점에 온도를 약간 낮추는 이유는 주형에 주입한 후에도 금속 용액이 주형 안에서 계속 끓고 있으면 가스 발생량이 증가하여 금속 표면에 기포가 생기는 등으로 실패할 가능성이 크기 때문이다. 주형의 온도는 금속 주조 전문가의 경험에 의하면 200~300℃, 400~500℃, 700℃ 등 다양한 경우가 있는데, 본 실험에서의 주형의 온도는 550~630℃ 정도였다. 평온으로 식혀서 주입하는 실험은 생략하였다. 하나의 주형에 주입한 금속의 양은 대체로 180g 정도인데, 주형 재료의 균열 등으로 새어나올 경우는 다소 많아서 200g 정도를 초과하는 경우도 있었고 주형 재료가 파손되어 주입량이 절반에 미치지 못하는 경우도 있었다.

이와 같은 과정을 통하여 금속 용액의 주입을 완료하면 주형 내의 어미자 공간에 활자군이 완성되었다.

4.3 活字의 抽出과 字跡의 印出

1) 활자의 추출

① 금속 용액의 주입이 끝나면 냉각되기를 기다렸다가 주형을 깨뜨려서 활자군을 꺼냈다. 청동의 경우는 주형을 깨뜨리는 과정에서 밀랍 가지봉과 활자가 한자씩 부러지듯이 쉽게 떨어져서 군으로 노출되지 않는 경우가 대부분이었다. 황동의 경우는 활자군 뿐만 아니라 균열된 주형 재료의 틈새로 흘러나간 금속까지 붙어 있어서 활자군으로 노출되는 경우가 대부분이었다. ② 활자군의 외부에 붙어있는 주형 재료를 솔로 털어냈다. ③ 활자군이 노출되면 하나씩 떼어내어 표면의 주형 재료 가루를 깨끗이 털어냈다. ④ 필획 사이에 끼어 있는 주형 재료는 잘 털어지지 않으므로 물 속에서 솔로 깨끗이 씻어낸 후 ⑤ 물기를 닦아냈다. ⑥ 활자의 표면에 불필요한 넉더리가 있으면 하나씩 곱게 줄로 슬어냈다. ⑦ 활자의 문자면을 사포로 가볍게 갈아주어서 활자를 완성하였다.

본 실험에서는 예상하지 못했던 다양한 현상들이 나타났다. 주형 재료 충전 후 건조 과정에서 주형 재료 사이에 발생한 기포를 제거하기 위하여 주형 재료를 다질 때, 다지는 충격으로 인하여 밀랍 가지봉이 주형 재료 내에서 부러져서 아래쪽으로 물리는 현상이 나타났다. 이 경우 밀랍 주봉과 가지봉이 분리되어 금속 용액이 어미자 자리로 흘러 들어갈 길이 단절되었으므로 활자가 만들어지지 않아야 당연하다. 그러나 주형 재료의 균열된 비정상적인 틈이 금속 용액이 흘러 들어갈 수 있는 길이 되어 본의 아니게 활자가 만들어진 경우도 있었다. 이는 활자가 2~3개씩 겹쳐져서 구조되어 있는 모습에서 알 수 있었다. 특히 황동의 경우는 활자 외에 주형 재료의 균열된 틈 사이로 흘러 들어가서 군은 금속이 구조된 활자를 감싸고 있는 경우도 있어서 완성된 활자를 떼어내기가 어려운 경우도 있었다.

2) 자적의 인출

(1) 성공률 측정: 활자가 완성되면 이를 인출하여 자적을 확인함으로써 성공 여부를 판단하고 성공률을 측정하였다. 대부분의 실패한 활자는 인출할 필요도 없이 확인이 가능하였다. 본 실험을 통하여 성공적으로 구조해낸 각 조건별 활자의 수량은 <표 8>과 같다.

<표 8> 성공 활자의 수량(각 공간의 실험 조건은 <표 6>과 같다.)

주재료 보조재료	(ㄱ) 황토			(ㄴ) 백토			(ㄷ) 청토			(ㄹ) 내화토			소계	총계
	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
(ㄱ) 황성탄		1			0	0	0	0	0	0	0	0	4	9
		2		0	1		1	0		0	0	0	1	
										0	0	0	4	
소계	2	5		0	1	0	1	0	0	0	0	0	9	
총계	7(77.78%)			1(11.11%)			1(11.11%)			0(0%)			(1.24%)	

본 실험에서 성공한 금속활자의 수량은 9개다. 이를 위하여 사용한 어미자의 수량은 주형 42개×어미자 25개 = 1,050개다. 따라서 금속활자 구조의 전체적인 성공률은 $9 \div 1,050 = 0.86\%$ 로 나타났다. 그러나 금속 용액을 주입한 29개에 대한 성공률은 $9 \div (29 \times 25 = 725) = 1.24\%$ 로 나타났다. 각각의 조건별 성공 점유율을 보면, 주재료의 경우 황토 계열이 $7 \div 9 = 77.78\%$ 로 가장 높았고, 그 다음이 백토와 청토가 공히 11.11%, 그리고 내화토는 0%로 나타났다. 금속의 종류에 대하여는 균등한 조건에서의 평가를 위하여 밀랍과 파라핀의 경우를 비교하면 황동의 성공 점유율이 $5 \div 9 = 55.56\%$ 로 가장 높았고, 청동1과 청동2는 각각 $3 \div 9 = 33.33\%$ 와 0%로 나타났다. 어미자의 재료는 밀랍과 파라핀이 동일하여 $4 \div 9 = 44.44\%$ 로 나타났다. 나머지 3종류는 합하여 $1 \div 9 = 11.11\%$ 를 차지하였다.

이들 활자의 자적을 어미자의 자적과 비교하면 <표 9>와 같다. 어미자의 자적은 각 문자마다 5종씩을 제작하여 실험하였으나, 여기에서는 각각 2종씩만을 예시하였다. 예시된 성공 사례의 자적을 자세히 살펴보면 필획이 끊어지는 현상과 문자 주위의 잡먹 현상을 발견할 수 있다. 이는 필자의 「직지」 분석에서도 발견할 수 있었다. 아직은 성급한 판단이기는 하나, 이점에서 본 실험은 「직지」 활자의 구조 방법이었을 가능성이 높음을 암시하고 있다.

<표 9> 금속활자와 어미자의 자적

금속 활자		밀랍 계열 어미자					
실험조건	성공사례	재료	조각				
			주조				
1 ㄱ A	見	밀랍	見	動	轉	善	化
1 ㄱ A	轉		見	動	轉	善	化
1 ㄱ B	動	우지 첨가	見	動	轉	善	化
1 ㄱ B	轉		見	動	轉	善	化
3 ㄱ A	化	송지 첨가	見	動	轉	善	化
5 ㄱ B	轉		見	動	轉	善	化
5 ㄱ B	動	식물유 첨가	見	動	轉	善	化
5 ㄴ B	善		見	動	轉	善	化
5 ㄷ A	見	파라핀	見	動	轉	善	化
			見	動	轉	善	化

<표 9>에서 예시하고 있는 성공한 금속활자의 문자별 수량과 분포율을 정리하면 <표 10>과 같다.

<표 10> 성공한 금속활자의 문자별 수량과 분포율

문자	見	動	轉	善	化	합계
수량(개)	2	2	3	1	1	9
분포율(%)	22.22	22.22	33.33	11.11	11.11	100

문자 필획의 다과에 의한 주조 성공률은 대체로 대·소자 모두 대동소이하였다. 필획이 복잡한 轉의 경우는 높게 나타났으며, 善과 化의 경우는 필획 밀도의 현격한 차이에 비하여 성공한 수량은 동일하였다. 대소 문자를 통틀어 밀도를 보면 化·見·動·轉·善 순으로 높아진다. 그러나 성공한 활자의 수량은 차례대로 1·2·2·3·1개로 필획의 다과와 주조의 성공률을 상관지을 수 없을 만큼 분포율이 각각 나타났다. 이는 필획의 다과는 주조의 성공률과 밀접한 관계에 있지 않음을 의미한다. 즉 문자 필획의 다과는 주조의 성공률에 그다지 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

(2) 수축률 측정: 성공한 활자와 실패한 활자일지라도 자적의 크기를 측정할 수 있는 경우를 추출하여 조각 또는 주조한 어미자의 자적과 크기를 비교함으로써 수축률을 측정하였다. 실제 측정은 측정 상에 나타나는 오차를 최소화하기 위하여 자적을 200%로 확대하여 실측하였다. 실측의 대상과 수축률은 <표 11>과 같다. 이에서 보듯이 점토 계열의 주형 재료를 이용하여 주조한 금속활자는 밀랍 계열의 어미자보다 평균 95.07%로 수축되는 것으로 나타났다.

<표 11> 실측 대상 문자의 크기(200%)와 수축률

표본	금속활자(mm)	어미자(조각)(mm)	수축률(%)	평균치(%)
1ㄱB動	19.8	21.1	93.84	95.07
5ㄱB動	20.8	21.6	96.30	

5. 實驗 結果의 分析

5.1 實驗 設定의 條件

본 연구는 고려시대에 사용했을 법한 금속활자 밀랍주조법의 범주와 세부 과정을 각 과정별로 다양하게 실험 조건을 설정함으로써 추적하였다. 이를 위하여 주조 과정상의 각 단계 별로 설정한 실험 조건은 <표 12>와 같다.

<표 12> 실험 설정의 조건

1	어미자의 재료	① 밀랍 100%, ② 밀랍 60% + 우지 40%, ③ 밀랍 65% + 송지 30% + 콩기름 5%, ④ 밀랍 80% + 콩기름 20%, ⑤ 파라핀 100% 등 5종
2	주형의 주재료	① 황토, ② 백토, ③ 청토, ④ 내화토 등 4종
3	주형의 보조 재료	① 숯가루(활성탄) 1종
4	금속의 재료	① 청동1(구리 70% + 주석 30%), ② 황동(구리 70% + 아연 30%), ③ 청동2(구리 55% + 주석 33% + 납 11% + 아연 1%) 등 3종
5	동시 주조 활자의 수량(금속 주입 양)	① 25자 1종, 약 180g
6	문자의 수량	① 대자 3종, 소자 2종 등 5종을 동시에 실험하여 1종
7	주형의 소성 온도	1종
8	금속 용액의 주입 온도	1종
9	금속 용액의 주입 방법	재래식 직접 주입 1종

5.2 實驗 結果의 分析

이상과 같은 각 단계별 조건을 조합하면 실험의 종류는 $5 \times 4 \times 1 \times 3$ (일부는 1) $\times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 36$ 종에 이른다. 이 같은 36종의 조건과 중복된 주형 6개를 합한 42개의 실험을 통하여 나타난 결과를 분석하면 다음과 같다.

1) 어미자의 재료

밀랍 성분이 원래 끈적끈적한 성질을 가지고 있고 강도가 약한 편이어서 문자를 조각하기에 까다로웠다. 그 중 밀랍과 송지를 첨가한 밀랍은 어느 정도의 강도를 가지고 있어서 문자를 조각할 수는 있었다. 그러나 우지와 식물유를 혼합한 재료는 열에 쉽게 녹고 끈적끈적하여 손과 조각도에 쉽게 달라붙고, 또 강도가 상당히 약해져서 문자를 조각하는 능력이 현저히 떨어졌다. 일반적으로 숙련된 각수 1인이 1일 12시간 작업으로 목재에는 80자 정도 조각하는데 비하여 우지나 식물유 재료는 5~10자 정도에 불과하였다. 따라서 이 두 종류는 어미자의 재료로는 부적합한 것으로 판단되었다. 파라핀은 수축률이 크고 식으면 잘 부러지는 성질을 가지고 있으나, 문자를 조각하기에는 단단한 성질로 인하여 밀랍보다 오히려 편리하였다. 금속활자의 주조 성공률도 밀랍과 동일한 비율로 나타나서 밀랍을 대신할 수 있는 재료로 평가되었다.

2) 주형의 주재료

생활 주변에서 쉽게 구할 수 있는 황토 계열의 재료가 가장 높은 성공률을 보인 점에서 점성을 가진 점토는 모두 밀랍주조법의 주재료가 될 수 있음을 확인할 수 있었다. 다만 이를 수비하여 입자가 굵은 모래는 제거하고 점토 내지는 사질 점토 성분을 여과하여야 한다. 기타의 인공적으로 조제된 점토도 가능하였다.

한 번 사용한 주형 재료는 점력을 상실하여 재사용이 불가능하였다. 대체로 100℃ 이상 가열한 점토는 돌 성분으로 변하여 점력을 상실한다.

3) 주형의 보조 재료

42개의 주형에 무리 없이 재래식 방법으로 금속 용액을 주입할 수 있었던 점으로 미루어 활성탄은 모든 점토에 혼합되어 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 충분히 흡수하여 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 파악하였다. 그 혼합 비율은 10%였다.

기실은 보조 재료가 주재료보다 더 중요하다고 판단된다. 왜냐하면 주재료인 점토는 보조 재료인 탄분을 이어주는 정도의 기능을 하며, 금속 용액을 받아들일 수 있도록 하는 기능은 보조 재료가 하기 때문이다.

결과적으로 주재료와 보조 재료를 혼합한 4종의 주형 재료는 모두 금속 용액을 무리 없이 받아들일 수 있다는 사실을 발견하였다. 더 나아가 그 기능이 오늘날 과학적으로 처방된 주조용 석고계 매물제보다 우수함도 확인할 수 있었다.

그러나 건조 과정과 소성 과정에서 모든 주형에 기포 현상과 함께 심하게 균열되는 현상이 나타남으로써 성공률이 낮을 수밖에 없었던 점에서, 이를 방지하거나 축소할 수 있는 방법의 연구가 절실하였다.

4) 금속의 재료

황동이 가장 높은 주조 성공률을 보였고, 구리 70%와 주석 30%가 혼합된 청동과 구리 55%의 청동도 역시 주조에는 큰 무리가 없음을 발견하였다.

5) 금속의 주입 양과 주입 방법

금속의 주입 양은 25자 정도 주조하는, 즉 200g 미만의 소량으로도 무리 없이 주입할 수 있었다. 주입 방법도 역시 특별한 기교가 필요치 않았고 재래식으로 주형의 주입구에 직접 주입하는 방법으로도 충분하였다.

6) 문자 필획의 다과

필획의 다과와 밀도 등을 고려하면 구체적인 상관관계를 추출할 수 없을 만큼 각각의 성공률을 나타냈다. 따라서 문자 필획의 다과 또는 밀도는 주조에 큰 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

7) 주조의 성공률과 수축률

성공적으로 주조해 낸 금속활자는 9개며, 이의 성공 비율은 1.24%였다. 주조

된 금속활자와 어미자의 비율은 95.07%로 4.93%의 수축률을 확인하였다.

8) 자적의 비교

주조에 성공한 활자의 자적에 나타난 필획의 끊김이나 잡먹 현상은 「직지」에서도 발견할 수 있는 유사한 현상으로 간주할 수 있다. 이에 근거하면 필자가 유추한 밀랍주조법과 본 연구의 실험 과정은 「직지」 활자를 주조하기 위하여 사용한 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

9) 기타

주형 내 어미자의 문자면 방향·밀랍 가지봉의 굵기와 형태 등의 실험은 환경을 설정하여 시도하였다. 그러나 주조 성공률의 저조로 인하여 주조의 성공 가능성만 확인할 수 있었을 뿐, 구체적인 통계치를 산출할 수 없었다. 또한 어미자의 용출 방법·금속 용액 주입 시의 온도·주형의 온도 등은 오늘날 귀금속 주조나 치과 재료 주조 방법과 대동소이함을 알 수 있었다.

6. 結 論

이상으로 금속활자의 밀랍주조법의 실체를 추적하기 위하여 다양한 실험을 실시하였다. 중대형 청동기 주조 등의 문헌 연구를 통하여 추적한 밀랍주조법의 기본 방법을 소형이면서 섬세한 금속활자의 주조에 적용하여 성공 가능한 범주를 추적하였다. 다양한 조건을 부여하여 실험한 결과 각각의 단계별로 주조가 가능한 조건을 정리하면 다음과 같다.

(1) 어미자의 재료: 밀랍주조법인 만큼 어미자의 재료로는 밀랍의 성질을 가지고 있는 물질이어야 한다. 이에는 밀랍뿐만 아니라 송지를 첨가한 밀랍과 오늘날의 석유화학에서 생산되는 파라핀도 가능하였다. 우지나 식물유를 첨가한 밀랍도 가능하기는 하였으나 조각 능률의 현저한 차이로 인하여 부적합하였다.

(2) 주형의 재료: 본 실험에서 조제한 4종이 모두 성공적으로 금속 용액을 받아들였다. 이를 구성하는 주재료는 점성을 가진 흙이면 모두 가능하였다. 또한 보조 재료가 중요한 역할을 하였으며, 숯가루가 유용한 것으로 판명되었다. 이의 첨가 비율은 10%였다. 이미 사용한 주형의 재료는 재사용이 불가능하였다.

(3) 합금 성분 및 주입 양과 방법: 구리를 55~70%의 주성분으로 하는 구리합금이 모두 가능하였다. 금속의 주입 양은 200g 정도의 소량으로, 재래식 방법으로 주입하여도 문제가 없었다.

(4) 문자 필획의 다과: 주조의 성공 여부와 구체적인 상관관계가 없음을 확인하였다.

(5) 주조의 성공률과 수축률: 주조의 성공률은 1.24%였고, 수축률은 95.07%였다.

(6) 자적의 비교: 주조에 성공한 활자와 「직지」의 자적이 유사한 점으로 미루어, 성급한 판단이기는 하나, 본 연구의 밀랍주조법은 「직지」 활자의 주조 방법일 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

(7) 기타: 어미자의 문자면 방향과 밀랍 가지봉의 굵기와 형태에 의한 주조 결과 등은 환경을 설정하여 실험하였으나, 주조 성공률의 저조로 인하여 통계치를 산출하지 못하였다. 어미자 용출 방법·금속 용액 주입 시의 온도·주형의 온도 등은 오늘날 귀금속이나 치과 재료 주조 방법과 대동소이함을 알 수 있었다.

(8) 향후 과제: 본 실험에서 사용한 주형틀·고무 받침 등 일부 실험 기기와 방법은 실험 시간의 단축을 위하여 부득이하였으나, 향후의 보완 실험에서는 고려시대의 방법에 적합한 도구로 개량할 필요가 있다. 또한 주형 재료가 건조되면서 발생하는 기포를 발생하지 않도록 하거나 제거하는 방안과 주형 재료의 균열을 방지할 수 있는 방안의 강구가 절실하였다. 이 점이 주조의 성공률을 높일 수 있는 핵심으로 판단된다.

본 연구는 금속활자 밀랍주조법에 대한 개념이 전혀 없는 국내 학계의 현실에서 처음으로 시도되어, 그 기본 방향을 설정할 수 있음으로써 향후의 활자본

복원이나 발전된 연구를 위한 바탕을 제공할 수 있음에 큰 의의가 있을 것이다. 앞으로는 본 실험에서 나타난 문제점을 개량 또는 해결하여 주조 성공률을 높일 수 있는 연구가 절실하다고 판단된다.

<참고문헌>

- 「南明泉和尚頌證道歌」 권말 수록 中書令晉陽公崔怡謹誌. 국립중앙도서관 일산문고 소장 高麗鑄字本重雕版.
- 「白雲和尚抄錄佛祖直指心體要節」. 프랑스 국립도서관 소장, MSS 극동부, 109. 李奎報. 「東國李相國後集」. 卷11, 「新印詳定禮文」跋尾, 代晉陽公行.
- 南權熙. “興德寺字로 찍은 「慈悲道場懺法集解」의 覆刻本에 관한 考察.” 「문헌정보학보」 제4집(1990. 1), 179-234.
- 박문열. 「금속활자장」. 서울: 화산문화, 2001.
- 손보기. 「한국의 고활자」. 서울: 보진재, 1981.
- 千忠鳳. 「羅麗印刷術의 研究」. 서울: 경인문화사, 1980.
- 千忠鳳. 「韓國 書誌學」. 서울: 민음사, 1997.